



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 yaşanan 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 Hesaplama da 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 kırınırılık ve radyo kırınırılık 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 bilgileri

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 kırınırılık denklemlerin sıcaklığa göre dağılımlarının Karşılaştırılması
Şekil 2.15 : Radyo kırınırılık 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° dikey 45° konumunda 10 MHz-1GHz aralığında alınmış radyo frekans ölçümü

- Şekil 3.13** : Antalya-Akçay, anten pozisyonu yatay 90° dikey 45° konumunda 1GHz-2GHz aralığında alınmış radyo frekans ölçümü
- Şekil 3.14** : Antalya-Bozova, anten pozisyonu yatay 180° dikey 45° konumunda 10 MHz-1GHz aralığında alınmış radyo frekans ölçümü
- Şekil 3.15** : Antalya-Bozova, anten pozisyonu yatay 0° dikey 90° konumunda 1.42GHz 'de alınmış HI radyo frekans ölçümü
- Şekil 3.16** : Antalya-Korkuteli-Ulucak civarı, anten pozisyonu yatay 180° dikey 0° konumunda 800 MHz-2GHz aralığında alınmış radyo frekans ölçümü
- Şekil 3.17** : Antalya-Korkuteli-Ulucak civarı, anten pozisyonu yatay 0° dikey 90° konumunda 1.420 GHz'de alınmış HI radyo frekans ölçümü
- Şekil 3.18** : Antalya-Korkuteli-Ulucak civarı, anten pozisyonu yatay 0° dikey 90° konumunda 22.235 GHz'de alınmış H_2O radyo frekans ölçümü
- Şekil 3.19** : Antalya-Korkuteli-Uluca civarı, anten pozisyonu yatay 0° dikey 90° konumunda 1.612 GHz'de alınmış OH radyo frekans ölçümü
- Şekil 3.20** : Burdur-Yeşilova sonrası 10.km, anten pozisyonu yatay 0° dikey 45° konumunda 10 MHz-1GHz aralığında alınmış radyo frekans ölçümü
- Şekil 3.21** : Burdur-Yeşilova sonrası 10.km, anten pozisyonu yatay 0° dikey 45° konumunda 800 MHz-2GHz aralığında alınmış radyo frekans ölçümü
- Şekil 3.22** : Karaman-Yazılı sonrası 5.km, anten pozisyonu yatay 0° dikey 0° konumunda 2.7 GHz-2.9 GHz aralığında alınmış radyo frekans ölçümü
- Şekil 3.23** : Karaman-Yazılı sonrası 5.km, anten pozisyonu yatay 0° dikey 90° konumunda 1.420 GHz'de alınmış HI radyo frekans ölçümü
- Şekil 3.24** : Karaman-Yazılı sonrası 5.km, anten pozisyonu yatay 0° dikey 90° konumunda 22.235 GHz'de alınmış H_2O radyo frekans ölçümü
- Şekil 3.25** : Karaman-Yazılı sonrası 5.km, anten pozisyonu yatay 0° dikey 90° 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 seçiminde 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°) (Ortalama, Minimum Ortalama, Maksimum Ortalama Sıcaklık)
- ✓ Yağışlılık (mm)
- ✓ Bağıl Nem (%)
- ✓ Rüzgar Hızı ve Yönü (m/sn, kuvruz)
- ✓ Güneşlenme Şiddeti ve Süresi (cal/cm², 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

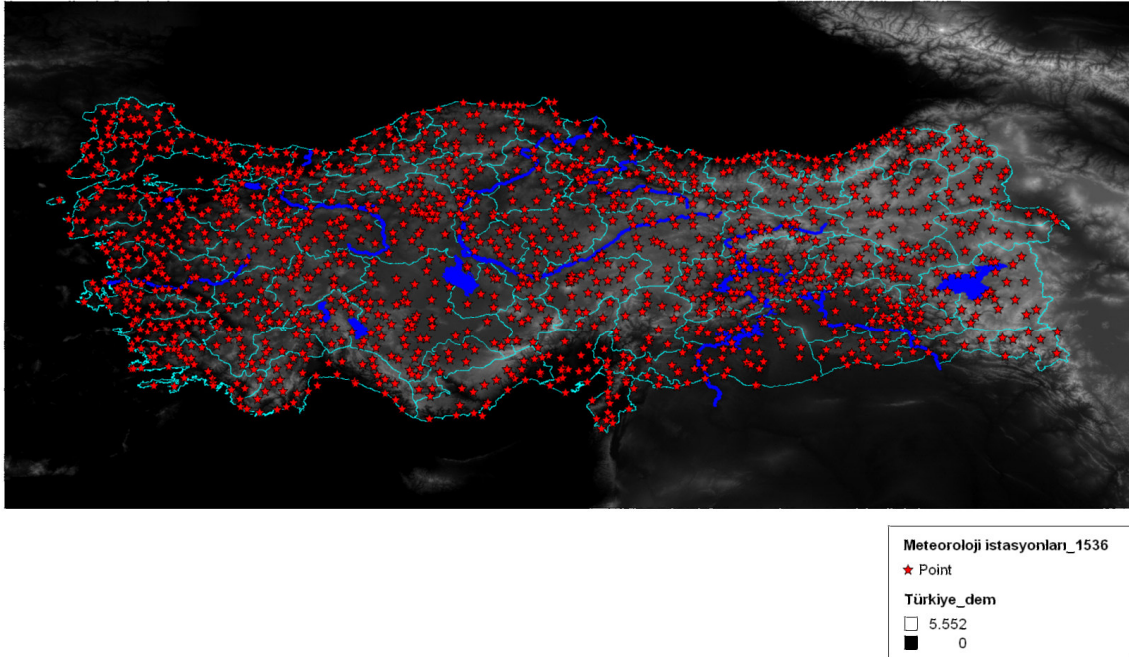
Uzun yıllara ait toplam buharlaşma verileri analiz edilmiştir. Şekil 1.3’de uzun yıllara ait yıllık toplam değerlere göre ara değer kestirimi elde edilmiş buharlaşma dağılımı görülmektedir.

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.

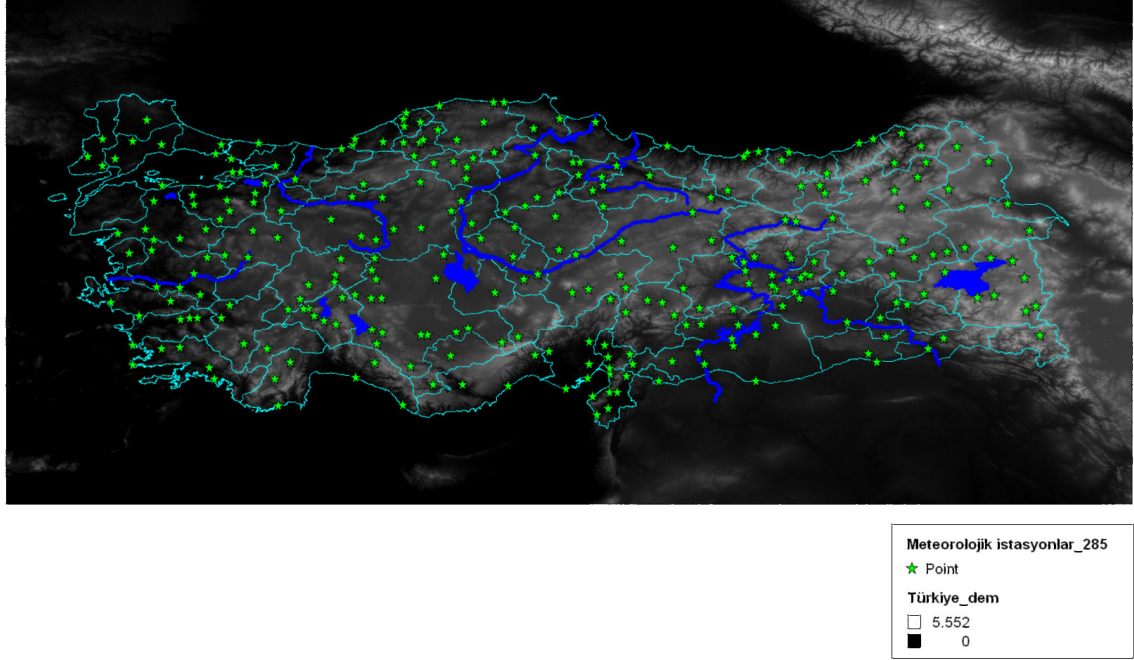
1.2 BULUTLULUK

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.

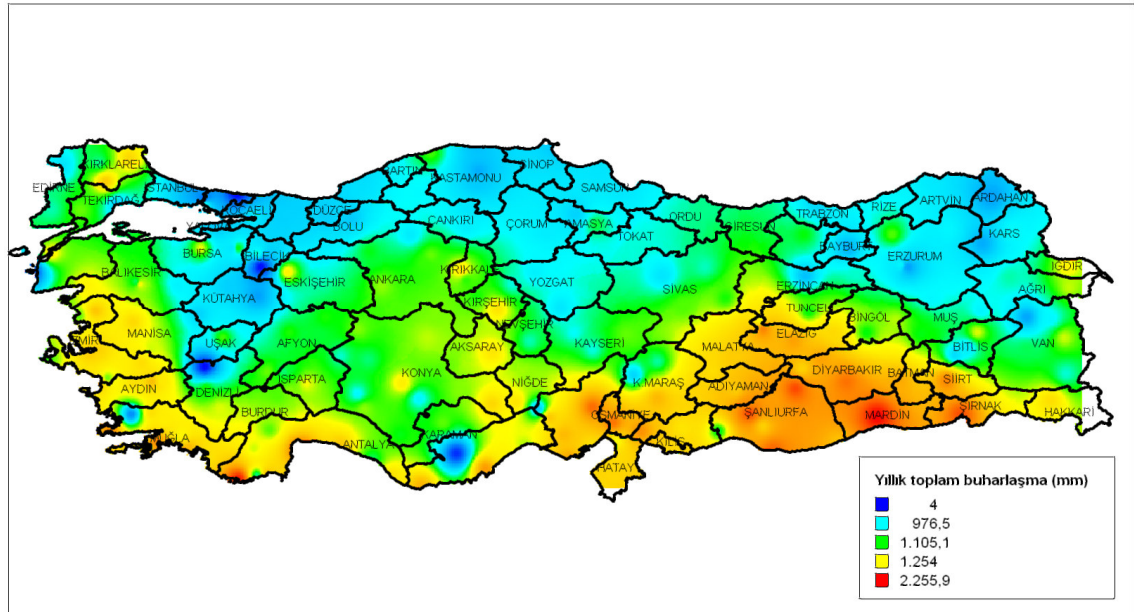
Eğilimler incelendiğinde sabah 7 ve akşam 21 dağılımları birbirine çok yakın iken öğlen 14 için yapılan gözlemler farklılık göstermektedir. Gece ve sabah bulutluluk daha azken öğlen saatleri günün en bulutlu saatleridir. Gözlemevleri için bulutluluk yüksek olması istenen bir parametre değildir, optik gözlemlerinde olduğu gibi radyo gözlemlerinde 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 Bakırtepe gibi yerler, analizlerde bulutluluğun yoğun görüldüğü bölgeler olmalarına karşın gözlemevleri için elverişli olabilirler.



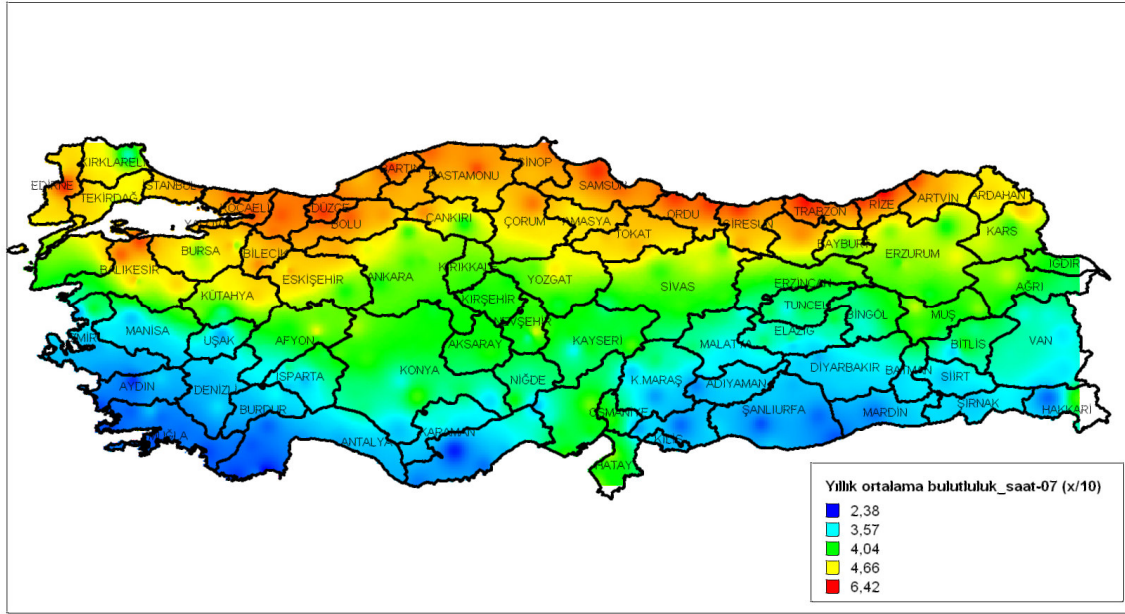
Şekil 1.1: DMİGM ait 1536 istasyonun Türkiye üstündeki dağılımı



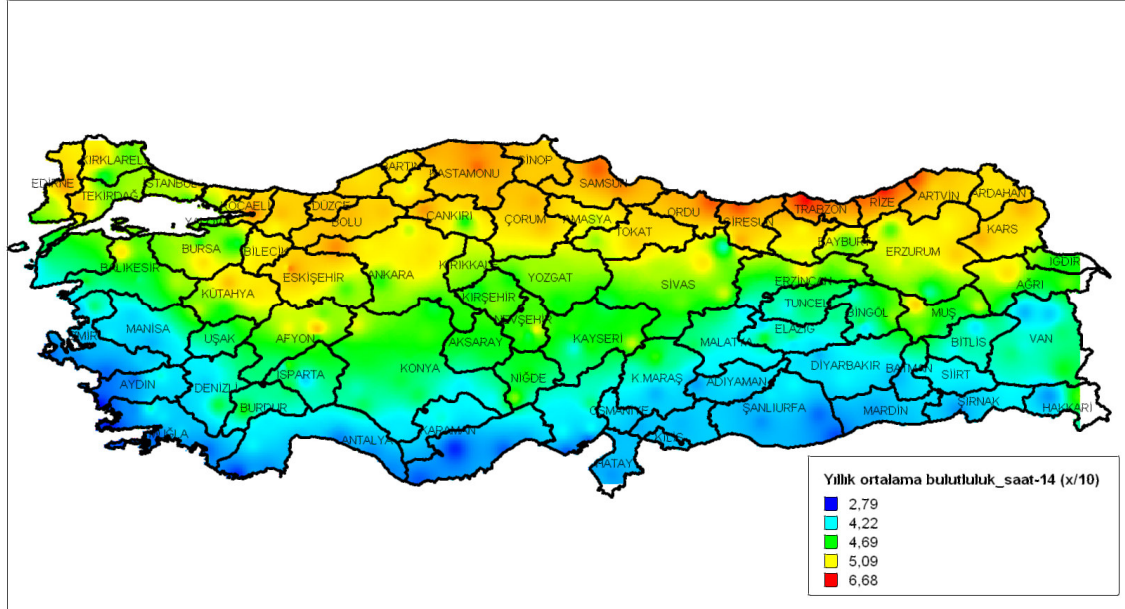
Şekil 1.2: Meteorolojik analizler için seçilen 285 meteoroloji istasyonu



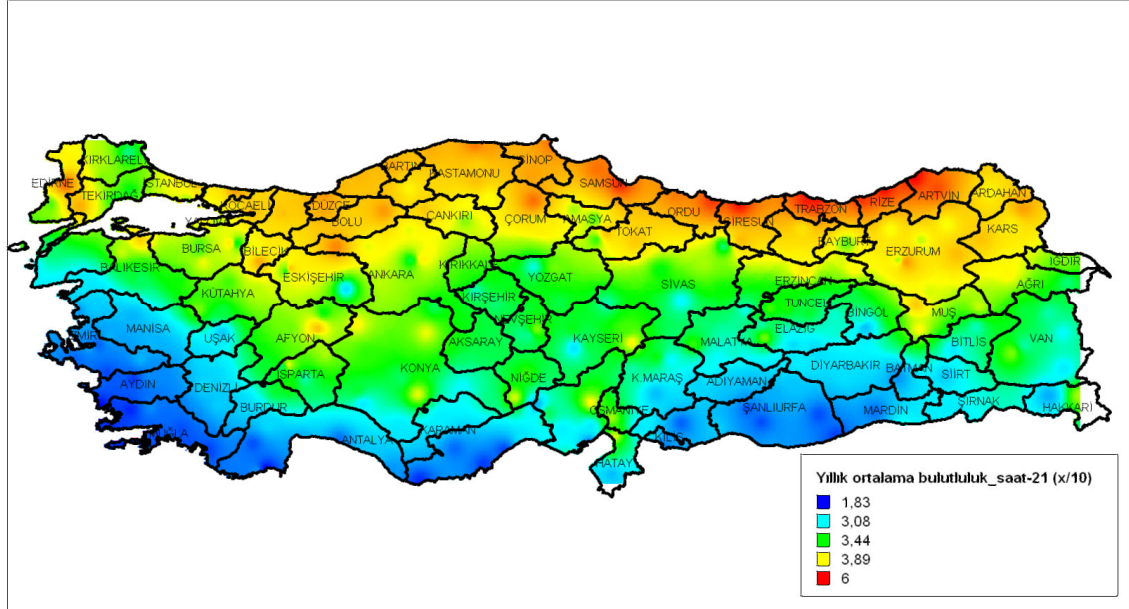
Şekil 1.3: Yıllık toplam buharlaşma değerlerinin dağılımı



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

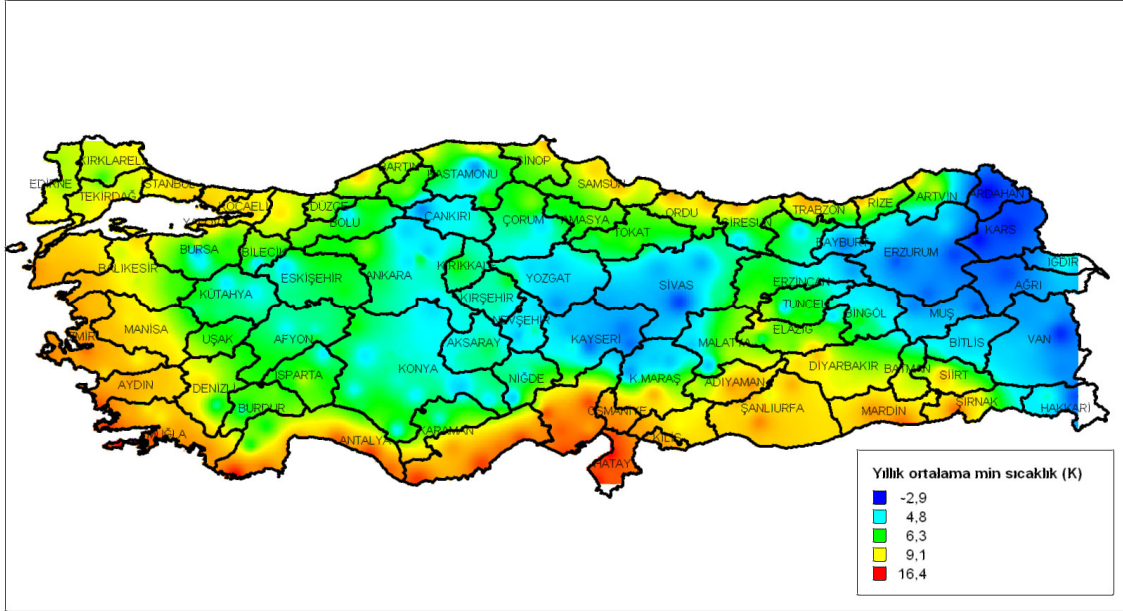
Şekil 1.7, Şekil 1.8 ve Şekil 1.9’da uzun yıllara ait ortalama değerlere göre ara değer kestirimi elde edilmiş ortalama sıcaklık, minimum sıcaklık ve maksimum sıcaklık dağılımları görülmektedir.

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.

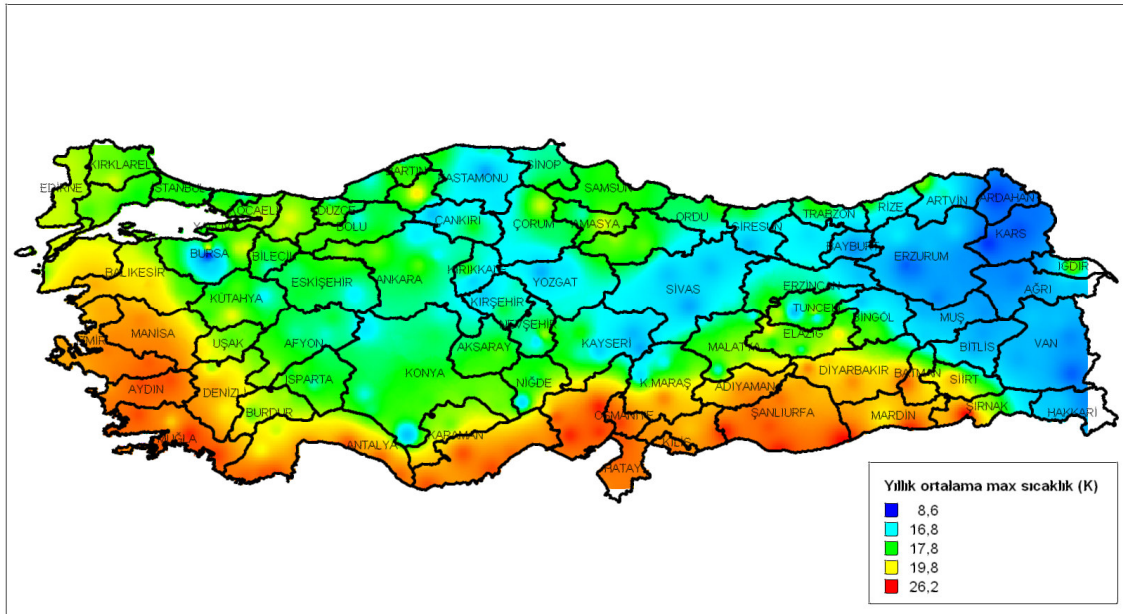
1.4 YAĞIŞLILIK

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 ulaştıncaya, yağışın türünü ortamın sıcaklığı belirler. İç Anadolu bölgesi, Doğu ve Güney Doğu Anadolu’nun bazı kısımları yağış bakımından fakir bölgelerdir.

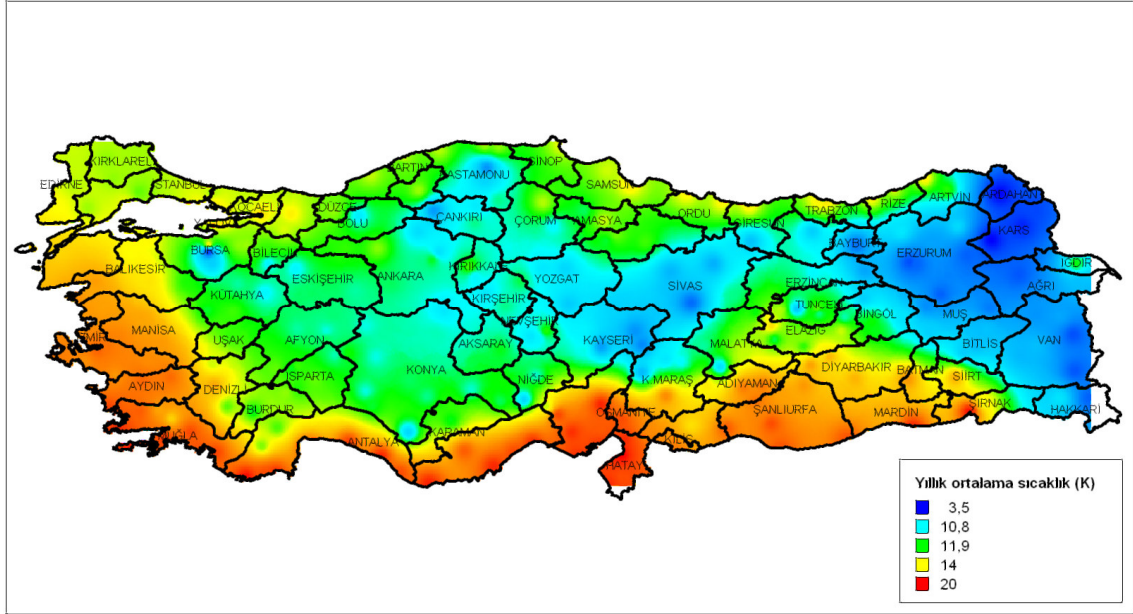
Yağış ortamdaki nem ve su buharı miktarı ile ilişkili olduğu için çok yağış alan bölgeler gözlemleri için uygun yerler değildir. Havadaki kirlilik oranı ve toz gibi parametreleri azaltmasından dolayı yağış aynı zamanda bölgeye göre istenen bir parametre de olabilmektedir, bu nedenle yer seçimlerinde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



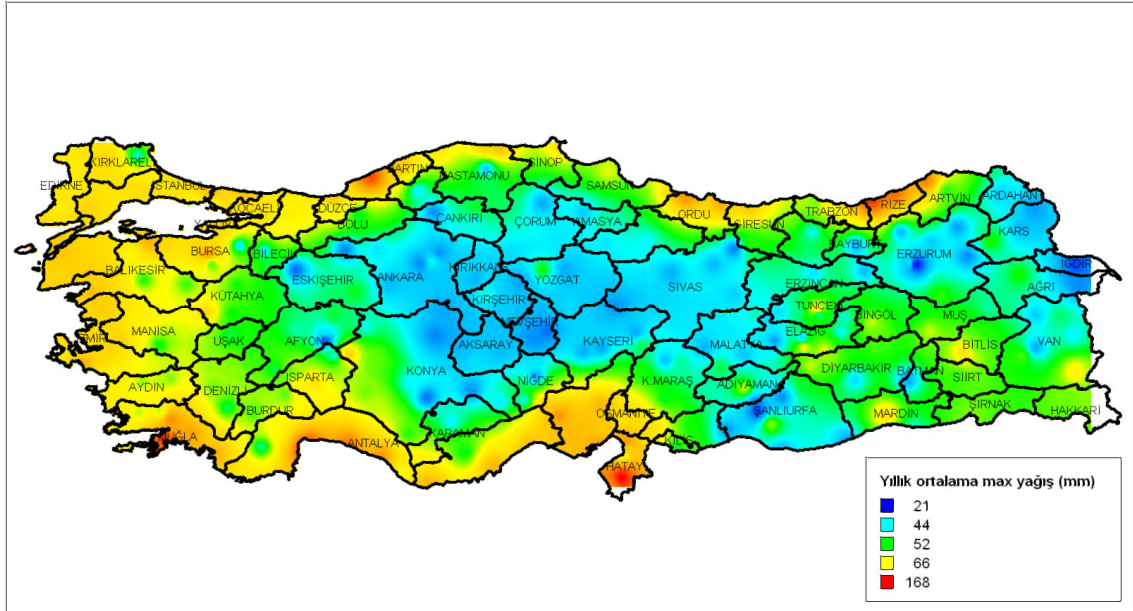
Şekil 1.7: Yıllık ortalama minimum sıcaklık değerlerinin dağılımı



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.

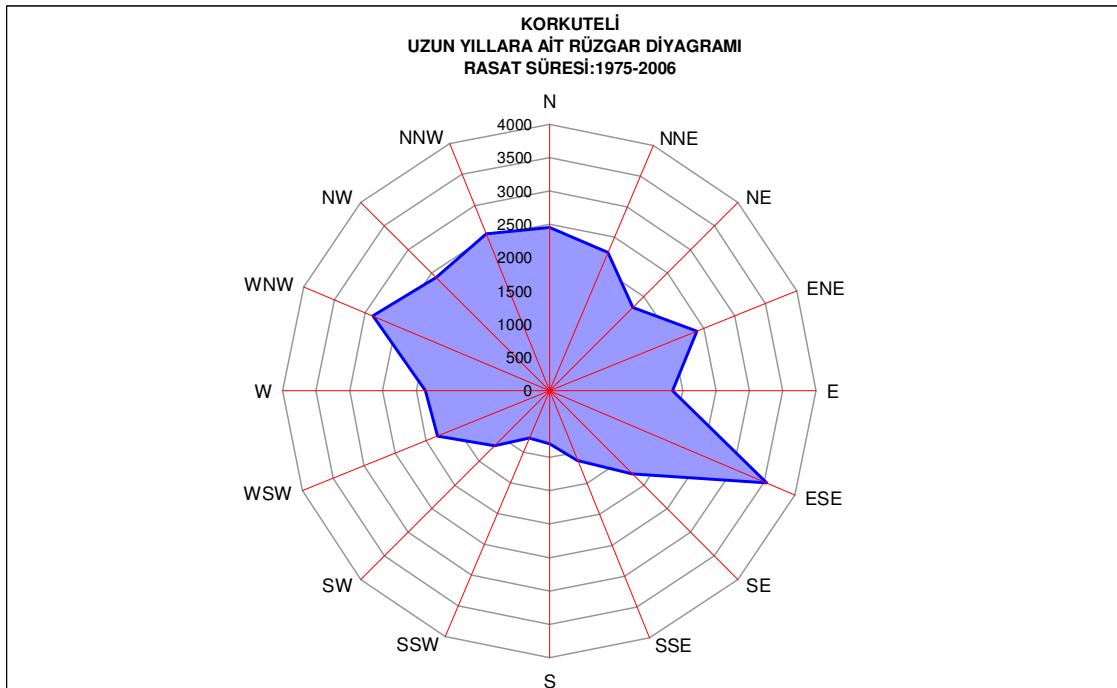
Uzun yıllara ait ortalama bağıl nem verileri analiz edilmiştir. Şekil-20 de uzun yıllara ait ortalama değerlere göre ara değer kestirimi elde edilmiş bağıl nem dağılımı görülmektedir. Gözlemevlerinin deniz kenarlarına yapılmamasının başlıca nedeni de budur.

1.6 RÜZGAR HIZI VE YÖNÜ

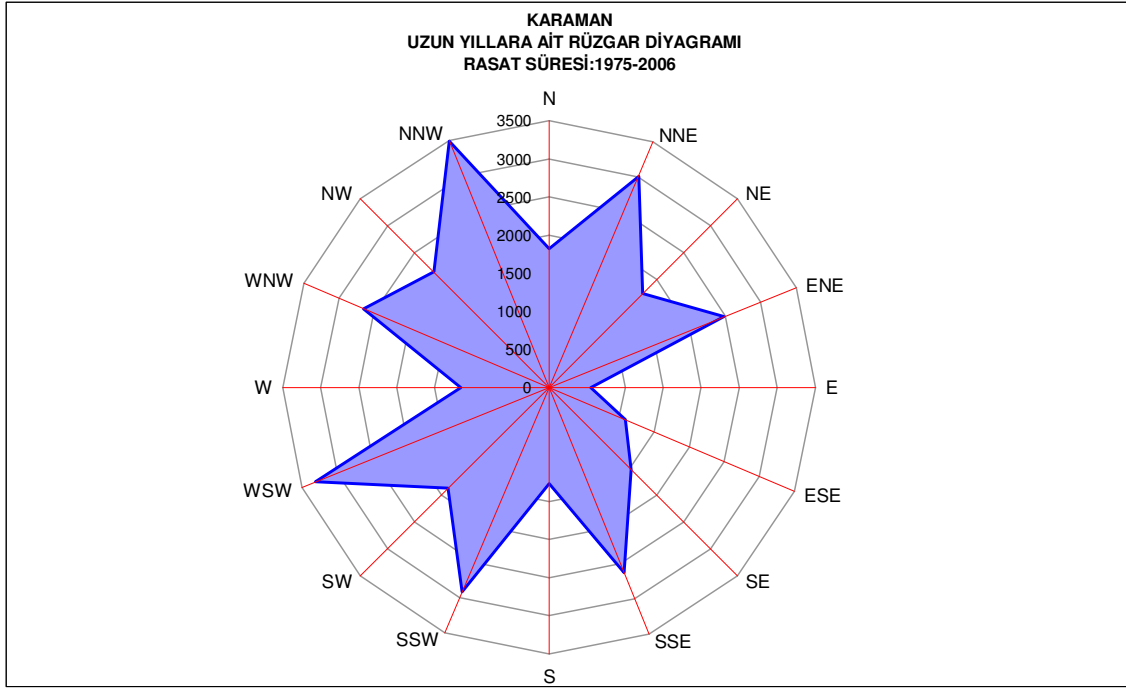
Uzun yıllara ait maksimum rüzgar hızı verileri analiz edilmiştir. Şekil 1.14 de uzun yıllara ait ortalama değerlere göre ara değer kestirimi elde edilmiş rüzgar hızı dağılımı görülmektedir. Rüzgar yönleri de belirlenecek olan istasyonlar için örneklerde görülen şekilde hazırlanması planlanmaktadır. Rüzgar 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.

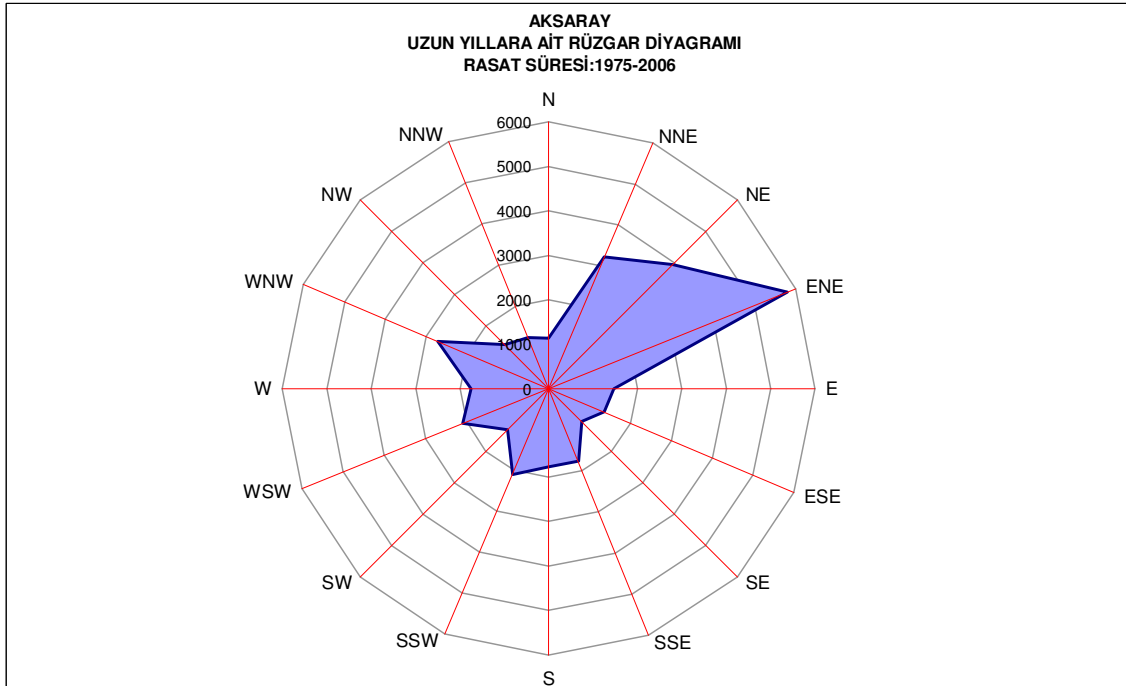
Bölgenin topoğrafik durumu incelendiği zaman rüzgar yönü önem kazanacaktır. Örneğin bulunduğunuz bölgede bir yükselti varsa ve o yönde bir rüzgar alıyorsanız, yükselti rüzgarı engelleyecektir ama bu bulutların daha zor dağılmasına neden olacaktır.



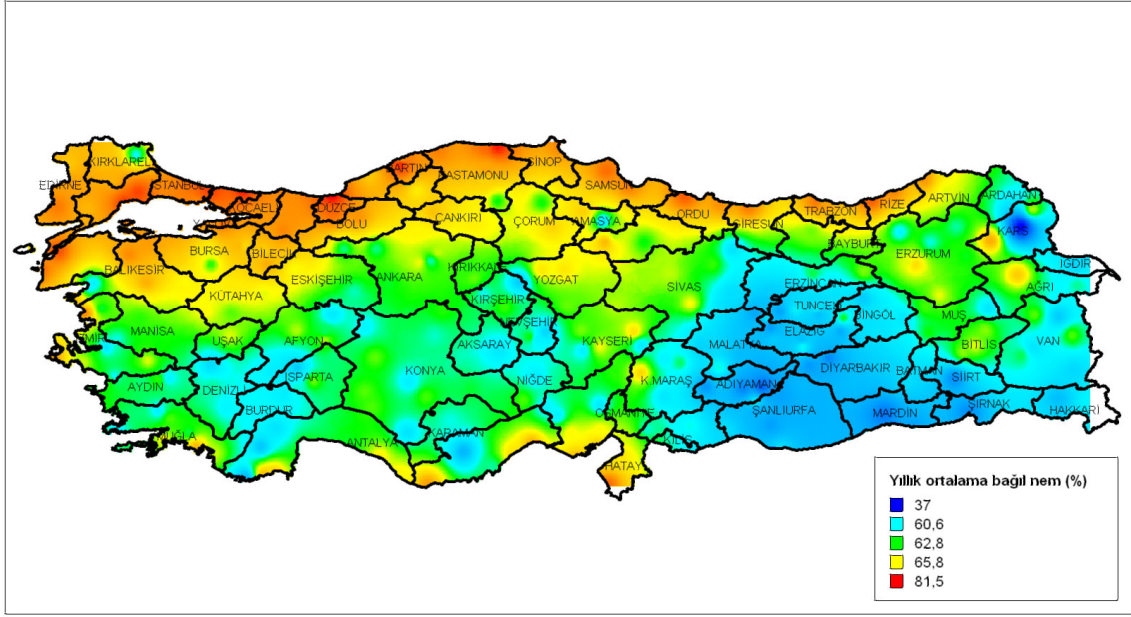
Şekil 1.11: Korkuteli rüzgar yönü ve şiddet dağılımı



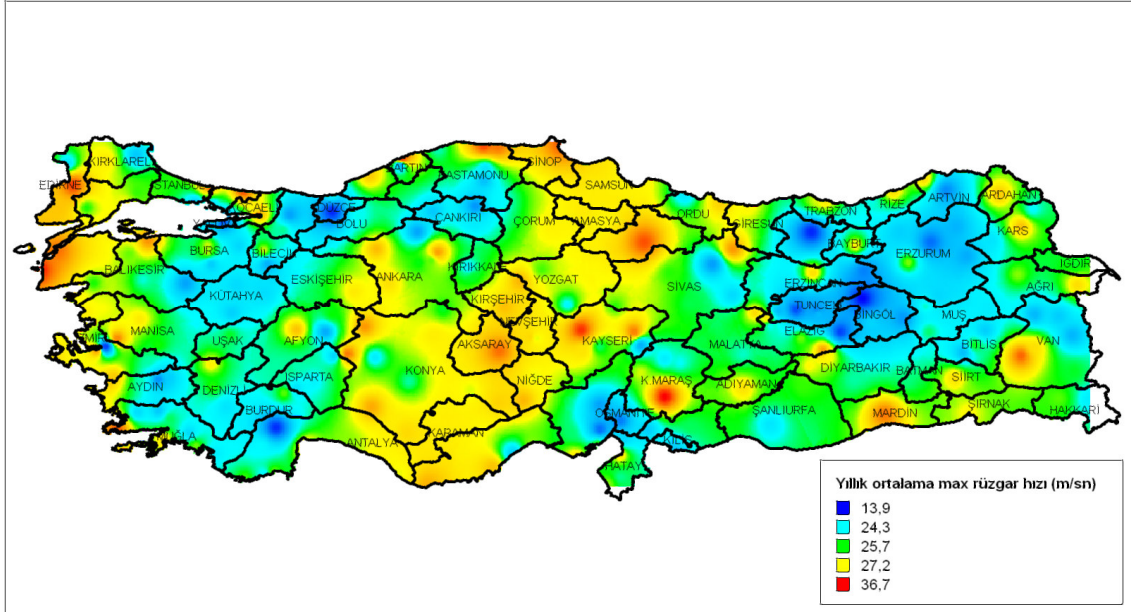
Şekil 1.12: Karaman rüzgar yönü ve şiddet dağılımı



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 SISLİ GÜNLER SAYISI

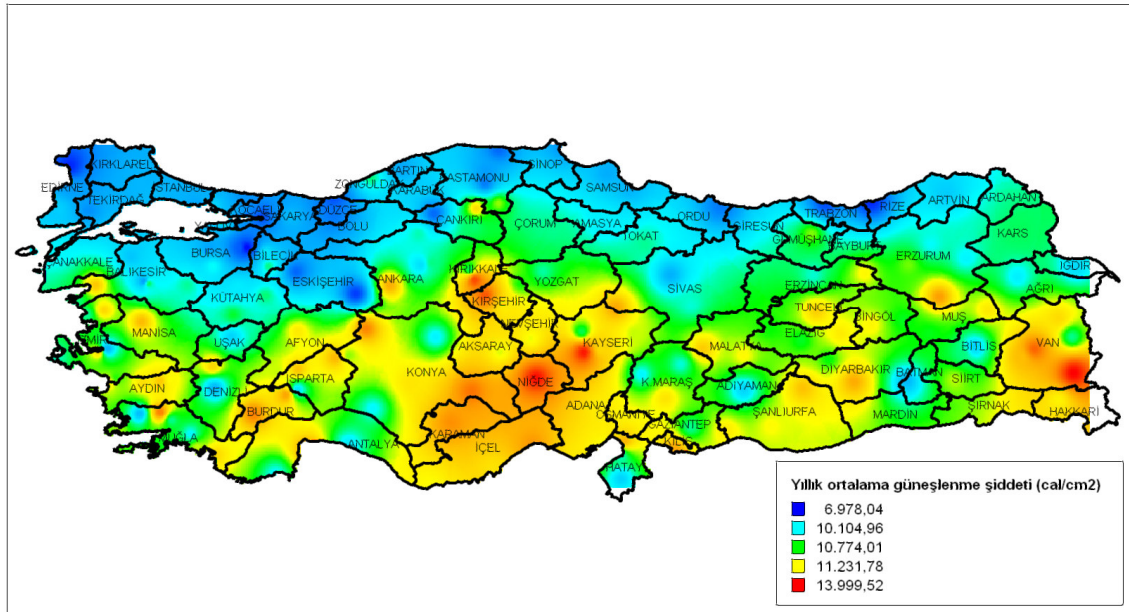
Uzun yıllara ait toplam sisli günler sayısı verileri analiz edilmiştir. Şekil 1.18’de uzun yıllara ait ortalama değerlere göre ara değer kestirimi elde edilmiş sisli günlerin dağılımı görülmektedir.

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.

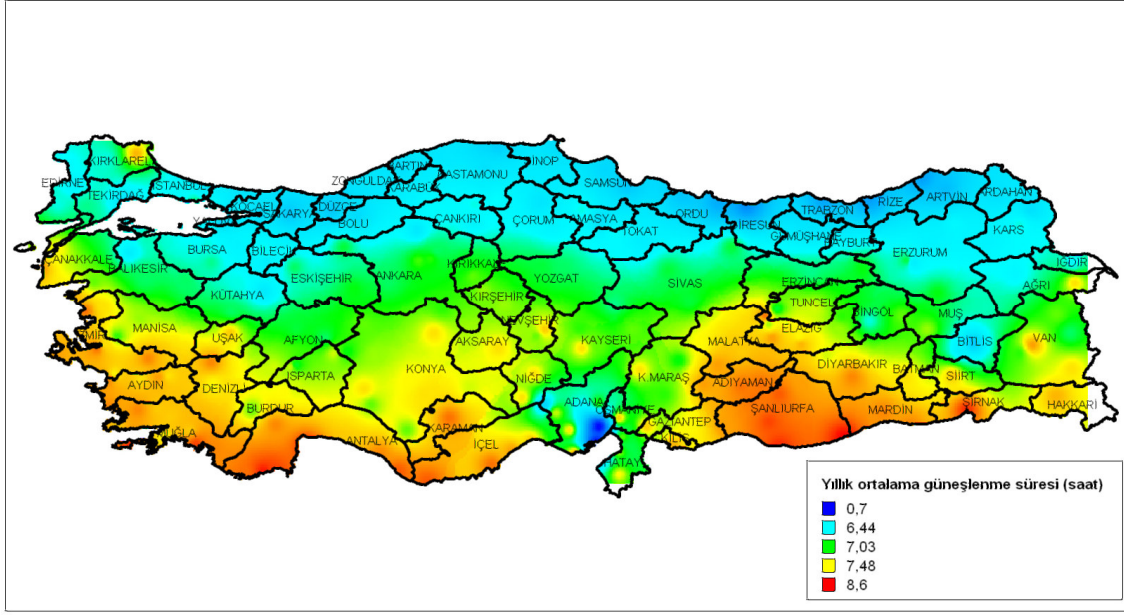
1.9 ORAJLI, DOLULU VE FIRTINALI GÜNLER SAYISI

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.

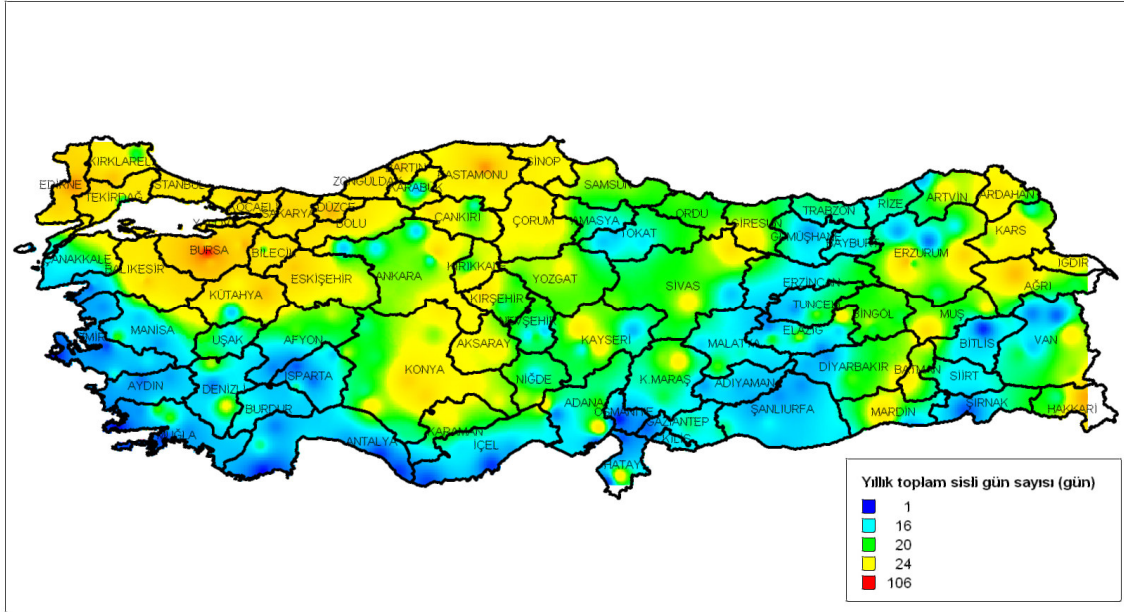
Uzun yıllara ait yıllık toplam dolulu günler sayısı verileri analiz edilmiştir. Şekil 1.20’de uzun yıllara ait ortalama değerlere göre ara değer kestirimi elde edilmiş dolulu günlerin dağılımı görülmektedir. Dolu havadaki su buharı ve sıcaklıkla ilişkili olarak meydana gelen bir yağış çeşididir. Çoğunlukla 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



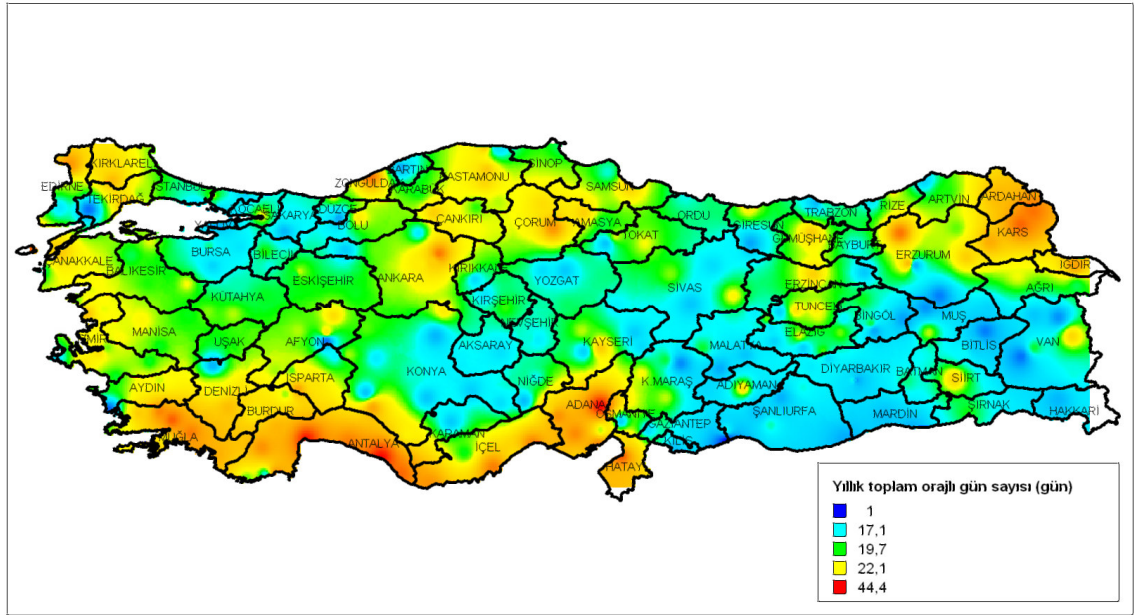
Şekil 1.18: Yıllık toplam sisli günler sayısının dağılımı

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.

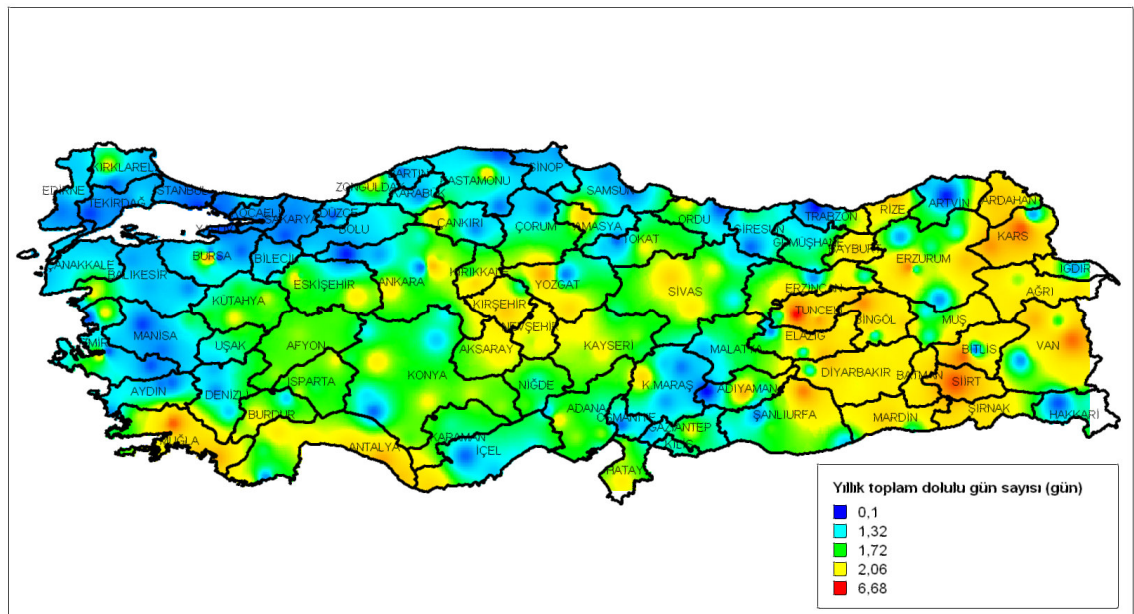
1.10 KAR KALINLIĞI

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.

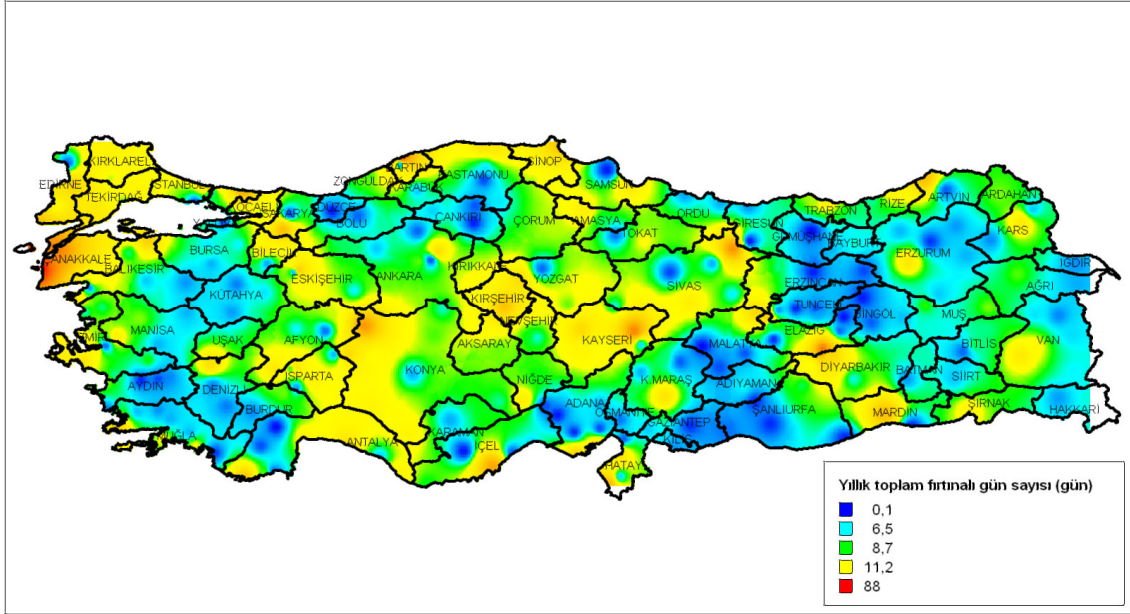
Kar yağışının yoğun olduğu bölgeler hem meteorolojik olarak hem de lojistik nedenlerle gözlemevleri için çok elverişli olamayabilir. Ayrıca radyo dalga yayılımını da etkileyen ve yansımayı arttıran bir parametre olduğu için seçimlerde kar yağışının düşük olduğu bölgeler dikkate alınmalıdır.



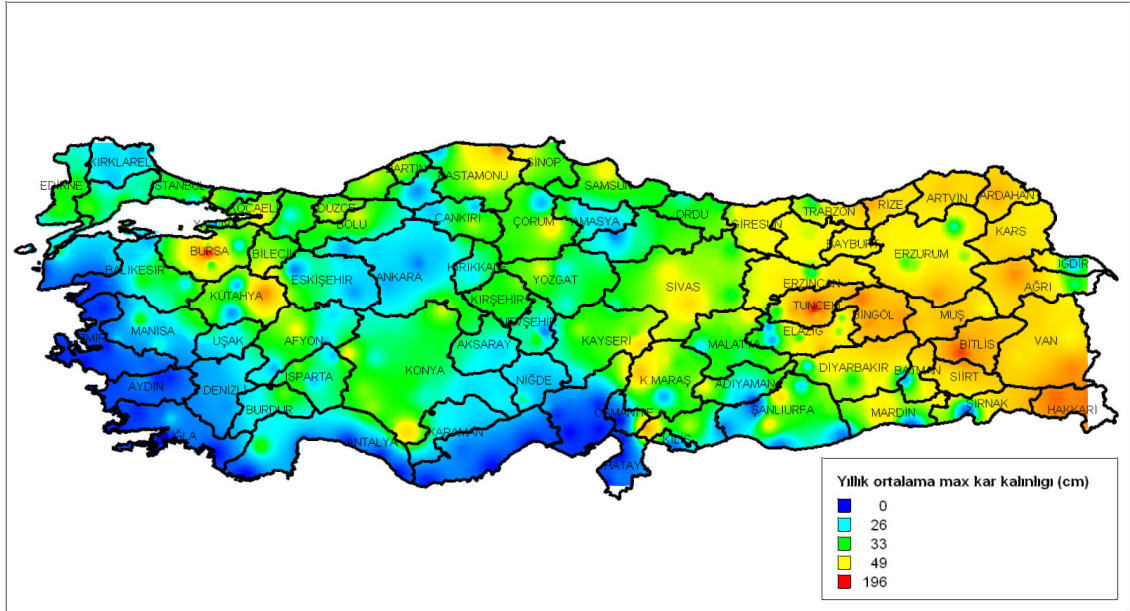
Şekil 1.19: Yıllık toplam orajlı günler sayısının dağılımı



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 seçiminde dikkate alınan diğer iklimsel parametreler atmosferik parametrelerdir. Yapılan literatür çalışmasında görülmüştür ki, atmosferik basınç, doymuş su buharı basıncı, kısmi 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:

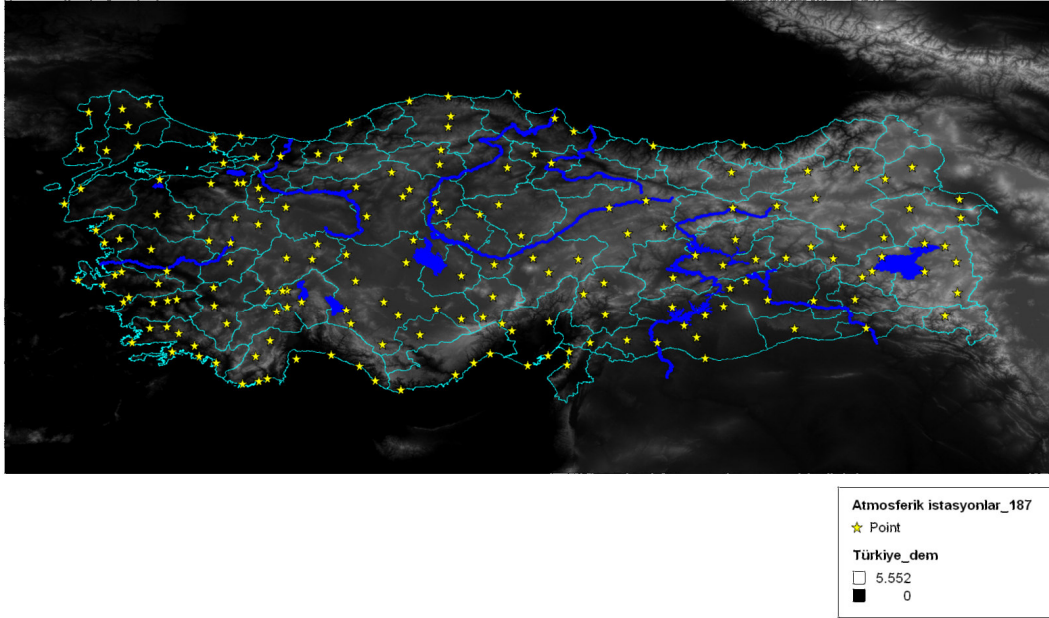
- Atmosfer Basıncı , P (hPa)
- Kısmi Su Buharı Basıncı, e (hPa)
- Doymuş Su Buharı Basıncı, P_w (hPa)
- Radyo Kırınırlık, N (ppm)

2.1 ATMOSFER BASINCI

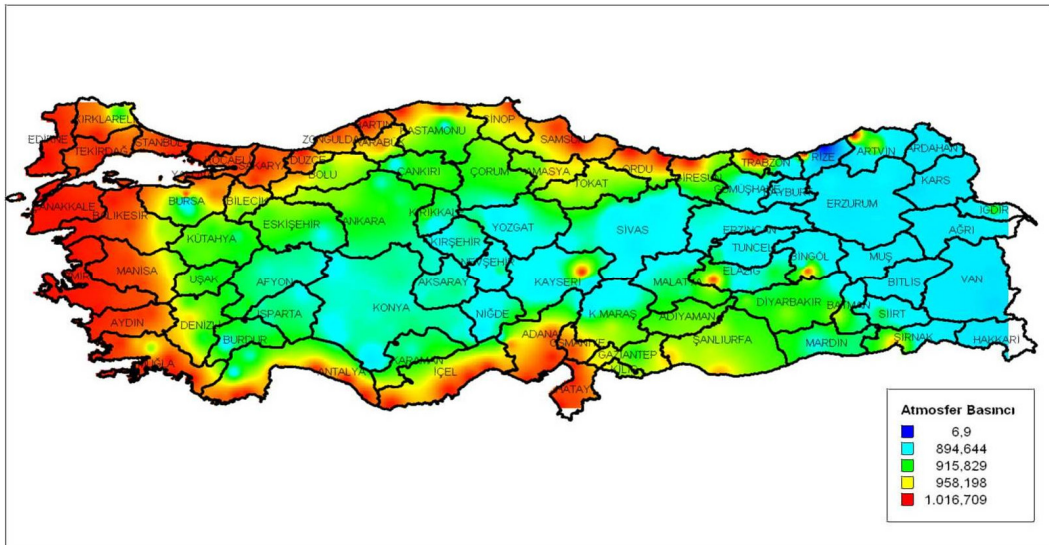
Basınç meteorolojik elemanların en önemlilerinden biridir. Bir yüzeyin birim alanına bu yüzey üstündeki hava sütununun yapmış olduğu etkiye *basınç kuvveti* denir. Uzun yıllara ait ortalama yüzeydeki atmosfer basıncı verileri analiz edilmiştir. Şekil 2.2'de uzun yıllara ait ortalama değerlere göre ara değer kestirimi elde edilmiş atmosfer basıncı dağılımı görülmektedir. Atmosfer basıncı, kısmi 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 geçirgindir. Atmosferik moleküllerin, özellikle su buharının, basınçla genişlemiş geçişleri ışıınımı 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 görel olarak aşağıda kısırıldığı 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 içerisinde. Aşağıda farklı yıllara ait makalelerden alınmış deneysel formüller yer almaktadır.

Goff-Gratch Denklemi (1946)

$$\begin{aligned} \text{Log}_{10} P_w = & -3.90298 * \left(\frac{373.16}{T} - 1 \right) + \left(5.02808 * \log_{10} \frac{373.16}{T} \right) \\ & - 1.3816 * 10^{-7} * \left(10^{11.344 \left(1 - \frac{T}{373.16} \right)} - 1 \right) + 8.1328 * 10^{-3} * \left(10^{-3.49149 \left(\frac{373.16}{T} - 1 \right)} - 1 \right) \\ & + \text{Log}_{10}(1013.246) \end{aligned} \quad (1)$$

T [K] ve P_w [hPa] birimindedir.

Magnus&Teten (1967)

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

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)

$$\begin{aligned} \text{Log } P_w = & (-6096.9385 / T) + 16.635794 - (2.711193 * 10^{-2} * T) + (1.673952 * 10^{-5} * T^2) \\ & + (2.433502 * \text{Log}(T)) \end{aligned} \quad (6)$$

T [K] ve P_w [hPa] birimindedir.

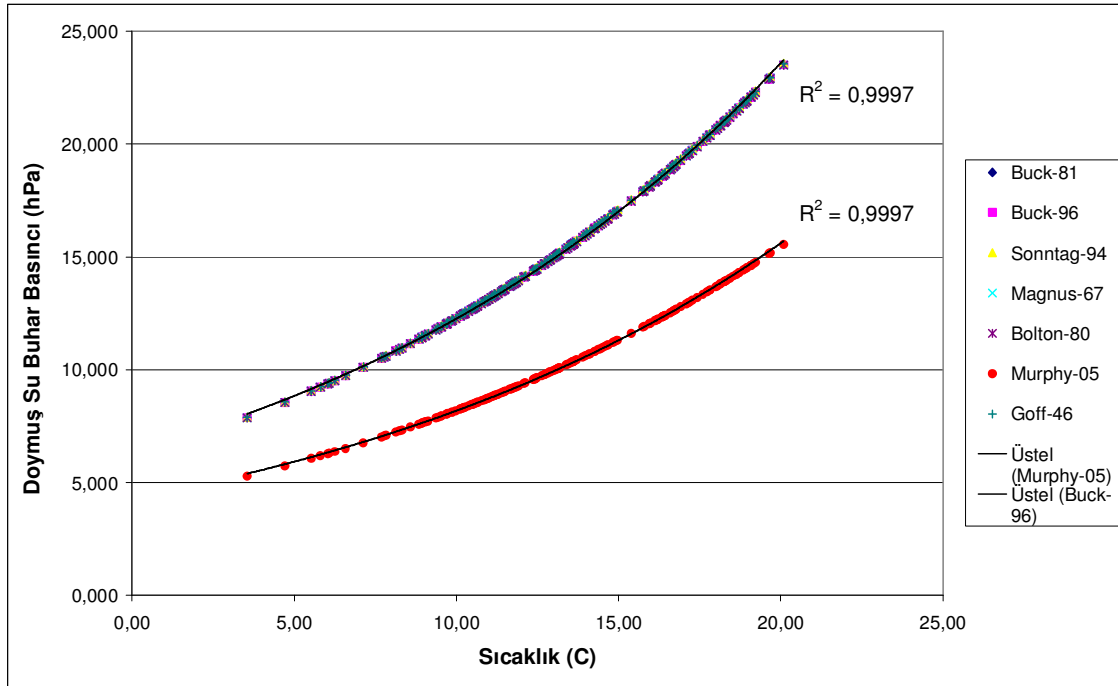
Murphy&Koop (2005)

$$\begin{aligned} \log P_w = & [51.842763 - 6763.22 / T] - [1.21 \log(T) + 0.000367 T] \\ & + [\tanh\{0.0415 (T - 218.8)\} * (53.878 - 1331.22 / T - 9.44523 \log(T) \\ & + 0.014025 T)] \end{aligned} \quad (7)$$

T [K] ve P_w [Pa] birimindedir.

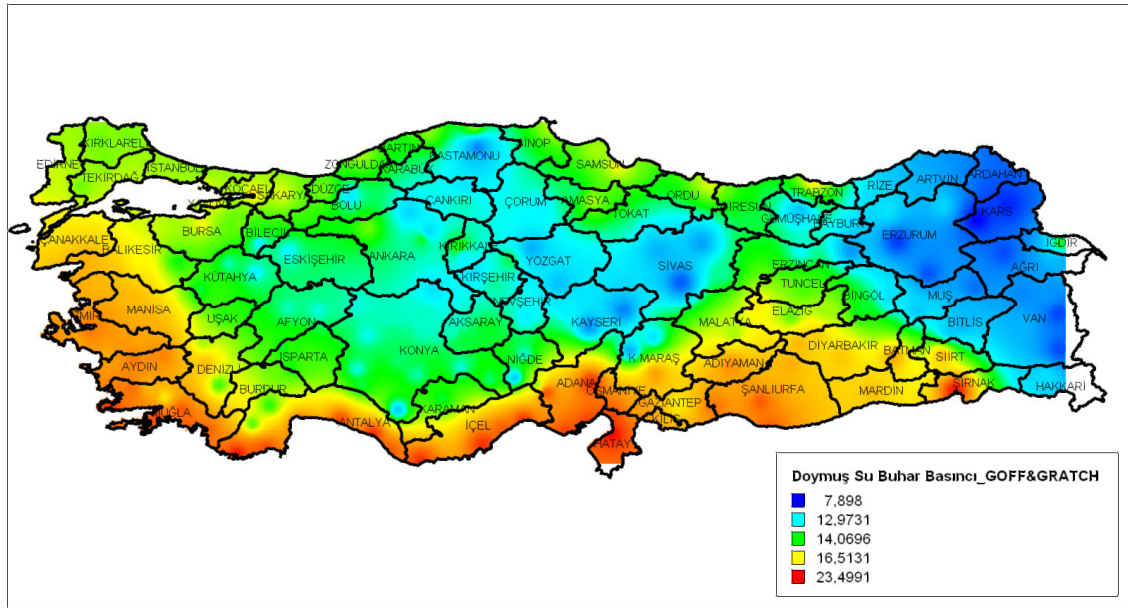
Yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen P_w değerlerinden ara değer kestirimi haritaları üretilmiştir. Goff-Gratch (46), Magnus (67), Bolton (80), Buck (81 ve 96) ve Sonntag'ın (94) denklemleri kullanılarak hesaplanan P_w değerleri hemen hemen aynı sonuçları vermiştir ve ara değer kestirimi haritalarına 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 verilmiştir. 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.

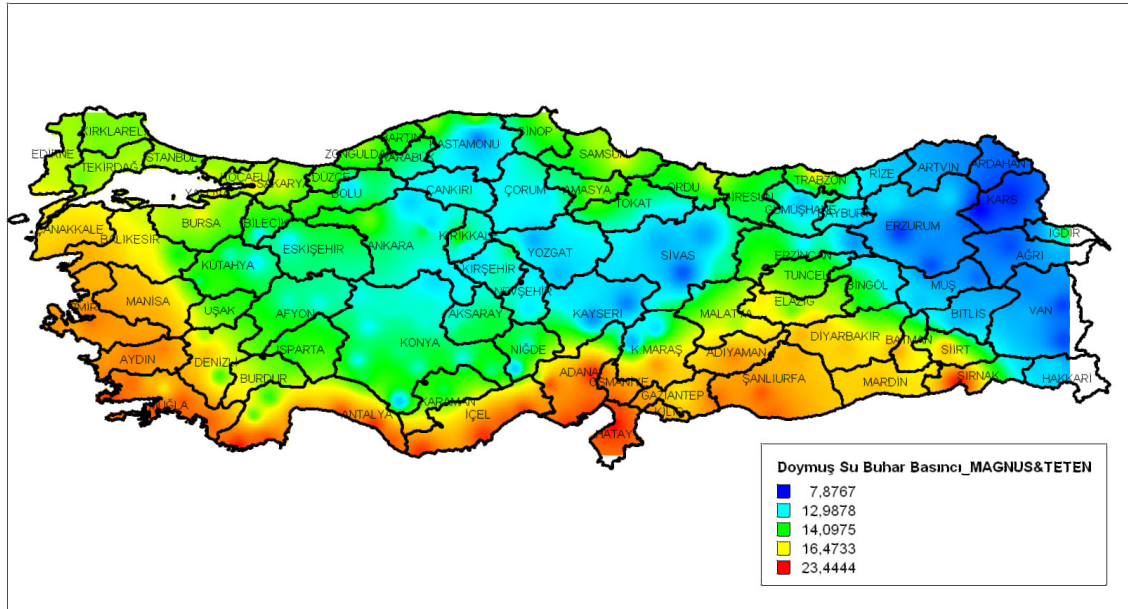


Şekil 2.3: Farklı P_w denklemlerin sıcaklığa göre dağılımlarının karşılaştırılması

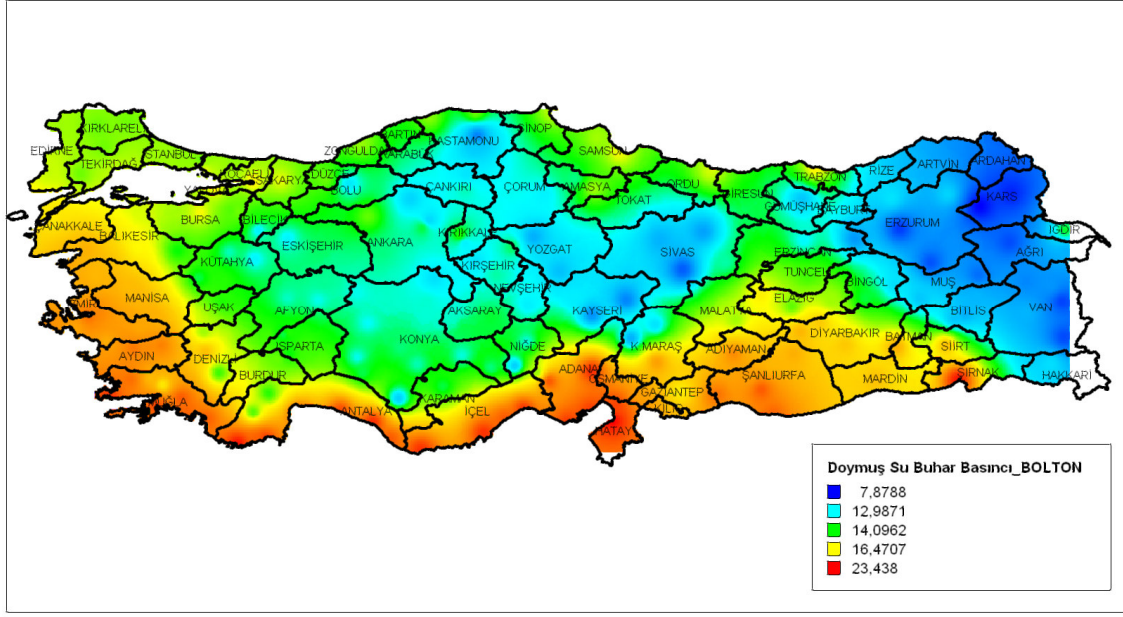
Bu çalışmada hesaplanan su buharı değerleri, yüzeydeki su buharını yani atmosferin en alt katmanında ki değeri gösterir. Atmosferin üst katmanlarına gidildikçe değerler değişmektedir, ancak bunun için radyosonda verilerinden yararlanılarak dikey anlamda yüksekliğin hesaba katıldığı bir hesaplama yapılması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



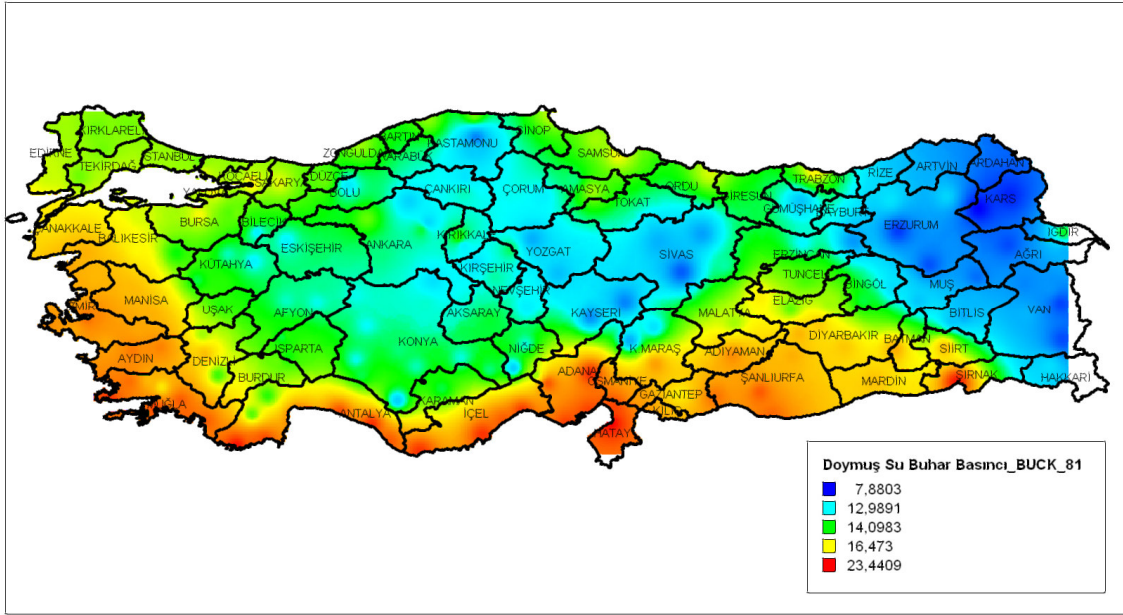
Şekil 2.4: Goff & Gratch (46) formülünden hesaplanmış P_w değerleri



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

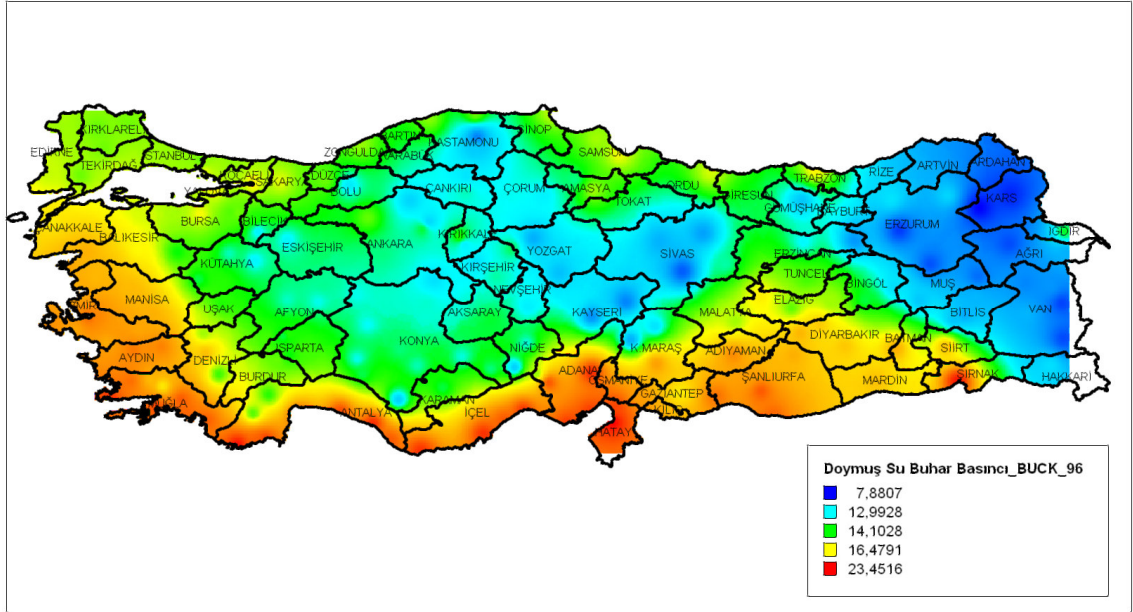


Şekil 2.6: Bolton (80) formülünden hesaplanmış P_w değerleri

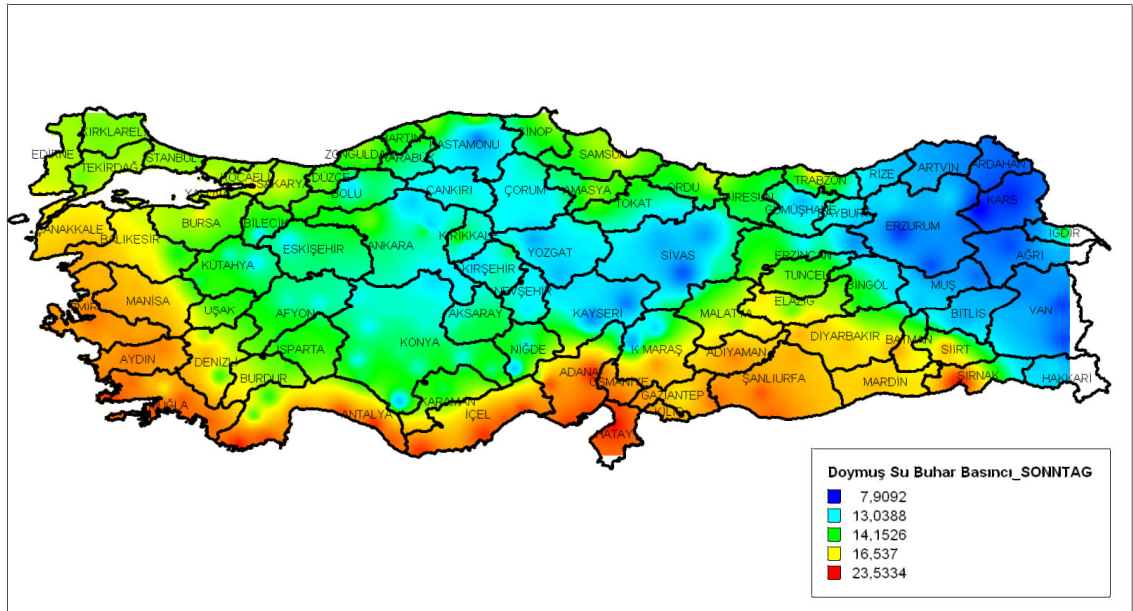


Şekil 2.7: Buck (81) formülünden hesaplanmış P_w değerleri

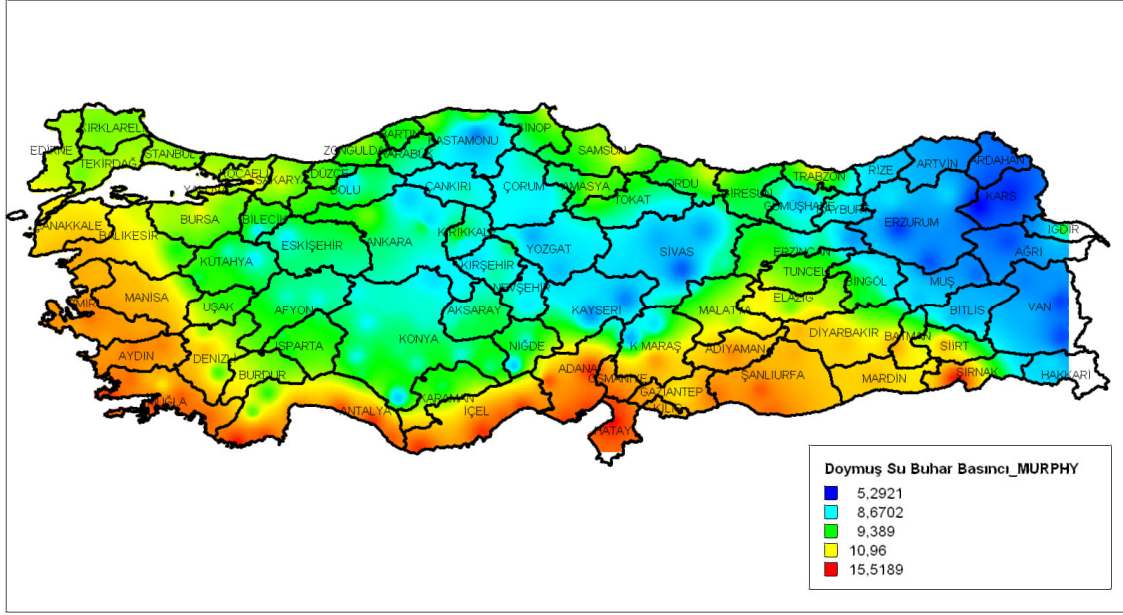
Radyo kırınlılık değerleri de su buharı yoluyla hesaplandığı için birinci derecede önem verilmesi gereken ölçüt su buharı olarak belirlenmiştir. Şekil 2.11’de Doymuş su buharı ile yüksekliğin ilişkisine bakılmıştır. P_w değerleri için Buck’ın (96) formülünden hesaplanan veriler kullanılmıştır. Regresyon 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.



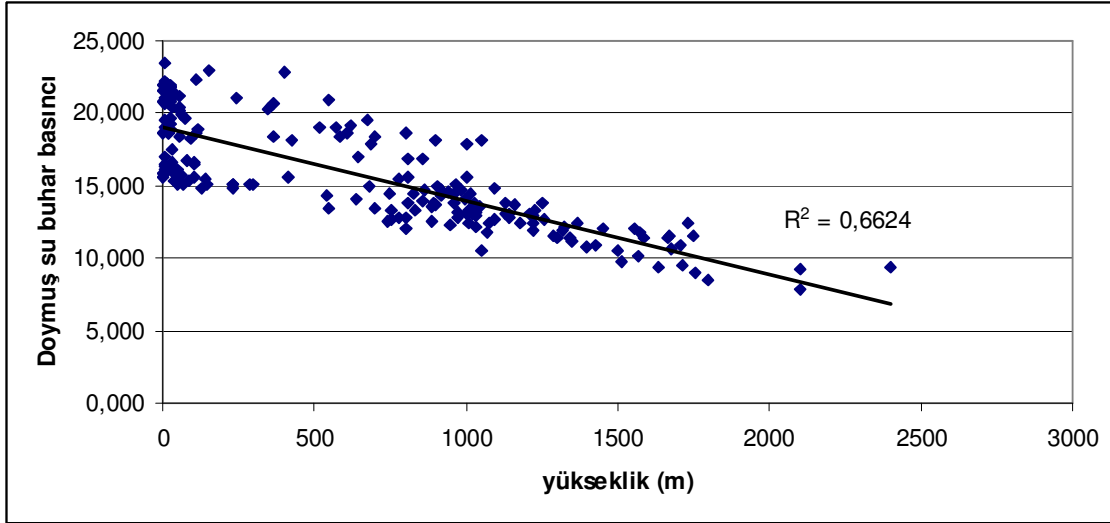
Şekil 2.8: Buck (96) formülünden hesaplanmış P_w değerleri



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

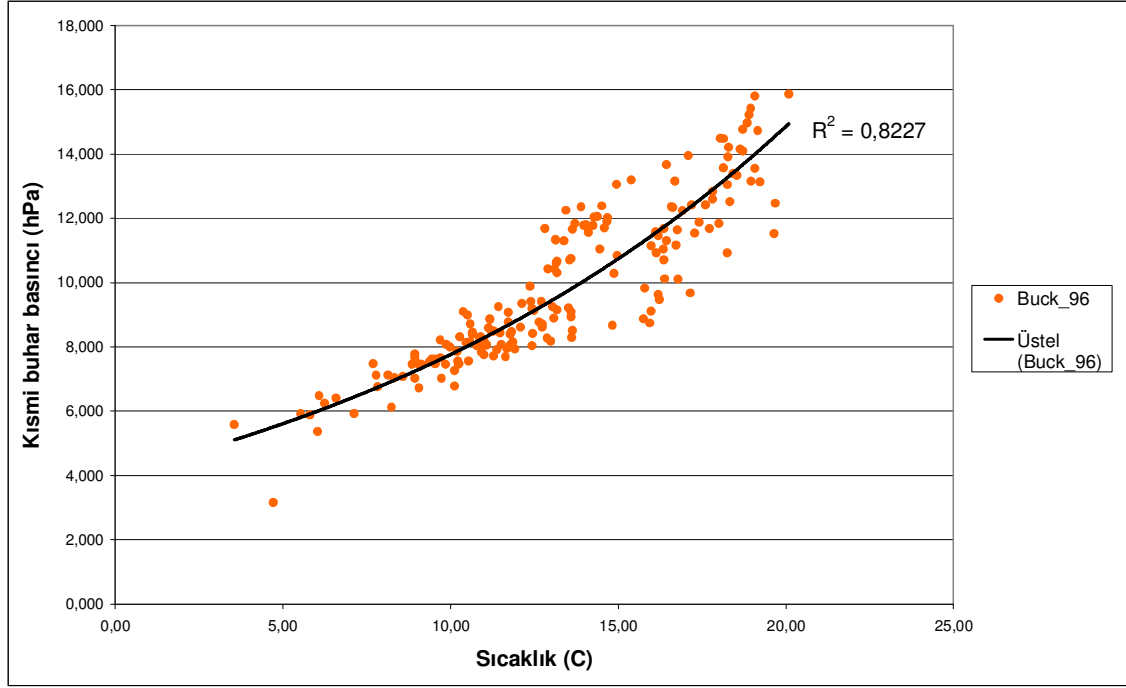
2.3 KISMİ SU BUHARI BASINCI

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.

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

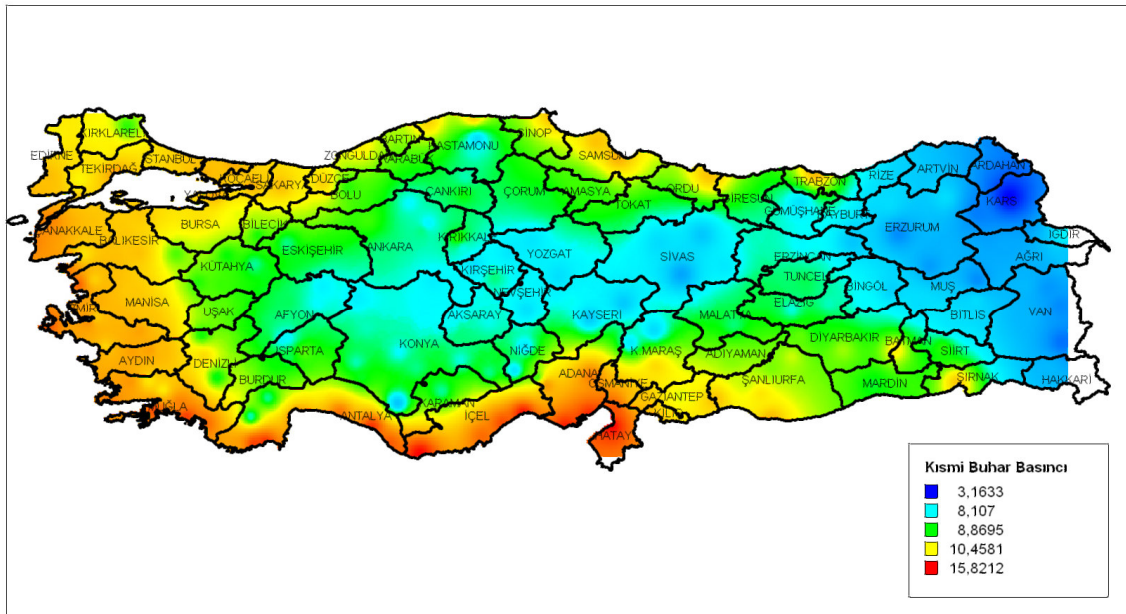
P_w [hPa] ve RH [%] birimindedir.

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 bağıllık 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 kırınırılık (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 kısmi buhar basıncı değerlerinin farklı birleşimleri kullanılmaktadır. Radyo kırınırılık (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 kırınırılık değerlerini hesaplamak için aşağıdaki denklemlerden yararlanılmıştır;

Smith&Weintraub (1953)

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

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;

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

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

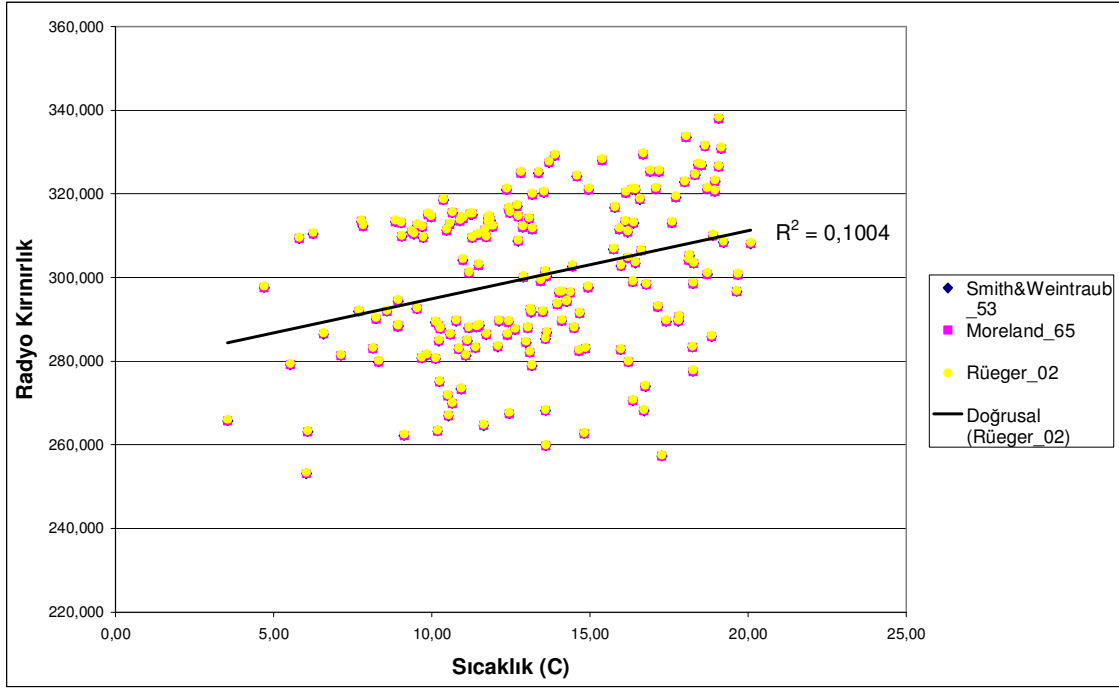
P_d [hPa] , e [hPa] , P [hPa] ve T [K] birimindedir.

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

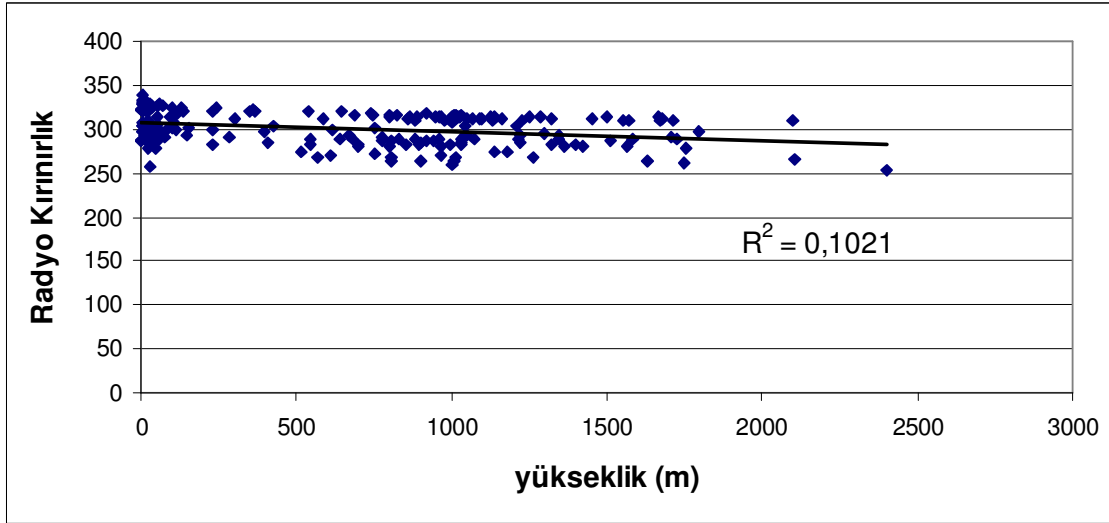
Bu çalışmadaki hesaplamalar belirli bir yüksekliğe ayarlanmış her meteoroloji istasyonunun bulunduğu noktaya (yüksekliğe) göre hesaplanmış yüzey kırınlılığı değerleridir. Atmosferin üst katmanlarına doğru gidildikçe mevcut formüllerin o şartları karşılayamayacağına karar verildiği için, radyosonda verileri 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 kırınlılık değerleriyle sıcaklık arasındaki ilişki gösterilmektedir. Grafikten de anlaşıldığı gibi N değerleriyle sıcaklık arasında doğrudan bir ilişki yoktur. Bunun nedeni radyo kırınlılığın sıcaklık dışında, atmosfer basıncı, kısmi buhar basıncı ve doymuş su buharı basıncı gibi birden fazla parametreye bağlı olmasıdır. Yıllar içinde radyo kırınlılık 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 Positioning 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 kırınlılığının (N) elde hesaplanması için iki formül geliştirmiştir, birincisi “en iyi ortalama sahip katsayılar”, ikincisi ise “en iyi kullanılabilirliğe sahip katsayılar” dayandırılmıştır. Denklem (11) ve (12)'de formüller ve katsayıları görülmektedir. 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 kırınlılığının 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 kırınlılığı için “ağırlıklı ortalama” formülü olarak adlandırılmaktadır.



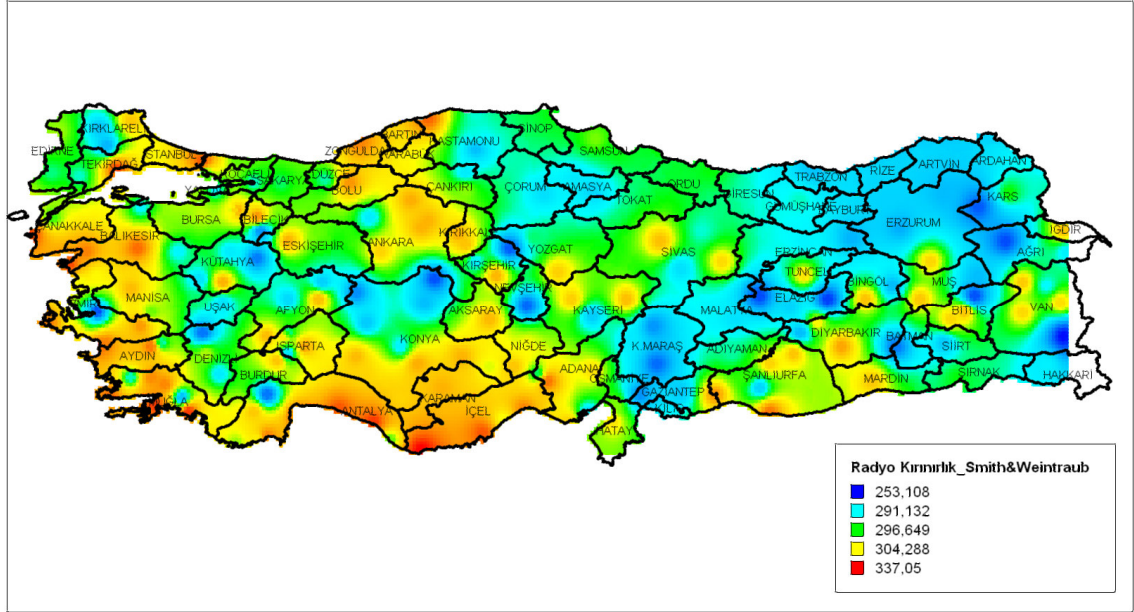
Şekil 2.14: Farklı radyo kırınırlık denklemlerin sıcaklığa göre dağılımlarının karşılaştırılması



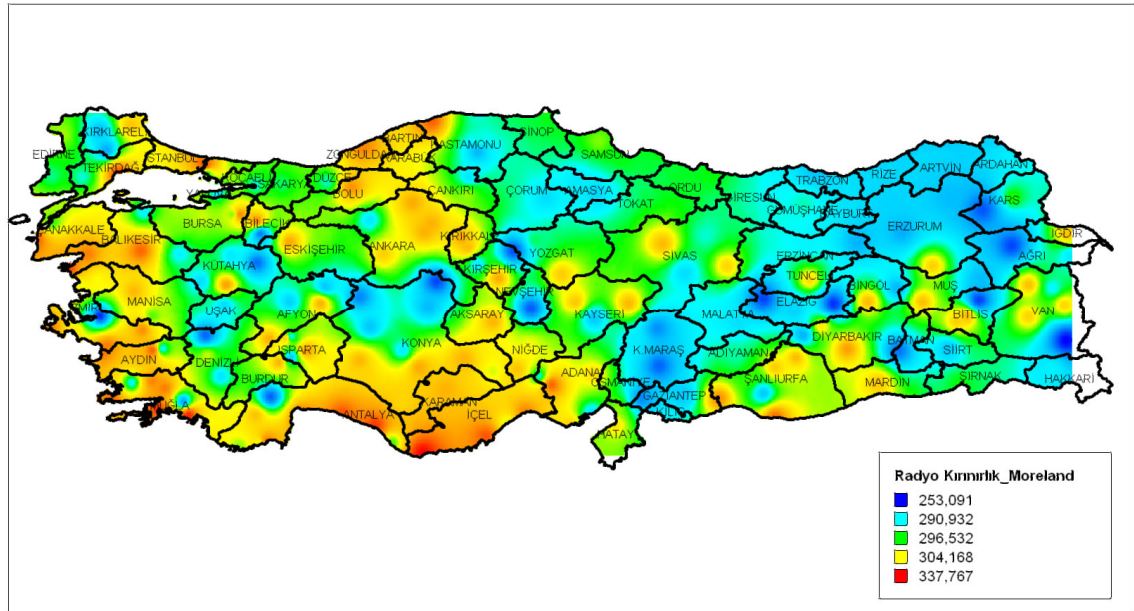
Şekil 2.15: Radyo kırınırlık ile yüksekliğin ilişkisi

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.

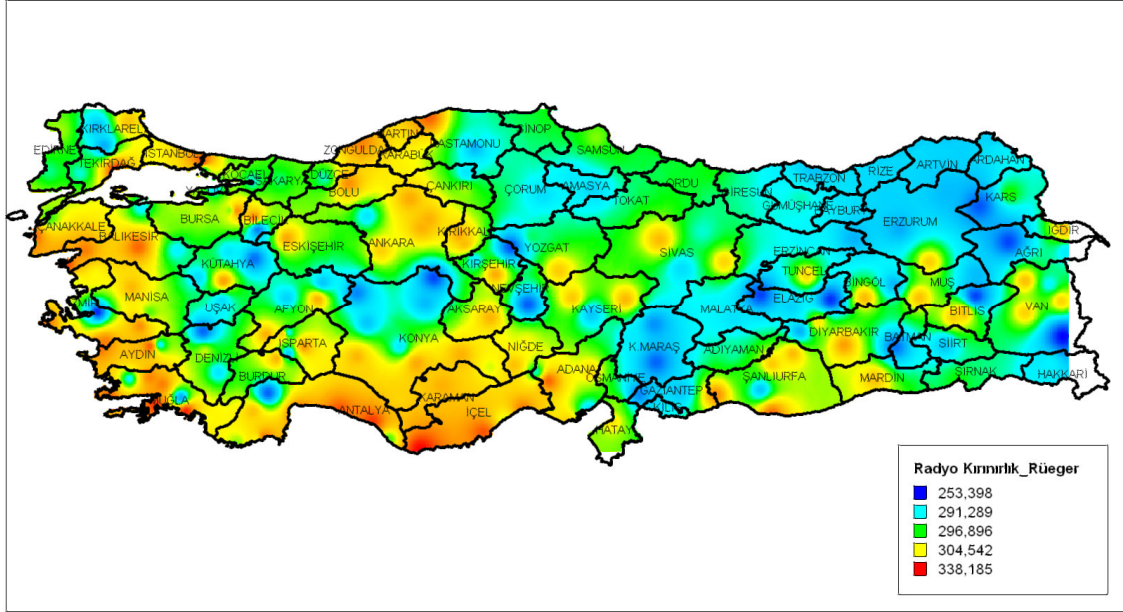
Farklı deneysel formüller yardımıyla hesaplanmış olan radyo kırınırlık ve radyo kırınırlık indeksi değerleri için Tablo 2.2’de verimiştir.



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_ADİ	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	ADİYAMAN	19,6017	19,5532	19,5611	19,6300	19,5570	19,5486	12,9758	9,6827
3	AFSİN	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_ERDEMLİ	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	BALIKESİR_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	BITLİS	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_ADİ	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	EGIRDİR	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	ERCİS	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	ESENBÖĞA	12,2887	12,2596	12,2622	12,3060	12,2601	12,2555	8,1846	7,9949
74	ESKİSEHİR_BOLGE	12,8599	12,8292	12,8322	12,8780	12,8301	12,8249	8,5599	8,4564
75	FETHİYE	20,8514	20,7997	20,8085	20,8816	20,8036	20,7955	13,7920	13,5671
76	FINİKE	21,6370	21,5833	21,5926	21,6683	21,5871	21,5794	14,3047	14,7694
77	GAZİANTEP	16,9452	16,9036	16,9095	16,9694	16,9068	16,8987	11,2386	10,2810
78	GAZİPASA	21,0355	20,9833	20,9922	21,0660	20,9872	20,9792	13,9122	13,9179
79	GEDİZ	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	KARAIHALI	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	KAYSERİ	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	KESKİN	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	KIRKLARELİ	15,1064	15,0697	15,0742	15,1279	15,0720	15,0648	10,0340	10,4314
116	KIRSEHİR	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	KOCAELİ	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	KORKUTELİ	14,4766	14,4415	14,4456	14,4971	14,4435	14,4368	9,6210	8,4218
121	KOYCEGİZ	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	MALAZGİRT	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_ADİ	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	MERSİN	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	MİLAS	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	ODEMİS	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	SEFERİHISAR	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	SENİRKENT	14,4576	14,4226	14,4267	14,4781	14,4246	14,4178	9,6086	8,0356
158	SEYDİSEHIR	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	SİLE	15,4454	15,4077	15,4125	15,4673	15,4103	15,4028	10,2562	12,2530
161	SİLİFKE	22,1289	22,0740	22,0837	22,1611	22,0778	22,0704	14,6257	13,5594
162	SİMAV	13,8060	13,7727	13,7764	13,8255	13,7743	13,7681	9,1811	9,0786
163	SİNOP	16,0598	16,0205	16,0258	16,0827	16,0234	16,0156	10,6588	11,7950
164	SİVAS	11,5282	11,5011	11,5032	11,5445	11,5010	11,4973	7,6847	7,4771
165	SİVEREK	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	TEKİRDAG	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_ADİ	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	ADİYAMAN	293,0028	1,000293	292,9734	1,000293	293,3299	1,000293
3	AFSİN	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_ERDEMLİ	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	BALIKESİR_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	BITLİS	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_ADİ	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	KARASALI	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	KAYSERİ	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 ışıyım 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 gözlemler 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 açısız çözünürlük elde etmek için gözlemler yüksek kazançlı antenler ya da ağırlar 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 özellikle 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 gözlemleri korumak için elinden geleni yapmalı ve bunun için istenmeyen ışımaları minimuma indirmeli. Özellikle yüksek irtifadaki kalkış platform istasyonlarından ve uçaklardan gelecek sinyallere karşı dikkatli olunmalı.
4. Frekans tahsisi için başvuru yazarken yönetimin gözlemleri 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 gözlemlerinin direk olarak kullanılabileceği 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 ΔP olarak ifade edilir. Hassaslık denklemi:

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{1}{\sqrt{\Delta f_0 t}} \quad (1)$$

P ve ΔP : gürültünün spektral yoğunluk gücü

Δf_0 : bant aralığı

t : integrasyon zamanı

(1) denklemdeki P ve ΔP sıcaklık birimi ve sabiti ile yazılabilir.

$$\Delta P = k \Delta T \quad \text{ve} \quad P = k T \quad (2)$$

Böylece hassaslık denklemini şöyle yazabiliriz.

$$\Delta T = \frac{T}{\sqrt{\Delta f_0 t}} \quad (3)$$

$$T = T_A + T_R$$

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.

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

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

- ΔT , denklem (3)’ü kullanarak
- ΔP , denklem (2)’yi kullanarak
- ΔP_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/m²))’ın değerleri ΔP_H hesaplanarak bulunur.

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

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 açısız uzaklığı ile azalır ve $1^\circ < \phi < 48^\circ$ için $32 - 25 \log \phi$ (dBi)’e eşittir. Yinede Tablo 3.1 ve Tablo 3.3’e referansları olarak anten için kazanç ve tepki parametrelerini hesaplamakta fayda vardır.

Burada verilen modelde kayıp seviyesi ana demetten 19.05 derece olarak verilmiştir. Tabloda verilen anten sıcaklıkları radyo astronomide kullanılan pratik sistemlerdendir. Nötr atmosferin iyonosferin etkilerini de içerir ve gözlemlere etki edecek diğer faktörlerden olan kozmik arkaalan ışınlamına 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 karşılaşmazsınız, 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 Δf (MHz)	Minimum anten gürültü sıcaklığı T_A (K)	Alet gürültü sıcaklığı T_R (K)	Sistem hassasiyeti ⁽²⁾ (gürültü değışımi)		Eşik girişim seviyeleri ^{(2),(3)}		
				Sıcaklık ΔT (mK)	Tayfsal güç yoğunluğu ΔP (dB(W/Hz))	Girdi gücü ΔP_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)
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 Δf (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 ΔT (mK)	Tayfsal güç yoğunluğu ΔP (dB(W/Hz))	Girdi gücü ΔP_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
1420	20	12	10	3.48	-253	-220	-196	-239
1612	20	12	10	3.48	-253	-220	-194	-238
1665	20	12	10	3.48	-253	-220	-194	-237
4830	50	12	10	2.20	-255	-218	-183	-230
14488	150	15	15	1.73	-256	-214	-169	-221
22200	250	35	30	2.91	-254	-210	-162	-216
23700	250	35	30	2.91	-254	-210	-161	-215
43000	500	25	65	2.84	-254	-207	-153	-210
48000	500	30	65	3.00	-254	-207	-152	-209
88600	1000	12	30	0.94	-259	-209	-148	-208
150000	1000	14	30	0.98	-259	-209	-144	-204
220000	1000	20	43	1.41	-257	-207	-139	-199
265000	1000	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 · Hz)))
325.3	-217
611	-212
1 413.5	-211
2 695	-205
4 995	-200
10 650	-193
15 375	-189
23 800	-183
43 000	-175
86 000	-172

3.5 TAYF ÖLÇÜMLERİ

Radyo gözlemleri 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 ışınlu 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 sistemine entegre olan hidrolik must (yükseltme düzeneği) kullanılarak alınan tayf ölçümlerinde bu ölçüt sağlanmıştır.

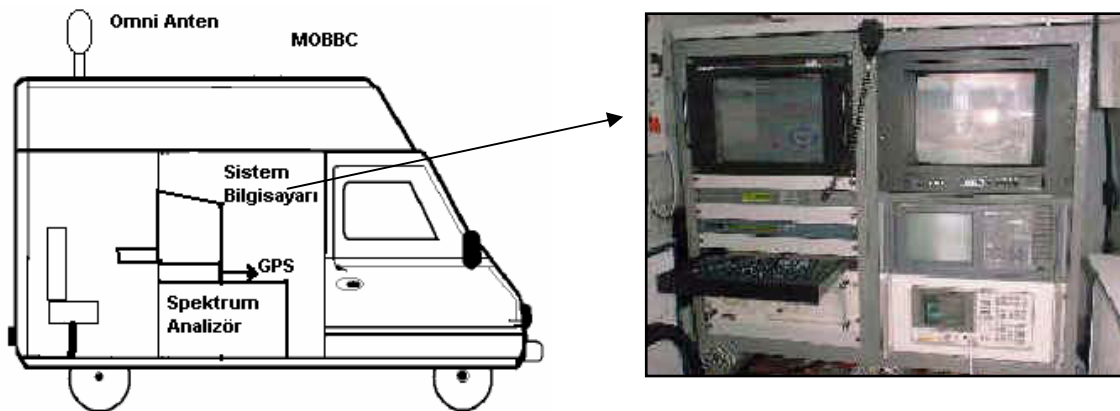
Tablo 3.4: Ölçümlerde kullanılan anten türleri ve frekans aralıkları

Frekans Aralığı	Anten Türü
$20 \text{ MHz} < \nu < 80 \text{ MHz}$	Dipol Anten
$80 \text{ MHz} < \nu < 1,2 \text{ GHz}$	OMNİ – Yönlü Anten
$850 \text{ MHz} < \nu < 26,5 \text{ GHz}$	Log – Periyodik Anten + Parabolik Anten
$\nu > 26,5 \text{ GHz}$	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 düzene, anteni 15 m'ye kadar yükseltmek amacıyla kullanılmaktadır. Polarizasyon düzeneği ise antenin yatay ve düşey polarizasyonlarının 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 yönelmiş 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° 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 antenin görüntüsü ve dış koruması

4. ÖLÇÜMLERİN YORUMU

Türkiye’de kurulması planlanan Radyo Astronomi Gözlemevi yer seçim çalışmaları kapsamında hazırlanan bu çalışmada, 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
Buharlaştırma (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 kırınırılık (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 gözlemlendiği 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 yüksekliktir. 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 bulutluluklarının tüm ölçüm istasyonları için benzer ve öğlen bulutluluğuna göre daha düşük bir eğilim izlendiği gözlenmektedir. Tüm saatlerde bulutluluğun en az gözlemlendiği istasyon Antalya-Akçay Ahatlı Köyü iken, Karaman-Akçaşehir Çakırdağ mevki 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 Gözlemeleri 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 mevki 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 dağılımının 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. Gözlemeleri 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.

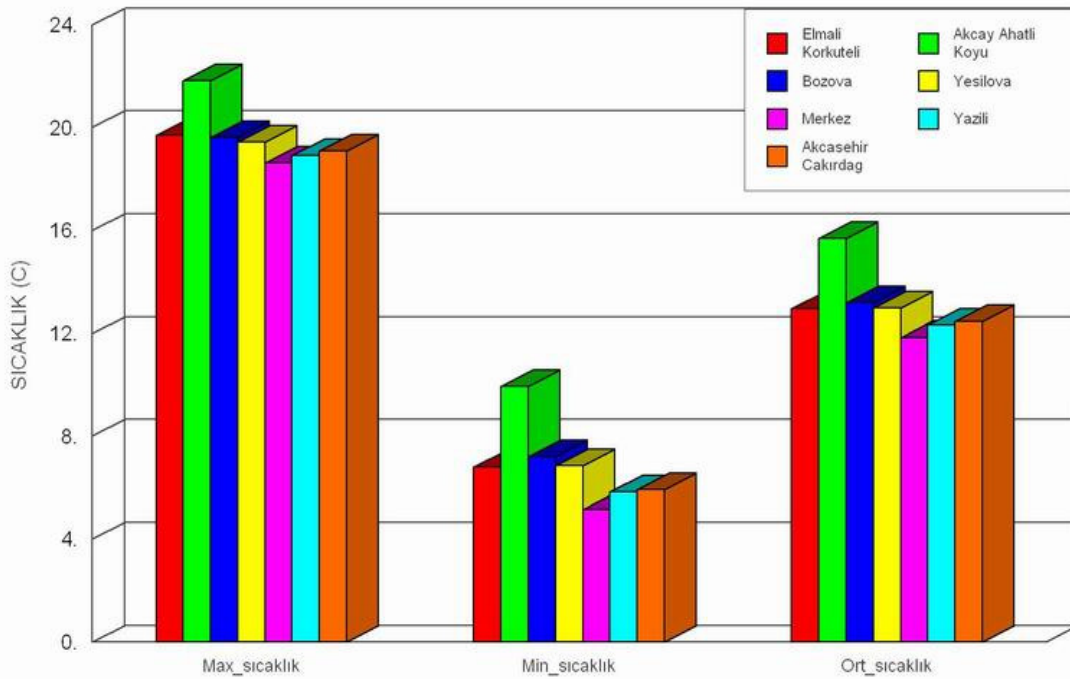
8. Şekil 4.9'da verilen yıllık toplam kar kalınlığı değerlerine bakıldığında, ölçüm merkezleri içinde en çok kar yağışı alan yerlerin Antalya-Bozova ve Korkuteli Elmalı olduğu ve yine Antalya-Akçay Ahatlı Köyü mevkiinin ölçüm istasyonları içinde kar yağışından en az etkilenen yer olduğu görülmektedir.

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 ise 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. Gözlemeleri için sayılan tüm bu parametrelerin minimum değerlere yakın olması istenen bir ölçütdür.

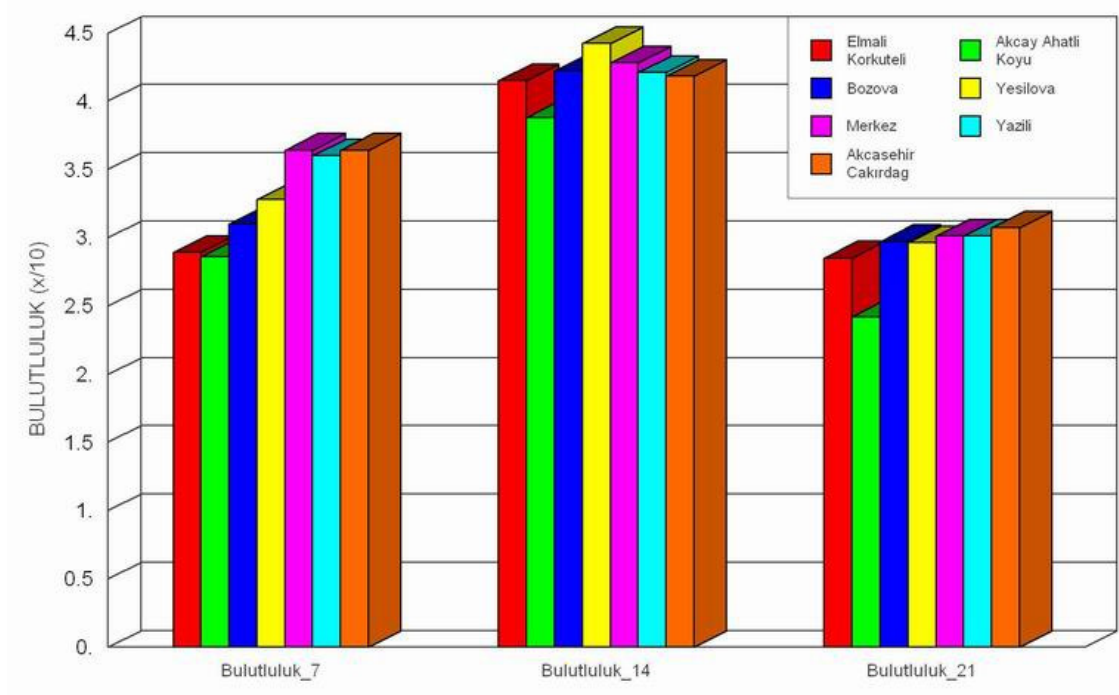
10. Şekil 4.11'deki yüzeydeki atmosfer basıncı değerlerinin ölçüm istasyonlarına göre dağılımına bakıldığında, genel olarak tüm istasyonların yakın basınç değerlerine sahip olduğu görülmektedir. En yüksek atmosfer basıncı değeri ise Antalya-Akçay Ahatlı Köyü ölçüm yerinde gözlenmiştir. Atmosfer basıncı 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 mevkieinde her iki buhar basıncı değeriinin de en yüksek değeriilerine ulaştığı, Karaman bölgesindeki istasyonlarda ise karasal ikliminde etkisiyle buhar basıncı değeriilerinin düştüğü gözlenmektedir. Radyo gözlemevleri için en önemli iki atmosferik parametreden biri olan su buharı basıncının, en düşük değeriilere sahip olduğı bölgelerin Karaman yöresindeki istasyonlar ve Antalya-Elmalı Korkuteli istasyonu olduğı görülmektedir. Ancak Şekil 4.13'deki radyo kırınırılık değeriilerinin ölçüm istasyonlarına göre dağılımı incelendiğinde görülmüştür ki, Karaman bölgesindeki istasyonlar diğeri ölçüm yerleri içinde hesaplanan en yüksek kırınırılık değeriilerine sahiptir. Bu durumda radyo kırınırılığı en düşük olan Elmalı Korkuteli istasyonunun tercih edilmesiyle, su buharı basıncı değeriilerinin de uygunluğu sağlanabilir.

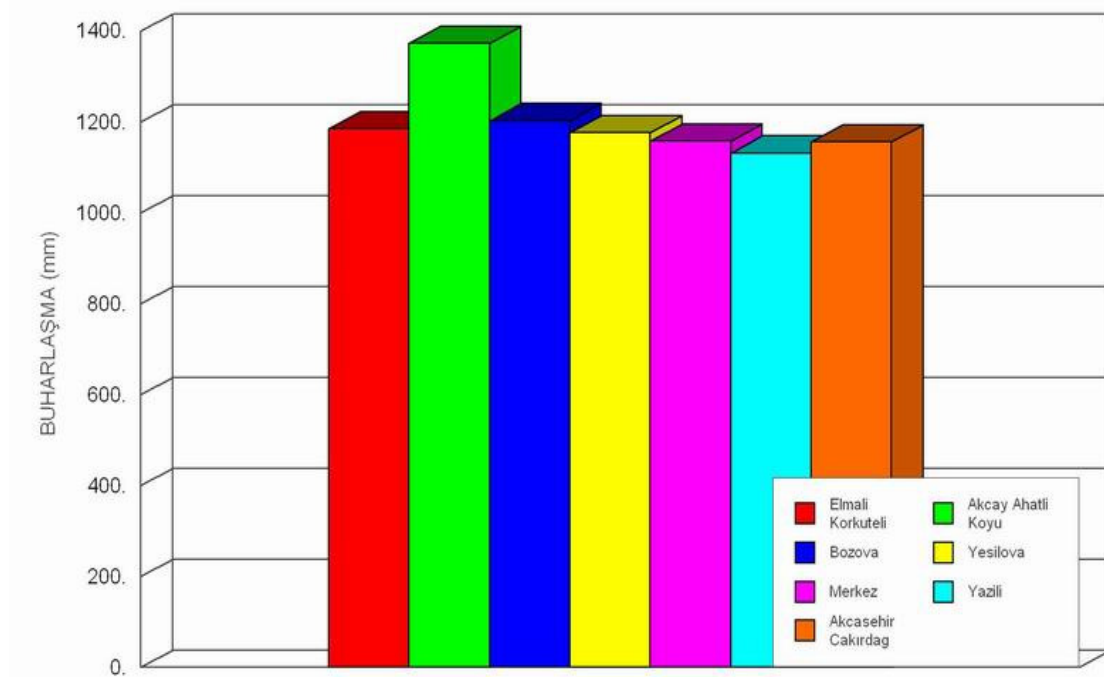
12. Ancak yer seçimlerinde dikkate alınması gereken bir başka parametre olan depremsellik unutulmamalıdır. Depremsellik dikkate alındığında Burdur ölçüm istasyonu 1. derece deprem kuşağında, Antalya ölçüm istasyonları 1. ve 2. derece deprem kuşaklarında ve Karaman ölçüm istasyonları ise 2. derecede deprem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



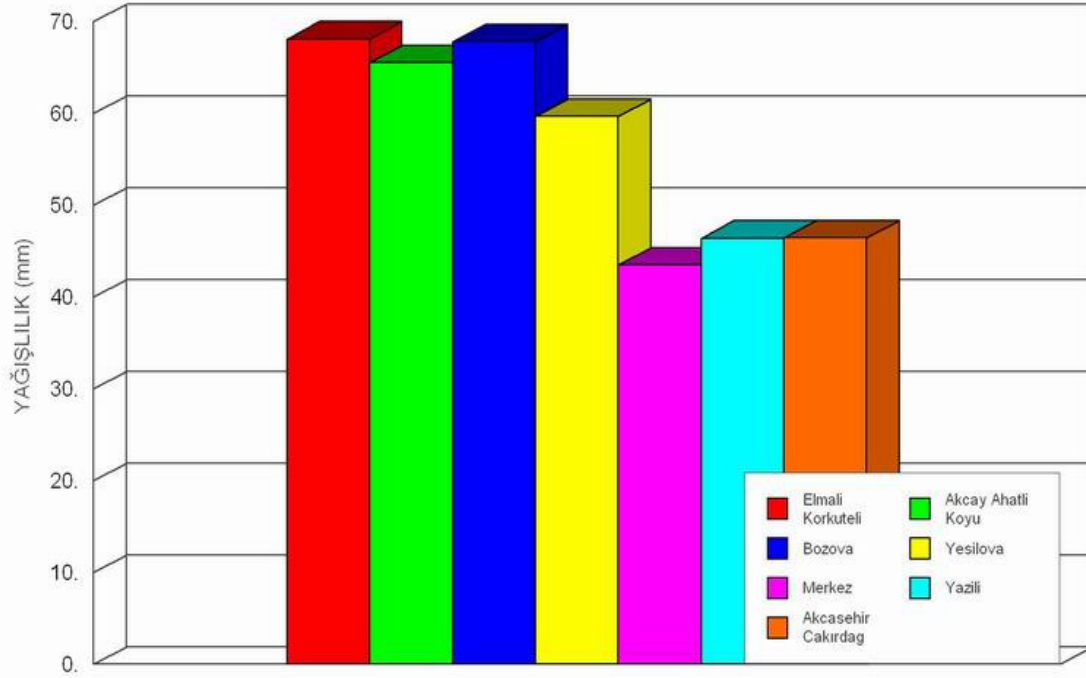
Şekil 4.1: Maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık değeriilerinin ölçüm istasyonlarına göre dağılımı



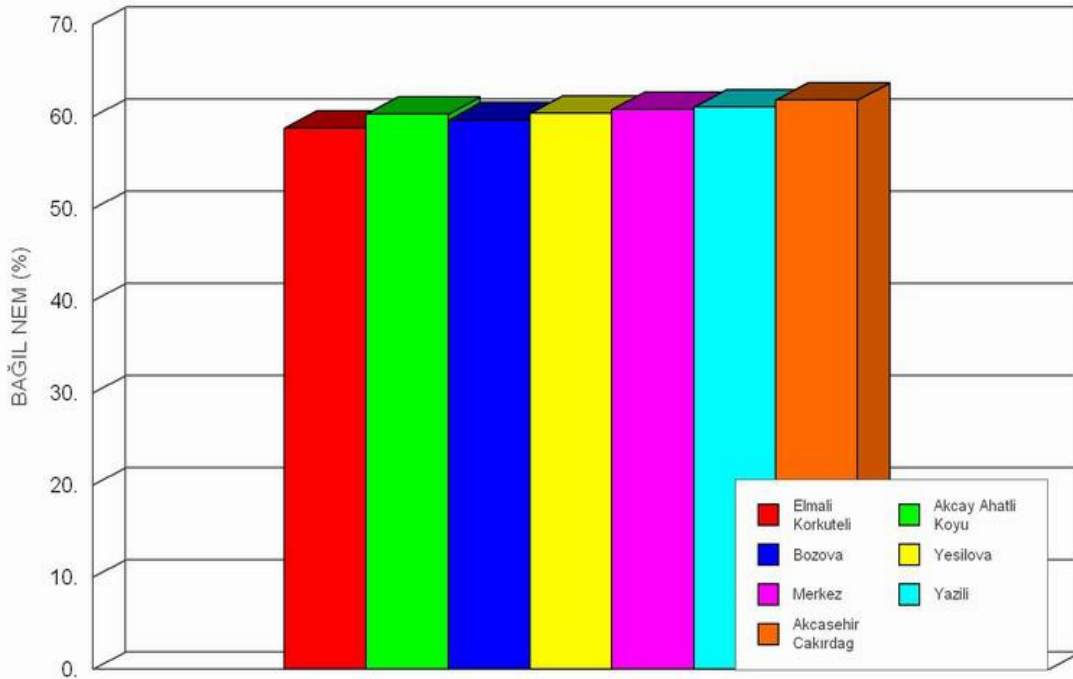
Şekil 4.2: Sabah, öğlen ve akşam bulutluluk değerlerinin ölçüm istasyonlarına göre dağılımı



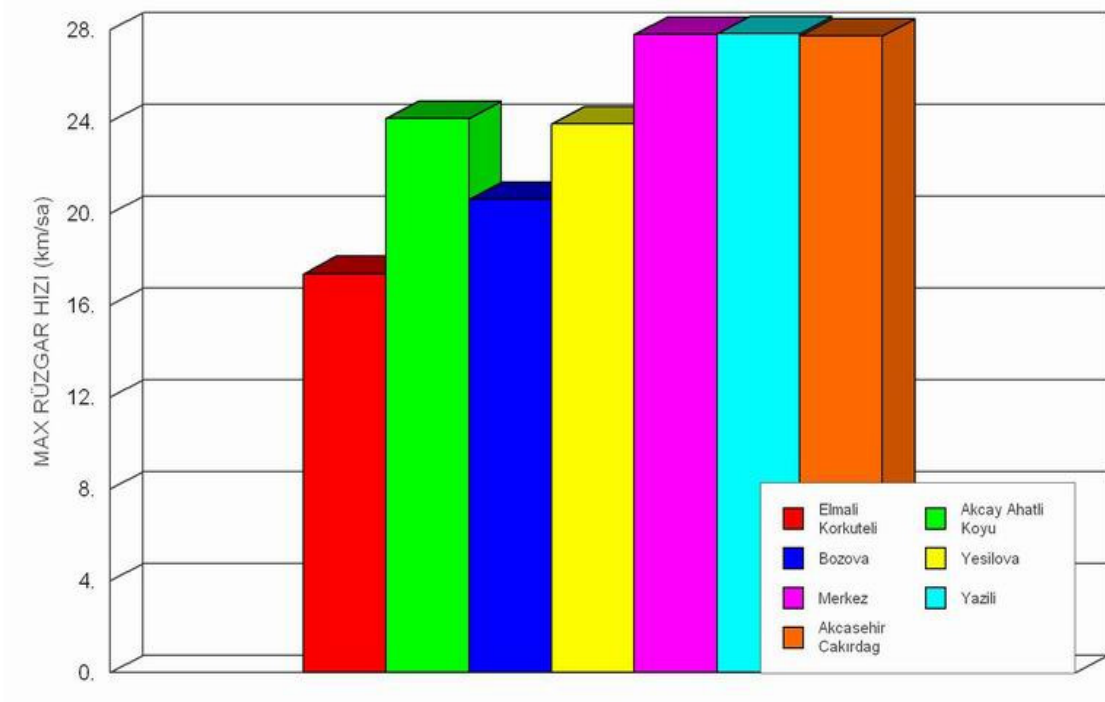
Şekil 4.3: Toplam buharlaşma değerlerinin ölçüm istasyonlarına göre dağılımı



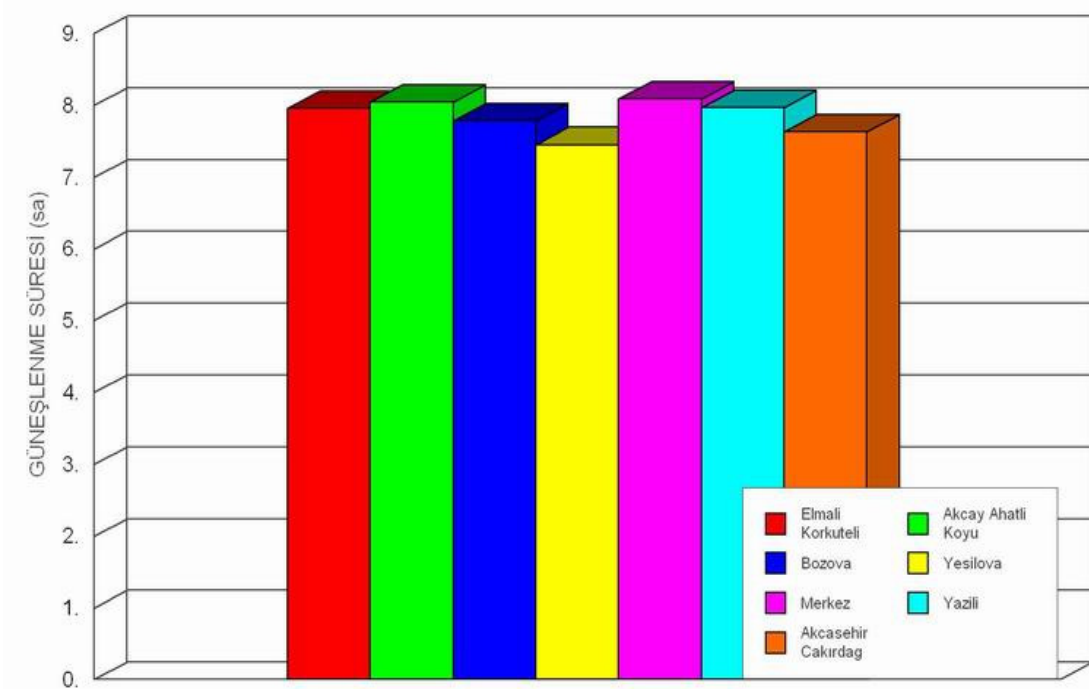
Şekil 4.4: Maksimum yağışlılık değerlerinin ölçüm istasyonlarına göre dağılımı



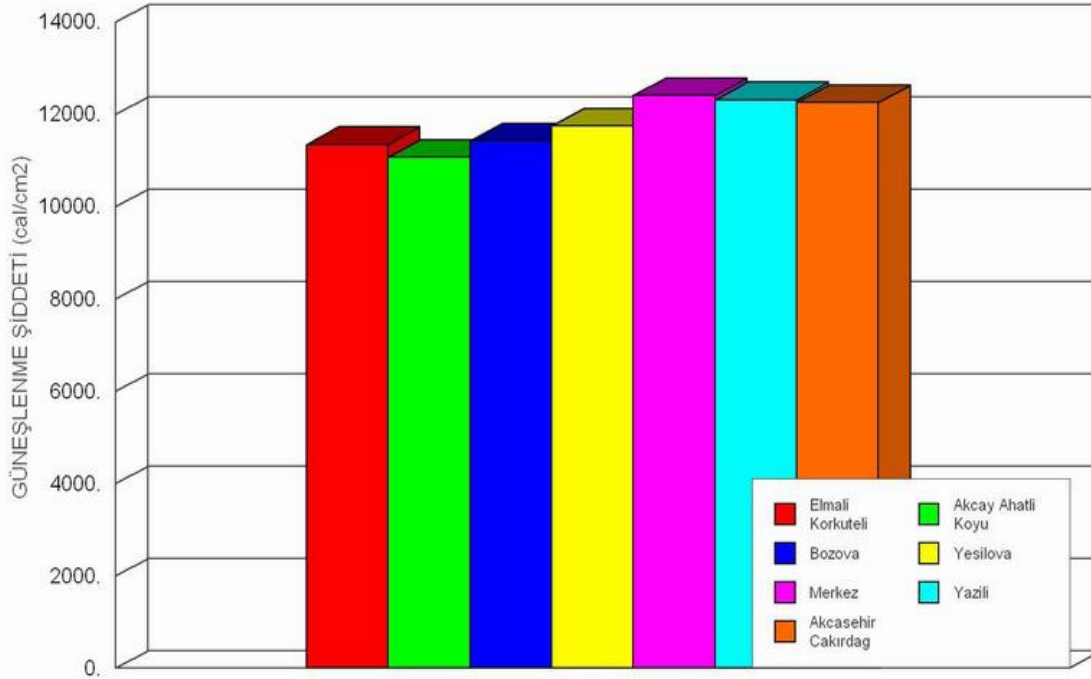
Şekil 4.5: Bağıl nem değerlerinin ölçüm istasyonlarına göre dağılımı



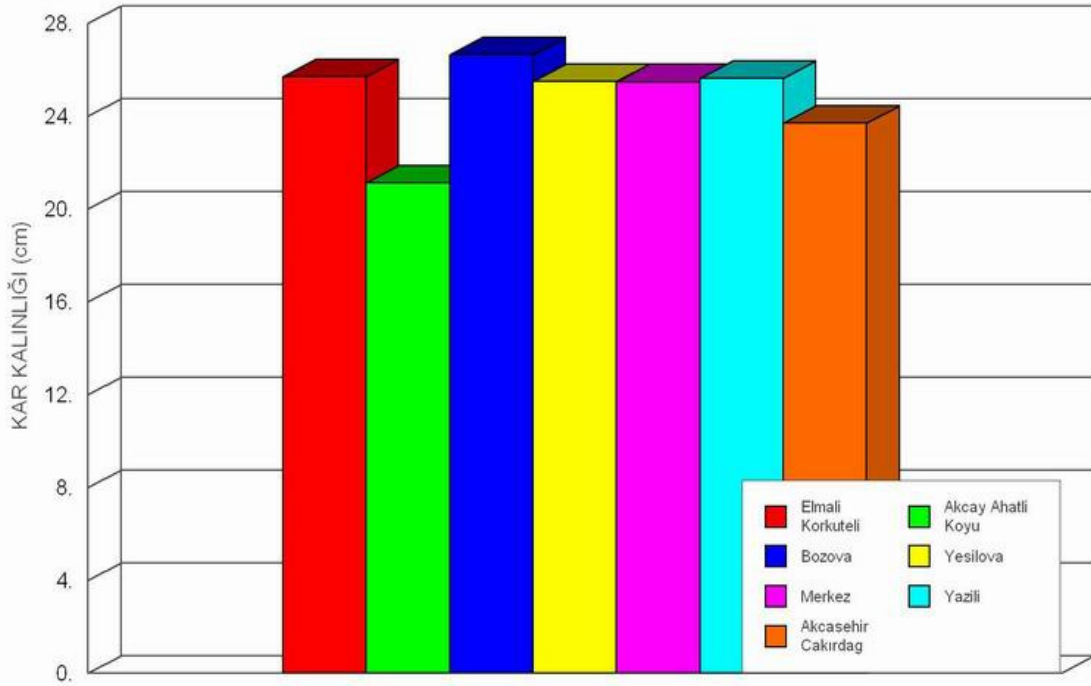
Şekil 4.6: Maksimum rüzgar hızı değerlerinin ölçüm istasyonlarına göre dağılımı



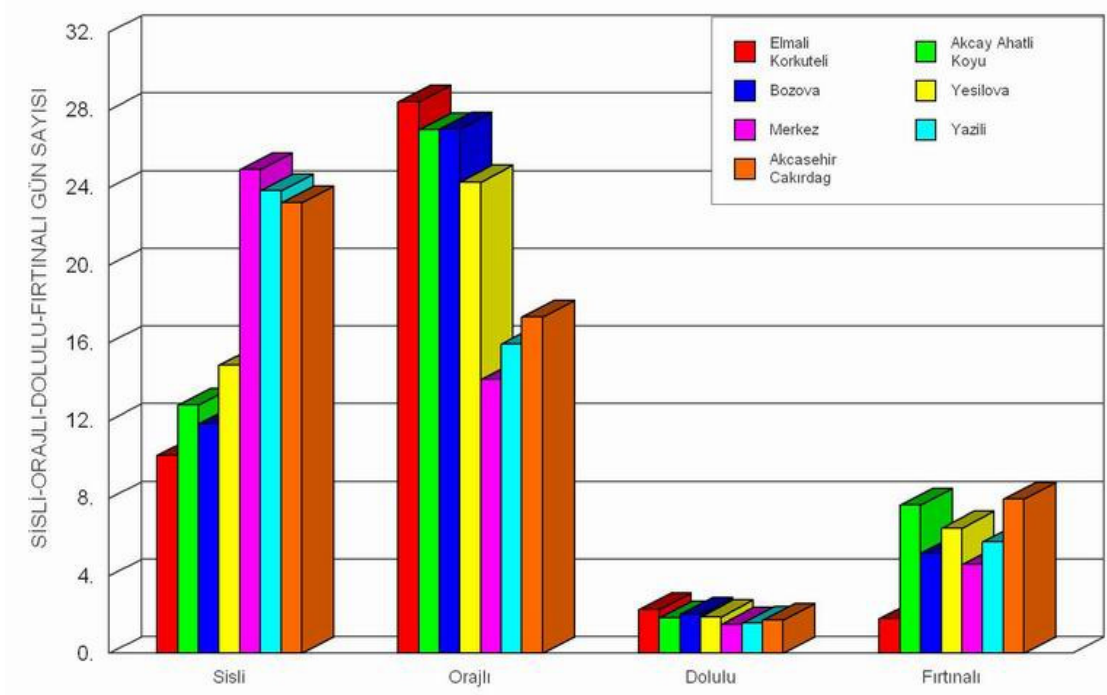
Şekil 4.7: Güneşlenme süresi değerlerinin ölçüm istasyonlarına göre dağılımı



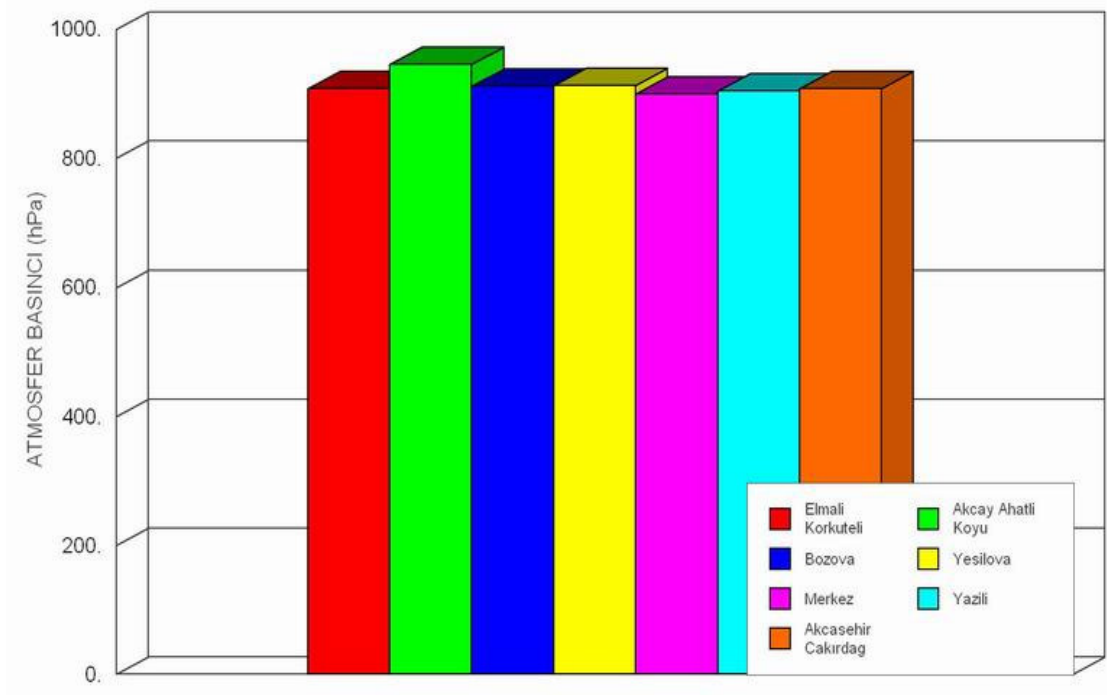
Şekil 4.8: Güneşlenme şiddeti değerlerinin ölçüm istasyonlarına göre dağılımı



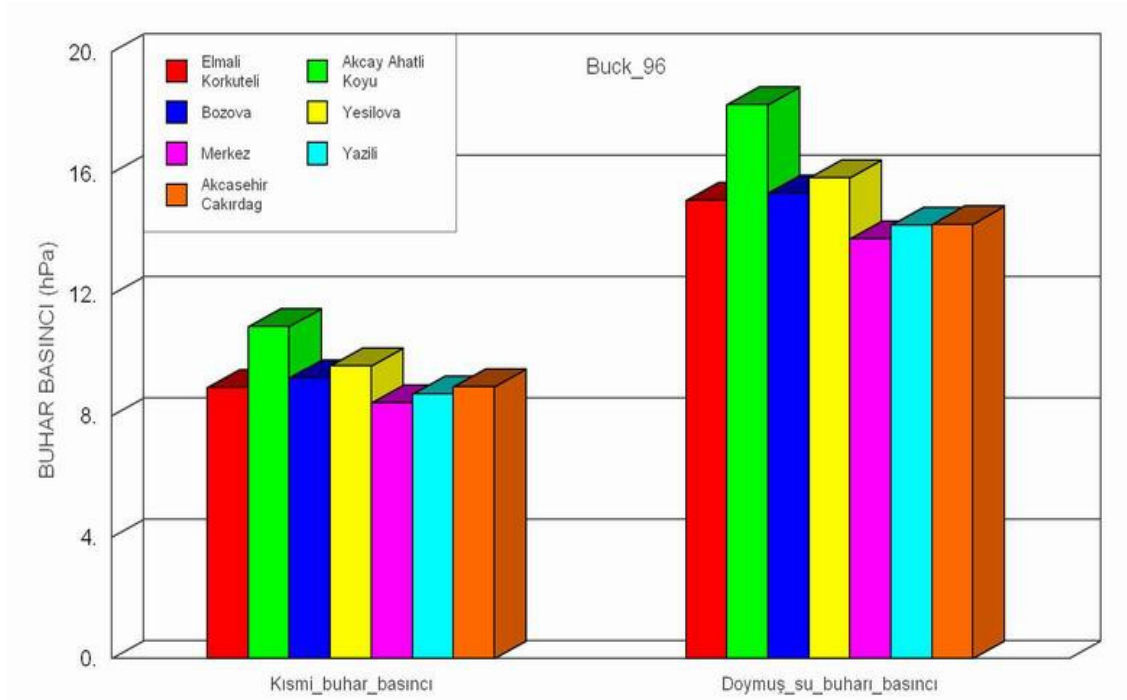
Şekil 4.9: Toplam kar kalınlığı değerlerinin ölçüm istasyonlarına göre dağılımı



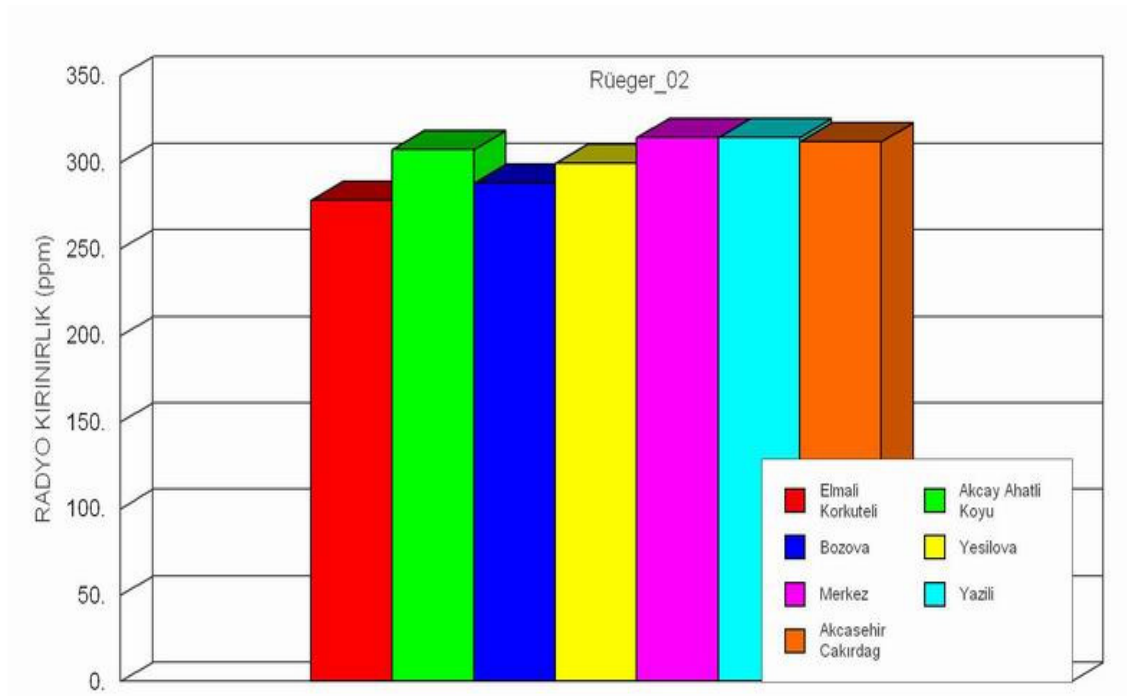
Şekil 4.10: Sisli, orajlı, dolulu ve fırtınalı gün sayısı değerlerinin ölçüm istasyonlarına göre dağılımı



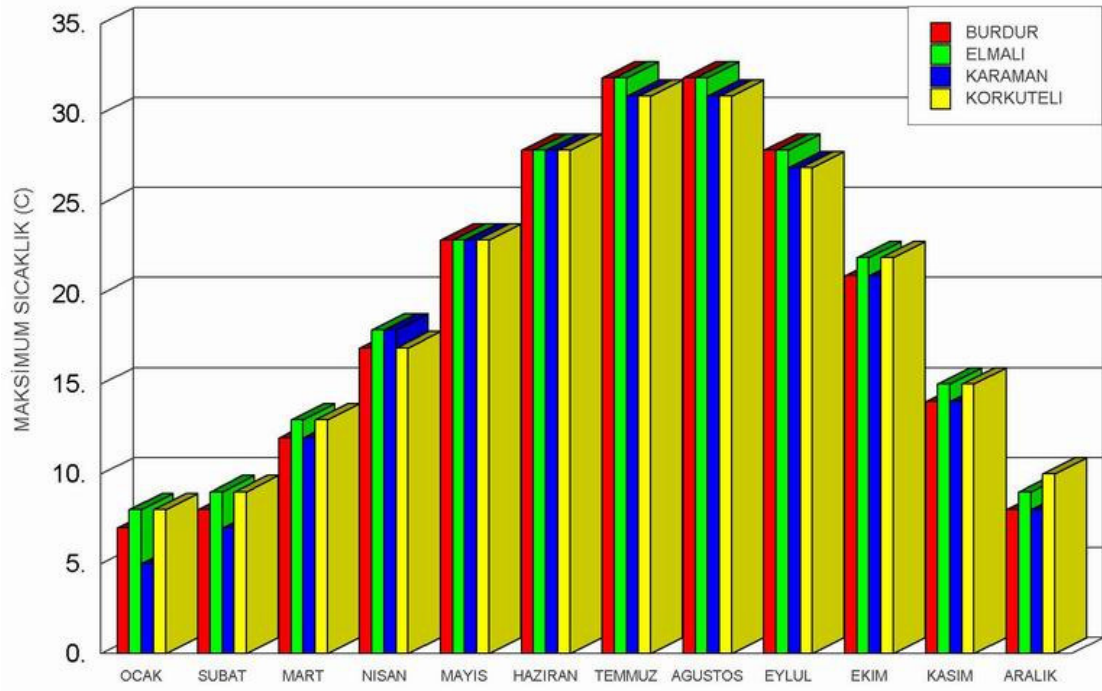
Şekil 4.11: Yüzeydeki atmosfer basıncı değerlerinin ölçüm istasyonlarına göre dağılımı



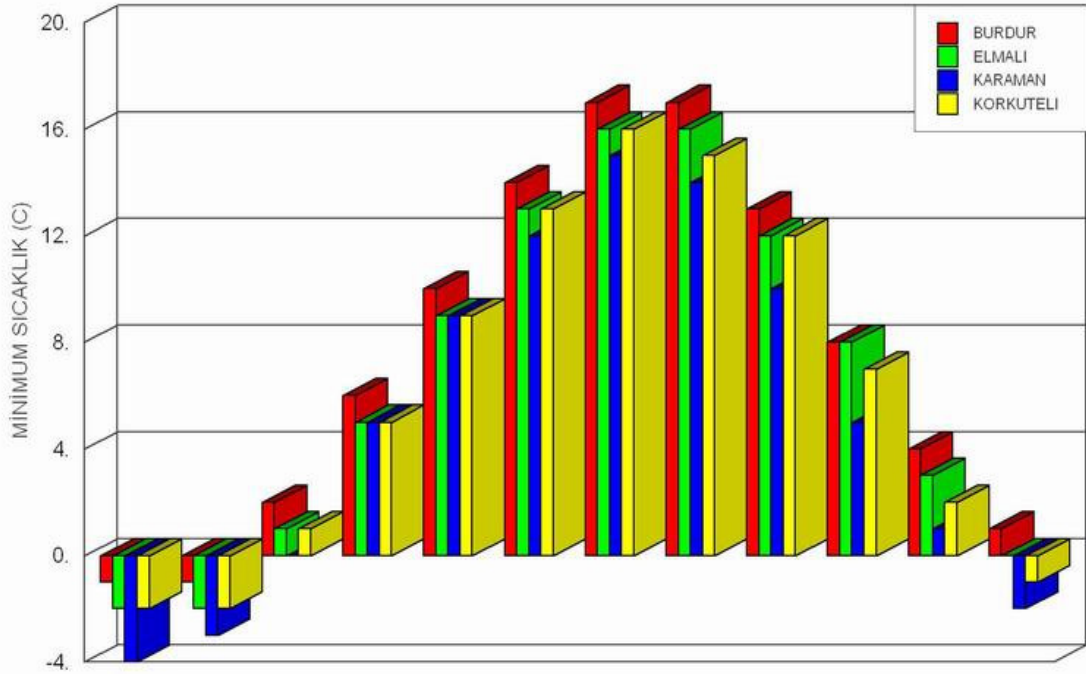
Şekil 4.12: Kısmi buhar basıncı ve doymuş su buharı değerlerinin ölçüm istasyonlarına göre dağılımı



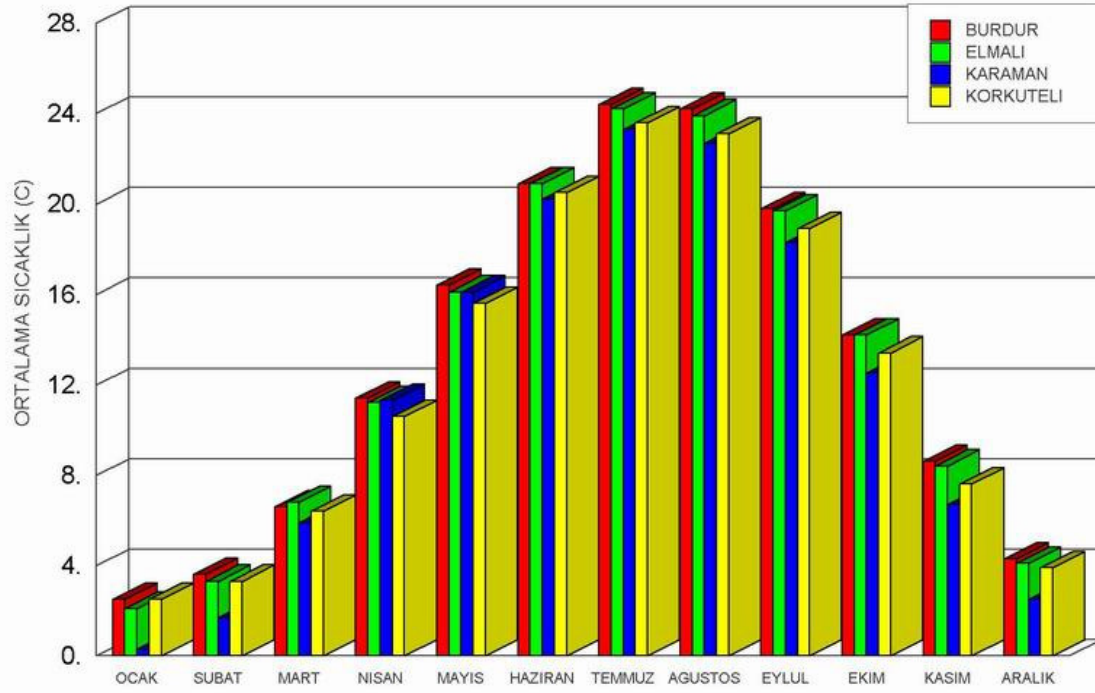
Şekil 4.13: Radyo kırınlık değerlerinin ölçüm istasyonlarına göre dağılımı



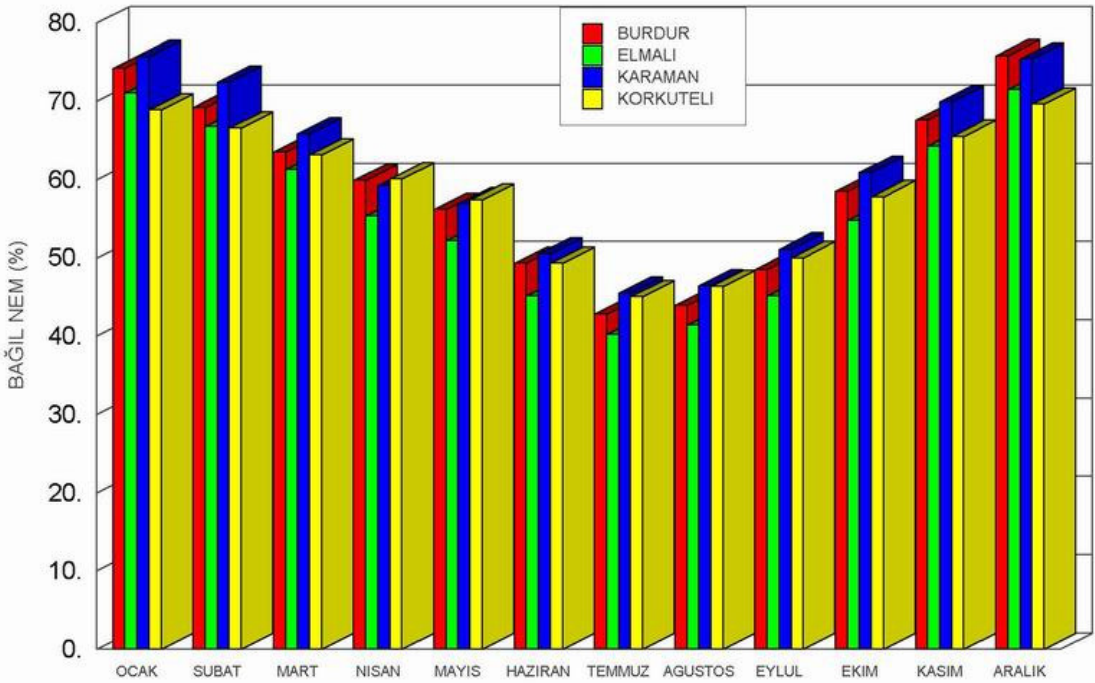
Şekil 4.14: Maksimum sıcaklık değerlerinin ölçüm istasyonlarına göre dağılımı



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

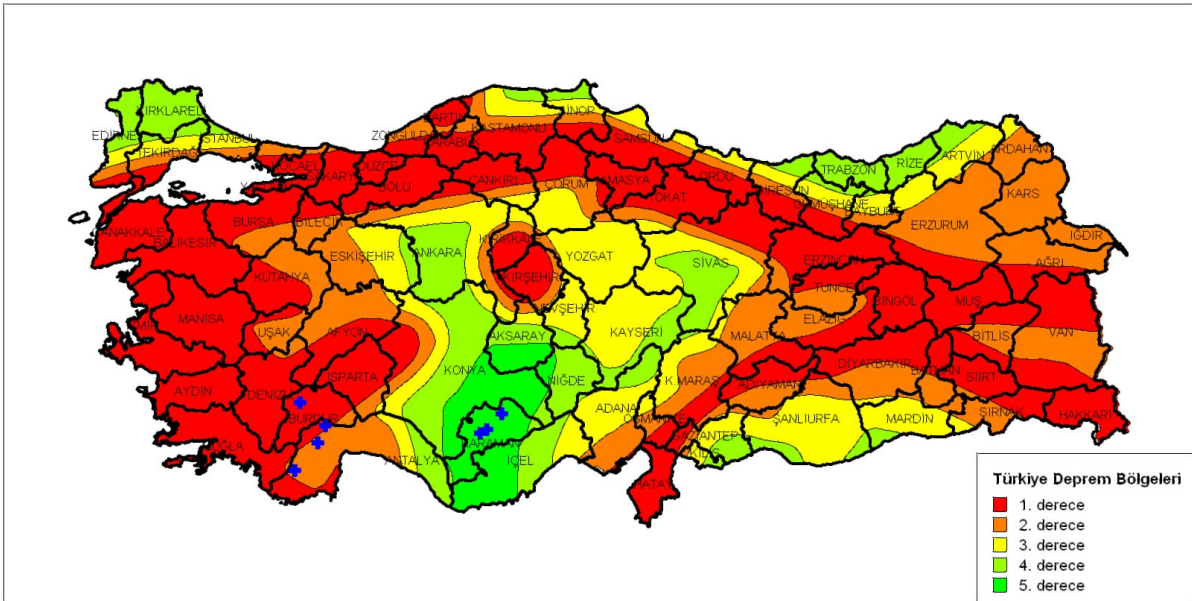
Bu ölçüm noktalarına ait koordinat bilgileri MapInfo'ya aktarılmış, daha sonra MapInfo içinde çalışan MapBasic araçlarından biri olan *Google Earth Connnection Utility* kullanılarak vektörel veriler Google Earth'e aktarılmıştır. Böylelikle Google Earth'ün uydu görüntüleri altlık veri olarak kullanılarak 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 arasındaki şekillerde ölçüm yerlerine ait noktaların Google Maps Terrain (Arazi) Modeli üzerindeki konumları gösterilmektedir. Bölgenin topoğrafik yapısı hakkında fikir vermekle beraber, ileride dizge teleskoplara geçilebilmesi için uygun düzlük alanları sağlayıp sağlayamadığına bakılabilmeleri 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, H₂O, HO çizgileri gibi).



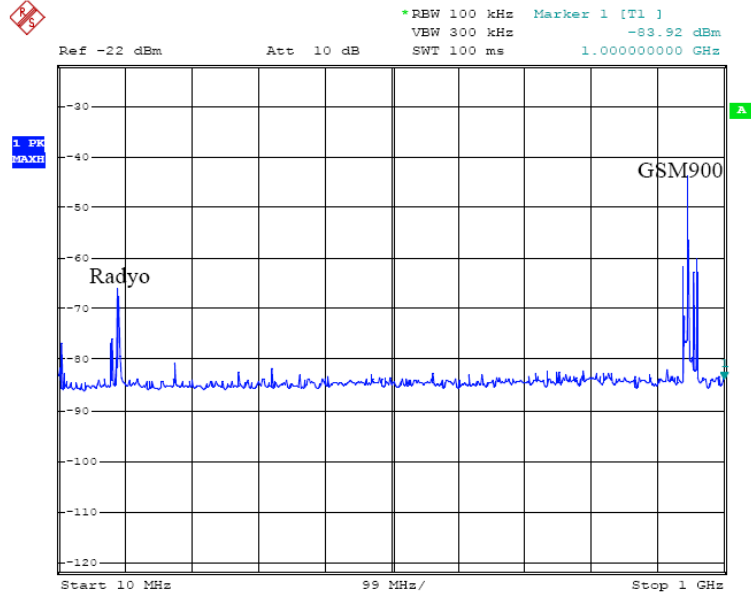
Şekil 4.18: Türkiye deprem bölgeleri haritası ve ölçüm merkezleri

[illegible]

77

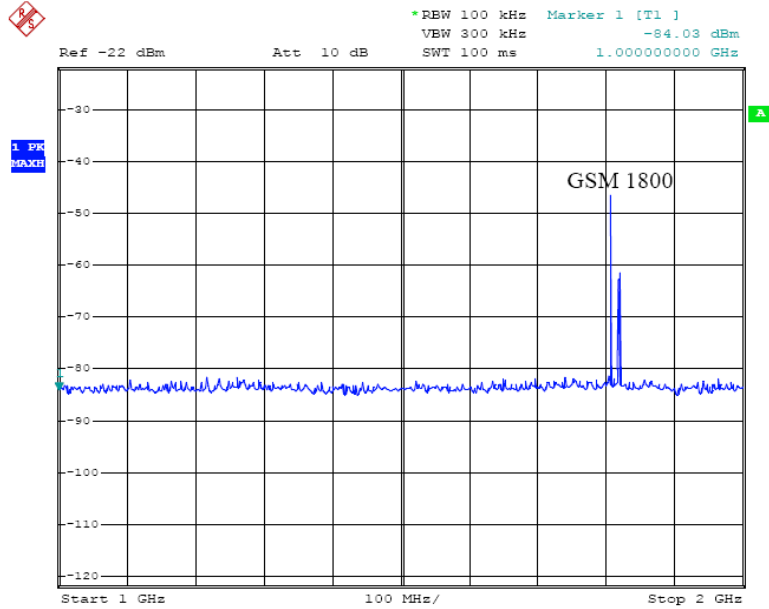
A topographic map of the Alçay region in Turkey. The map features a red polygonal boundary enclosing a central area. A blue location pin is placed at the center of the map, labeled 'Alçay'. Other labeled locations include Mursal, Hacımusalar, Tekkeköy, Yeşilbarak, Güncalı, and Sütçü. The map shows a mountainous terrain with various peaks and valleys. The bottom of the map includes a copyright notice: '© 2006 Google - Harita verileri © 2006 NASA/USGS'.

78



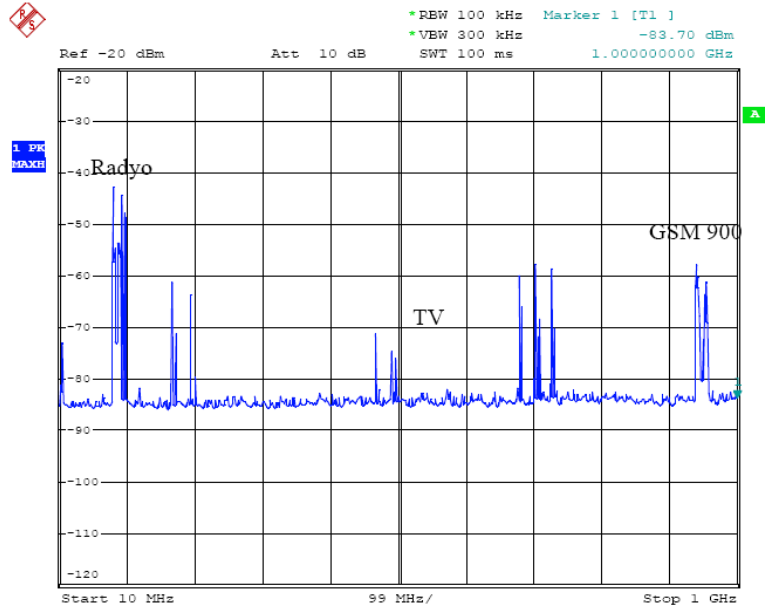
Date: 4.NOV.2008 16:32:04

Şekil 4.26: Antalya-Akçay, anten pozisyonu yatay 90° dikey 45° konumunda 10 MHz-1GHz aralığında alınmış radyo frekans ölçümü



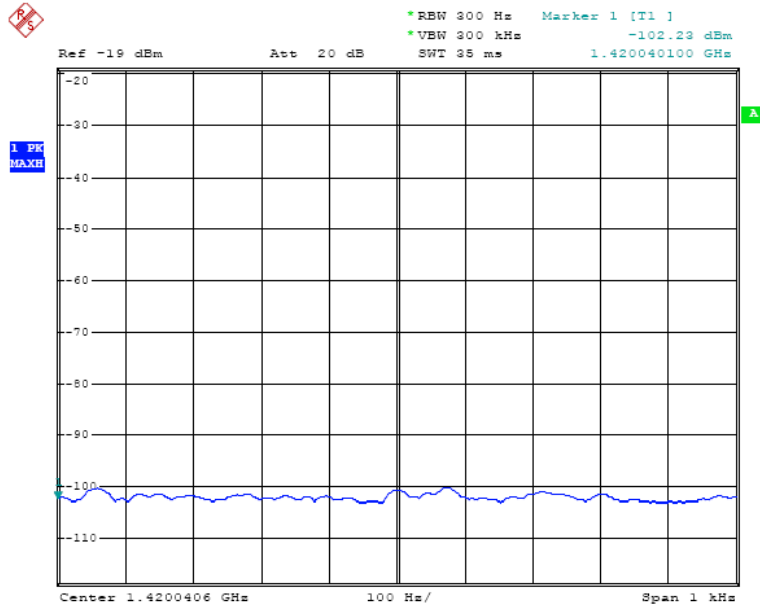
Date: 4.NOV.2008 16:22:19

Şekil 4.27: Antalya-Akçay, anten pozisyonu yatay 90° dikey 45° konumunda 1GHz-2GHz aralığında alınmış radyo frekans ölçümü



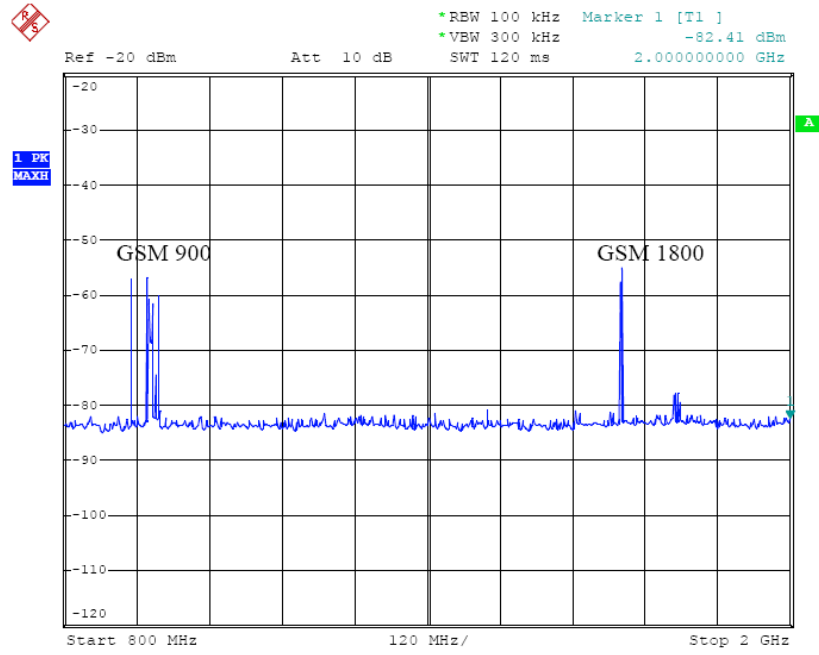
Date: 5.NOV.2008 16:09:49

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



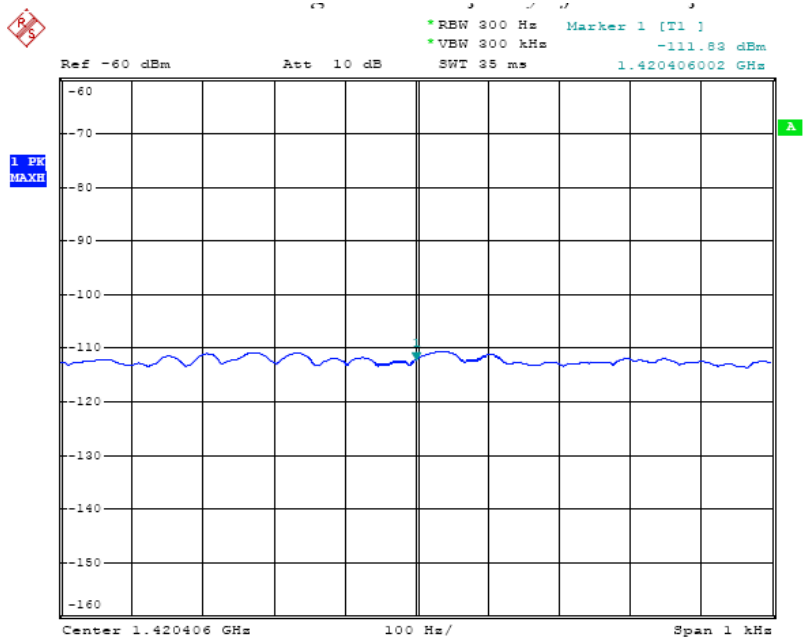
Date: 5.NOV.2008 16:33:56

Şekil 4.29: Antalya-Bozova, anten pozisyonu yatay 0° dikey 90° konumunda 1.42GHz 'de alınmış HI radyo frekans ölçümü



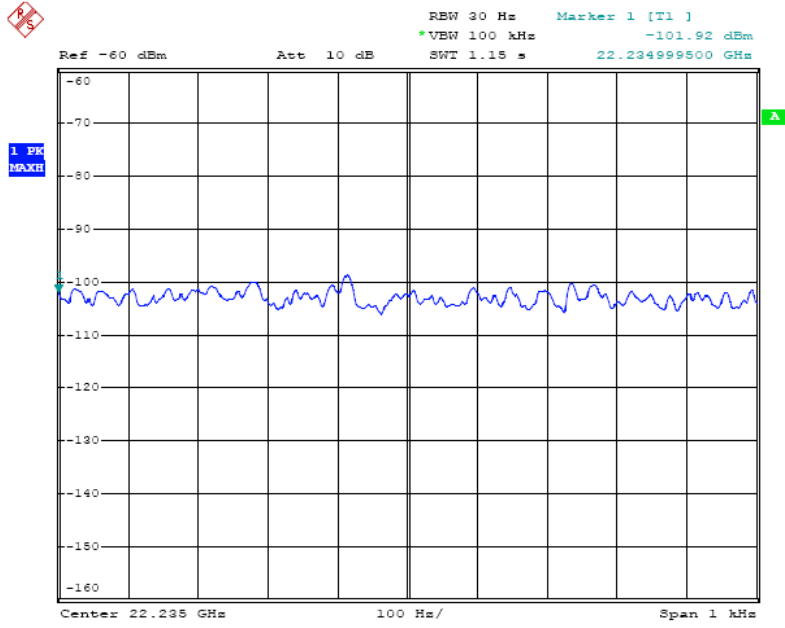
Date: 5.NOV.2008 11:42:25

Şekil 4.30: Antalya-Korkuteli-Ulucak civarı, anten pozisyonu yatay 180° dikey 0° konumunda 800 MHz-2GHz aralığında alınmış radyo frekans ölçümü



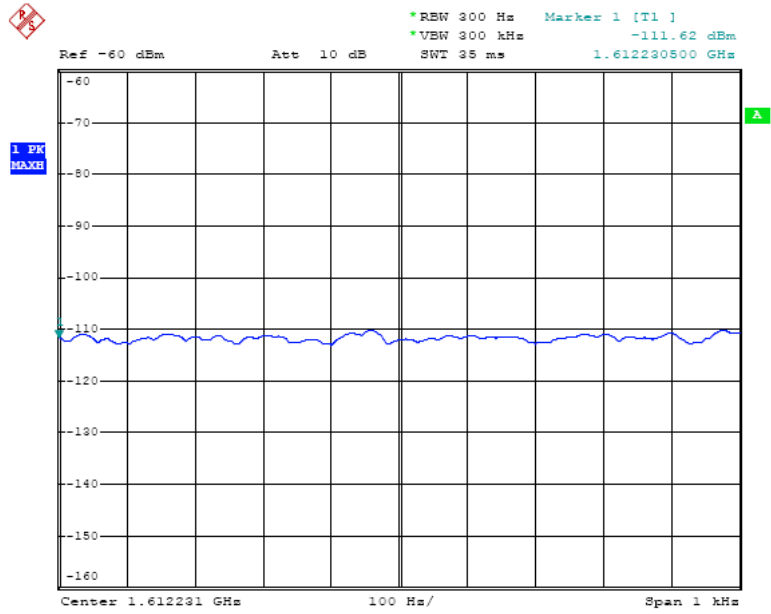
Date: 5.NOV.2008 12:55:01

Şekil 4.31: Antalya-Korkuteli-Ulucak civarı, anten pozisyonu yatay 0° dikey 90° konumunda 1.420 GHz’de alınmış HI radyo frekans ölçümü



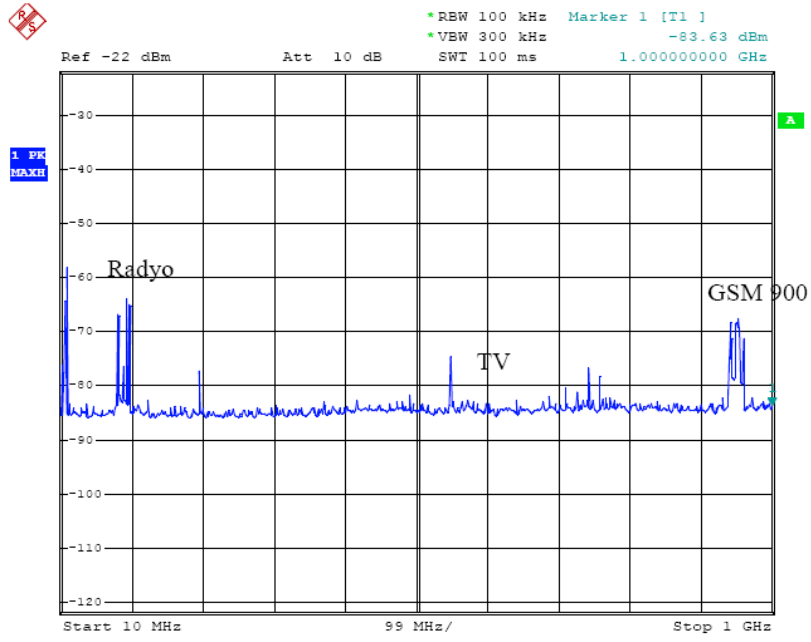
Date: 5.NOV.2008 13:06:13

Şekil 4.32: Antalya-Korkuteli-Ulucak civarı, anten pozisyonu yatay 0° dikey 90° konumunda 22.235 GHz’de alınmış H₂O radyo frekans ölçümü



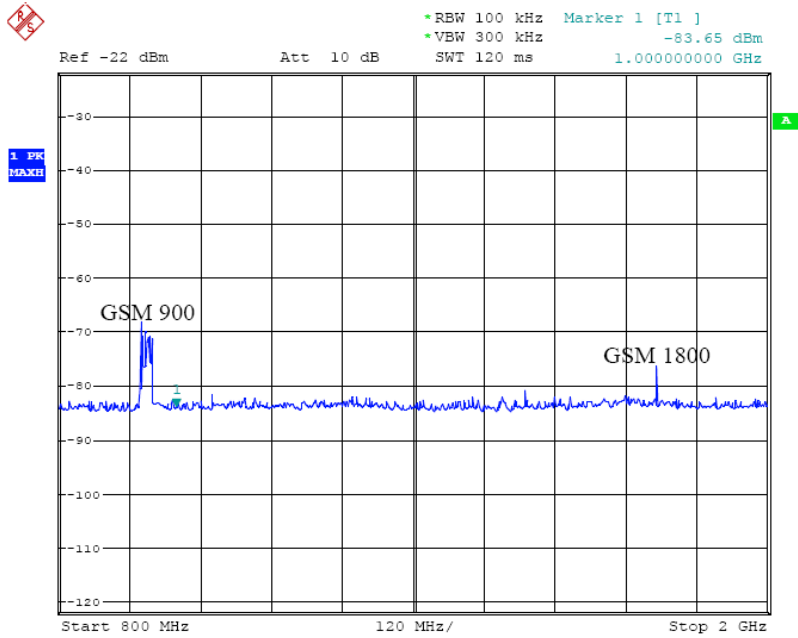
Date: 5.NOV.2008 12:57:07

Şekil 4.33: Antalya-Korkuteli-Uluca civarı, anten pozisyonu yatay 0° dikey 90° konumunda 1.612 GHz’de alınmış OH radyo frekans ölçümü



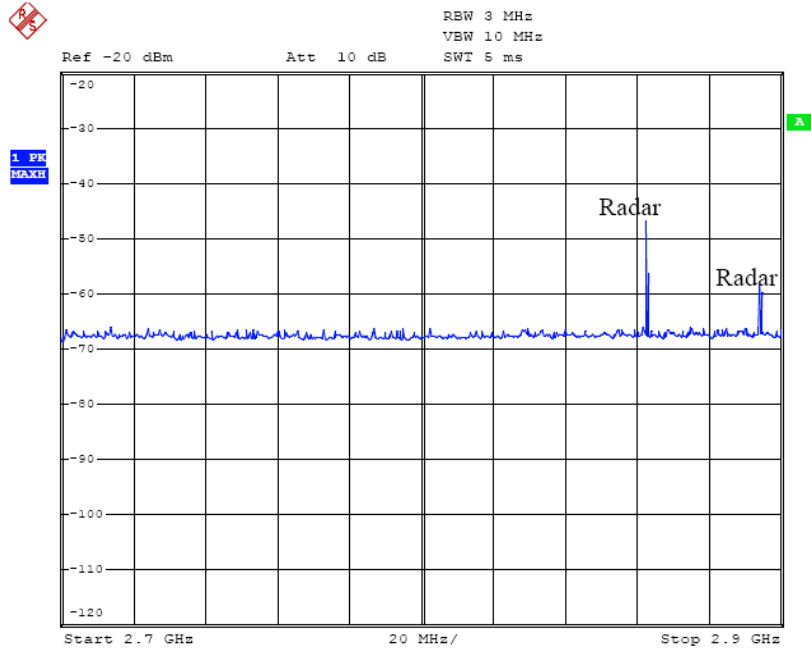
Date: 6.NOV.2008 11:23:33

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



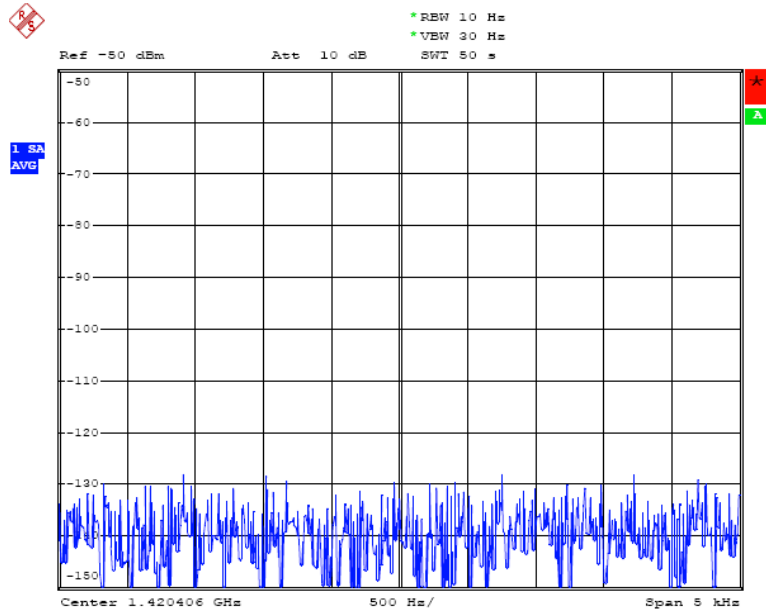
Date: 6.NOV.2008 11:24:46

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



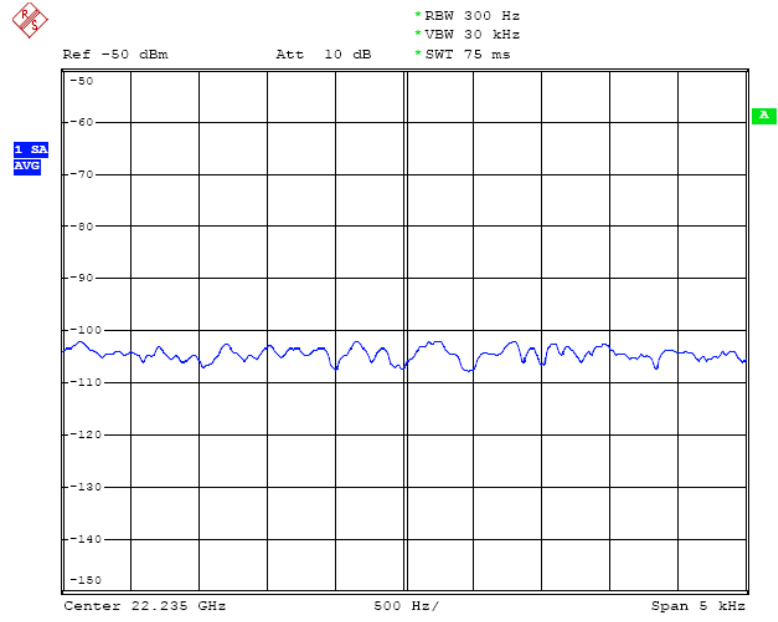
Date: 6.AUG.2008 10:41:37

Şekil 4.36: Karaman-Yazılı sonrası 5.km, anten pozisyonu yatay 0° dikey 0° konumunda 2.7 GHz-2.9 GHz aralığında alınmış radyo frekans ölçümü



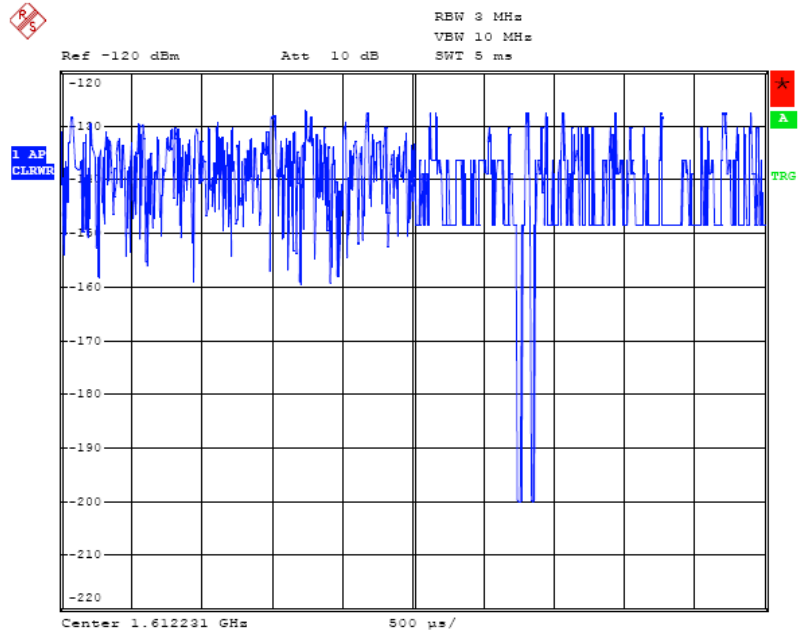
Date: 6.AUG.2008 17:22:07

Şekil 4.37: Karaman-Yazılı sonrası 5.km, anten pozisyonu yatay 0° dikey 90° konumunda 1.420 GHz'de alınmış HI radyo frekans ölçümü



Date: 6.AUG.2008 17:42:49

Şekil 4.38: Karaman-Yazılı sonrası 5.km, anten pozisyonu yatay 0 ° dikey 90 ° konumunda 22.235 GHz'de alınmış H₂O radyo frekans ölçümü



Date: 6.AUG.2008 17:30:21

Şekil 4.39: Karaman-Yazılı sonrası 5.km, anten pozisyonu yatay 0 ° dikey 90 ° 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, Saturation vapor pressure formulations, CIRES, University of Colorado, Boulder, <http://cires.colorado.edu/~voemel/vp.html>
7. Buck Arden L., New Equation for Computing Vapor Pressure and Enhancement 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-Dish Radio Astronomy: Techniques and Applications ASP Conference Series, Vol. 278, 2002
13. Simon J.E. et al., Atmospheric Conditions at a Site for Submillimeter 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 Establishment 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>