

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
YER VE DENİZ BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TÜRKİYE’ de TROPICAL RAINFALL MEASURING MISSION
(TRMM) UYDU YAĞIŞ ÜRÜNLERİNİN YER ÖLÇÜM
İSTASYONYOLARI VERİLERİ ile KARŞILAŞTIRILMASI**

TUBA NUR TONYALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
YER ve DENİZ BİLİMLERİ ANABİLİM DALI

GEBZE

2023

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
YER VE DENİZ BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TÜRKİYE’ de TROPICAL RAINFALL
MEASURING MISSION (TRMM) UYDU
YAĞIŞ ÜRÜNLERİNİN YER ÖLÇÜM
İSTASYONYOLARI VERİLERİ ile
KARŞILAŞTIRILMASI**

TUBA NUR TONYALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
YER ve DENİZ BİLİMLERİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
Doç. Dr. Hakkı BALTACI

GEBZE
2023

T.C.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
INSTITUTE of EARTH and MARINE SCIENCES

**COMPARISON of TROPICAL RAINFALL
MEASURING MISSION (TRMM) MULTI-
SATELLITE PRECIPITATION ANALYSIS
(TMPA) PRODUCTS with GAUGE-BASED
DATA over TURKEY**

TUBA NUR TONYALI
THESIS SUBMITTED for THE DEGREE of
MASTER of SCIENCE
DEPARTMENT of EARTH and MARINE SCIENCES

THESIS SUPERVISOR
Assoc. Prof. Dr. HAKKI BALTACI

GEBZE
2023



YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ../../2023 tarih ve 2023/03 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 22/03/2023 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Tuba Nur TONYALI' nın tez çalışması Yer Bilimleri Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Doç. Dr. Hakkı BALTACI

ÜYE

: Dr. Öğretim Üyesi Diğdem ACAREL

ÜYE

: Dr. Öğretim Üyesi Hilal ARSLAN

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Yağış, Dünya'nın iklim sistemini önemli ölçüde etkileyen küresel hidrolojik döngünün hayati bir bileşenidir. Bu nedenle yağışın doğru ölçümü ve analizi, yağışın iklim sistemindeki rolünü anlamak için en önemli etmenlerdendir. Bu nedenle, bu çalışmada Tropikal Yağış Ölçüm Misyonu (TRMM) Çoklu Uydu Yağış Analizi (TMPA) ürünlerinin Türkiye üzerinden yer ölçün istasyonları verileri ile değerlendirilmesi araştırılmaktadır. Karşılaştırma için, günlük TMPA yağış ürünleri ($0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ gridli), 2015-2019 dönemi için Türkiye'nin 1035 yer tabanlı istasyonu ile karşılaştırılmıştır. Yağış mekanizması üzerindeki topoğrafik ve bölgesel etkileri araştırmak amacıyla, meteoroloji istasyonlarının yüksekliklerine göre sınıflandırılmış yağış verileri, yedi coğrafi bölgede olmak üzere TMPA 3B42 V7 ürünleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre, TMPA ürünleri ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde tüm bölgeler için gözlenen yağış miktarını olduğundan fazla tahmin etmektedir. Kışın, TMPA Ege, Karadeniz ve İç Anadolu (Marmara, Akdeniz, Doğu ve Güneydoğu Anadolu) bölgelerinde gözlenen yağış miktarını olduğundan fazla (az) tahmin eder. Yaz aylarında, TMPA yağış toplamaları, İç Anadolu (CAR) hariç tüm bölgelerde gözlemlenen değerlerden daha az görünmektedir. Değerlendirme istatistiklerinde, TMPA ile yersel ölçüm istasyonları arasındaki en yüksek mevsimsel korelasyon (r) sırasıyla ilkbahar (0,95), sonbahar (0,94), yaz (0,93) ve kış (0,91) mevsimlerinde bulunmuştur. Marmara (MR), Ege (AR), Akdeniz (MeR) bölgelerinin kıyı bölgelerinde bu korelasyonların yüksek rakımlı istasyonlara göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Öte yandan, CAR ve BSR'nin yüksek seviye ve dağlık istasyonlarında (HLS ve MS) alçak seviye istasyonlarına (LLS) göre en yüksek TMPA yersel ölçüm istasyonları arasındaki korelasyonlar bulunmuştur. Günlük istatistiklerde, en yüksek korelasyon katsayıları (r) sonbaharda, AR (LLS: 0,53, MLS: 0,54) ve MeR (LLS:0,50) alçak seviye istasyonlarında bulunmuştur ve bunu yaz mevsiminde MS-EAR (0,46) ve MeR (0,43), kış mevsiminde ise MeR kıyı istasyonları (LLS: 0.43, MLS: 0.44) izlemiştir.

Anahtar Kelimeler: Yağış, Uydu, Tropikal Yağış Ölçüm Misyonu (TRMM), Çoklu Uydu Yağış Analizi Ürünü (TMPA), Karmaşık Topoğrafya

SUMMARY

Precipitation is a vital component of the global hydrological cycle, which significantly affects the Earth's climate system. Therefore, accurate measurement and analysis of precipitation is one of the most important factors for understanding the role of precipitation in the climate system. Therefore, in this study, the evaluation of the Tropical Precipitation Measurement Mission (TRMM) Multi-Satellite Precipitation Analysis (TMPA) products with the data of ground measurement stations over Turkey is investigated. For comparison, daily TMPA precipitation products ($0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ grid) are compared to Turkey's 1035 ground-based stations for the period 2015-2019. In order to investigate the topographic and regional effects on the precipitation mechanism, precipitation data classified according to the altitudes of meteorological stations, including seven geographical regions were compared with TMPA 3B42 V7 products. According to the results, TMPA products overestimate the precipitation observed for all regions in the spring and autumn seasons. In winter, TMPA overestimates precipitation in the Aegean, Black Sea, and Central Anatolia (Marmara, Mediterranean, Eastern, and Southeastern) regions. In summer, TMPA precipitation totals appear to be less than the values observed in all regions except Central Anatolia (CAR). In the evaluation statistics, the highest seasonal correlation (r) between TMPA and terrestrial measurement stations was found in spring (0.95), autumn (0.94), summer (0.93) and winter (0.91) seasons, respectively. It was observed that these correlations were higher in the coastal regions of the Marmara (MR), Aegean (AR), Mediterranean (MeR) regions compared to the high altitude stations. On the other hand, correlations between the highest TMPA terrestrial measurement stations were found at the high-level and mountain stations (HLS and MS) of CAR and BSR compared to the low-level stations (LLS). In daily statistics, the highest correlation coefficients (r) were found in autumn, AR (LLS: 0.53, MLS: 0.54) and MeR (LLS: 0.50) at low altitude stations, followed by MS-EAR (0.46) in summer) and MeR (0.43), and MeR coastal stations (LLS: 0.43, MLS: 0.44) in winter.

Key Words: Precipitation, Satellite, Tropical Precipitation Measurement Mission (TRMM), Multi-Satellite Precipitation Analysis (TMPA) products, Varying Topography

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sürecinde danışmanlığımı üstlenen, değerli fikir ve önerileriyle çalışmalarına yön veren hocam Sayın Doç. Dr. Hakkı BALTACI' ya saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması süresince bilgi, tecrübe ve sonsuz desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. Fevzi KARSLI, Arş. Gör. Samed ÖZDEMİR ve Harita Yük.Müh. Buray KARSLI' ya teşekkür ederim.

Desteklerini hep yanımda hissettiğim, beni sürekli motive eden başta Dr. Evren ARSLAN olmak üzere değerli çalışma arkadaşlarıma içtenlikle teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde en büyük destekçilerim olan, büyük fedakârlıklarıyla beni hep daha da güçlendiren, her zaman bana güvenen değerli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Hidrolojik Döngü ve Yağışın Önemi	1
1.1.1. Buharlaşma	2
1.1.2. Yoğuşma	2
1.1.3. Yağış	2
1.1.4. Akışın Bölünmesi-İntersepsiyon	3
1.1.5. Sızma	4
1.1.6. Süzülme	4
1.1.7. Terleme	5
1.1.8. Yüzey Akışı	6
1.1.9. Depolama	6
1.2. Yağış Ölçüm Yöntemleri	7
1.3. Literatür Taraması	10
1.3.1. TRMM	10
1.3.2. CMORPH	11
1.3.3. PERSIANN	12
1.3.4. GPM-IMERG	12
1.4. Tezin Amacı ve Motivasyon	16
2. METODOLOJİ	18
2.1. Çalışma Bölgesi	18
2.2. Veri Setleri	19

2.2.1. Referans Veri Yersel Ölçüm İstasyonları	21
2.1.1.1. Yersel Ölçüm Ağının Azlığı	24
2.2.2. Uydu Yağış Ürünü: TRMM	24
2.2.2.1. TRMM Çalışma Mekanizması	26
2.2.2.2. Bulut İndeksleme	28
2.2.2.3. Bispektral Yöntemler	29
2.2.2.4. Yaşam Öyküsü Yöntemleri	29
2.3. Verilerin Ön İşlemleri	31
2.3.1. Referans Datanın Kalite Kontrolü ve Çalışma Periyodunun Belirlenmesi	31
2.4. İstasyonların Yüksekliklerine ve Yağış Şiddetlerine Göre Sınıflandırılması	32
2.4.1. Noktadan Gride Değerlendirme Yöntemi	34
2.5. Yağmur Verilerinin İstatiksel Değerlendirilmesi	36
3. BULGULAR	38
3.1. Mevsimsel Gözlenen-Hesaplanan Yağış İlişkisi	38
3.2. İstasyon Yüksekliklerine Göre Mevsimsel Gözlenen-Hesaplanan Yağış İlişkisi	43
3.3. Yağış Şiddetlerinin Bölgelere Göre Dağılımı	47
3.4. Yüksekliklerine Göre Sınıflandırılmış İstasyonların Bölgesel POD-FAR Grafikleri	49
4. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME	52
KAYNAKLAR	54
ÖZGEÇMİŞ	61
EKLER	62

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler ve Kısaltmalar

Açıklamalar

TRMM	Tropikal Yağış Ölçüm Misyonu
TPMA	Çoklu Uydu Yağış Analizi Ürünü
OMGİ	Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu
SBP	Uydu Bazlı Yağış Ürünü
POD	Algılama Olasılığı
FAR	Yanlış Alarm Oranı
RT	Gerçek Zamanlı
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
WMO	Dünya Meteoroloji Örgütü
TMI	Mikrodalga Görüntüleyici
TCI	Birleştirilmiş Araç
IR	Yakın Kızılötesi
VIS	Görünür Kızılötesi Bant
MW	Mikrodalga
NOAA	Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi
DMSP	ABD Savunma Meteorolojik Uydu Programı
ETCCDI	İklim Değişikliği Tespiti ve Endeksleri Uzman Ekibi
CC	Doğrusal Korelasyon Katsayısı
SD	Standart Sapma
RMSE	Ortalama Karesel Hata
BIAS	Sapma
IDW	Inverse Distance Weighted

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>		<u>Sayfa</u>
1.1:	Dört projeye (OMGİ 206, 151, 246 ve 350) bağlı olarak toplam 953 adet otomatik hava gözlem sisteminin (OMGİ) Türkiye geneline dağılımı	8
1.2:	TRMM uydusu	10
1.3:	TRMM yağış ürününün 0.25° x 0.25° uzamsal çözünürlüklü 50° Kuzey - 50° Güney enlemleri arası kapsama alanı	11
1.4:	CMORPH yağış ürününün 0.25° x 0.25° uzamsal çözünürlüklü 60° Kuzey - 60° Güney enlemleri arası kapsama alanı	10
1.5:	PERSIANN yağış ürününün 0.25° x 0.25° uzamsal çözünürlüklü 60° Kuzey - 60° Güney enlemleri arası kapsama alanı	11
1.6:	GPM – IMERG yağış ürününün 0.1° x 0.1° uzamsal çözünürlüklü 80° Kuzey - 80° Güney enlemleri arası kapsama alanı	11
2.1:	Türkiye topoğrafik harita	16
2.2:	Yersel ölçüm istasyonu örneği	17
2.3:	Antalya radarı 15 Şubat 2023 (09:00 UTC) tarihine ait PPI (Plan Position Indicator) refleksivite değerleri	18
2.4:	İstasyon yüksekliklerine göre sınıflandırılmış yağış ölçüm noktaları	18
2.5:	TRMM grid yapısı ile birlikte yedi coğrafi bölgenin topografya ile birlikte gösterimi	22
2.6:	Kara, Deniz, Hidrometeorlarla MW Etkileşimi	27
2.7:	Yüksekliklere göre istasyon dağılımı. (a): Düşük seviye yüksekliğindeki istasyonlar, (b): Orta seviye yüksekliğindeki istasyonlar, (c): Yüksek seviye yüksekliğindeki istasyonlar, (d): Dağlık istasyonlar	32
3.1:	2015-2019 dönemi için mevsimsel toplam yağış miktarlarının meteoroloji istasyonu yağış kayıtlarından (sol panel) ve TRMM TMPA yağış ürünlerinden (orta panel) elde edilmesi ile birlikte istasyon bazlı ve uydu bazlı değerler (sağ panel) arasındaki mevsimsel yanlılık sonuçları (mm/mevsim)	37
3.2:	Bölgelere göre 2015 – 2019 yılları mevsimsel TRMM ve yersel ölçüm istasyonları yağış miktarlarının karşılaştırması	42
3.3:	Mevsimlere göre bölgelerin korelasyon sonuçları	40

3.4:	Yüksekliklere göre mevsimsel yağış verilerinin bölgesel gösterimi	41
3.5:	Bölgelerin mevsimsel yağış korelasyon katsayısı ve bias değerleri	43
3.6:	Bölgelerin yüksekliklere göre yağış frekansları	45
3.7:	Yüksekliklerine göre sınıflandırılmış istasyonların bölgesel POD-FAR grafikleri	47

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>		<u>Sayfa</u>
2.1:	Bölgesel olarak meteoroloji istasyonu dağılımı	23
2.2:	TRMM grid sayısının bölgesel dağılımları	26
2.3:	Yükseklik ve bölgelere göre sınıflandırılan meteoroloji istasyonları	33
2.4:	Yağış şiddetlerine göre sınıflandırma	33
2.5:	İstasyon ve uydu bazlı yağış ölçümlerinin karşılaştırılması	37

1. GİRİŞ

1.1. Hidrolojik Döngü ve Yağışın Önemi

Dünya'daki su kütlesinin büyük çoğunluğu okyanuslarda bulunmaktadır. Su döngüsünü yönlendiren kaynağı güneş olan radyasyon, okyanuslardaki suyu ısıtır. Bir kısmı su buharı olarak atmosfere karışırken, buz ve kar şeklindeki yağış tipleri doğrudan su buharına dönüşebilmektedir. Yükselen hava akımları, bitkilerden yayılan ve topraktan buharlaşan su (evapotranspirasyon) ile birlikte su buharı atmosfere transfer edilir. Su buharı atmosferde, uygun atmosferik koşullar altında yukarı seviyelerde yoğunlaşmaya başlar ve bulut oluşumu meydana gelir. Yağışın meydana gelmesi için, yeterli atmosferik su buharı ve buharın yoğunlaşarak çökelebileceği bir yüksekliğe taşımaya yetecek kadar yükselen hava hareketleri olmalıdır. Yağış ve buharlaşma koşulları, enlem ve bunların küresel rüzgâr kuşaklarıyla ilişkisine göre değişmektedir.

Küresel atmosferik sirkülasyonlar, bulutları dünyanın etrafında hareket ettirir, bulut parçacıkları çarpıştırır, büyür ve yağış olarak gökyüzünden düşer. Yağışların bir kısmı kar olarak düşer ve binlerce yıl boyunca donmuş suyu depolayabilen buzullar şeklinde birikebilir. Daha sıcak iklimlerdeki kar kütleleri, bahar geldiğinde genellikle çözülür ve erir ve eriyen su, kar erimesi olarak yüzey akışına geçmekte ve yeraltı suyu olarak depolanmaktadır.

Yağışların çoğu okyanuslara veya karaya düşer, burada yerçekimi nedeniyle yağışlar yüzey akışı olarak yerin üzerine akar. Akışın bir kısmı, akarsularla okyanuslara ve nehirlerle girer. Akış ve yeraltı suyu sızıntıları göllerde tatlı su olarak birikir ve depolanır. Yine de tüm akıntılar nehirlerle akmaz. Çoğu, sızıntı yoluyla toprağa girer. Suyun bir kısmı ise yerin derinliklerine sızar ve uzun süreler boyunca büyük miktarlarda tatlı su depolayan akiferleri (doymuş yeraltı kayası) yeniler. Bazı sızıntılar kara yüzeyine yakın kalır ve yeraltı suyu deşarjı olarak yüzey suyu kütlelerine (ve okyanusa) geri sızabilir ve bazı yeraltı suları kara yüzeyinde açıklıklar bulur ve tatlı su kaynakları olarak ortaya çıkar.

1.1.1. Buharlaşma

Buharlaşma, suyun fiziksel hali sıvı halden gaz haline geçtiğinde meydana gelmektedir. Hal değişimi sırasında önemli miktarda ısı, her bir gram su için yaklaşık 600 kalori enerji alışverişi yapılmaktadır. Tipik olarak, güneş radyasyonu ve hava sıcaklığı, buhar basıncı, rüzgâr ve atmosferik basınç gibi diğer faktörler, herhangi bir coğrafi alanda meydana gelen doğal buharlaşma miktarını etkilemektedir. Buharlaşma, yağmur damlalarında denizler ve göller gibi serbest su yüzeylerinde meydana gelebilir. Bitki örtüsü, toprak, kayalar ve kar üzerine çöken sulardan bile oluşabilmektedir. İnsan faaliyetlerinden kaynaklanan buharlaşma da vardır. Isınan binalar, yüzeylerinde biriken suyun buharlaşmasına sebep olabilmektedir. Buharlaşan nem, okyanustan, kara yüzeylerinden ve su kütlelerinden su buharı olarak atmosfere kaldırılmaktadır. Atmosferde her zaman bir miktar buhar bulunmaktadır [1].

1.1.2. Yoğuşma

Yoğuşma, su buharının fiziksel durumunu bir buhardan, en yaygın olarak bir sıvıya değiştirdiği süreçtir. Su buharı; çığ, kırağı, sis veya bulutlar oluşturmak için havada veya yer yüzeyindeki küçük parçacıklar üzerinde yoğuşmaktadır. Bulutları oluşturan en aktif parçacıklar deniz tuzları, yıldırımın neden olduğu atmosferik iyonlar, sülfürlü ve nitröz asitler içeren yanma ürünleridir. Yoğuşma, havanın soğumasıyla veya havadaki buhar miktarının doyma noktasına yükseltilmesiyle sağlanmaktadır. Su buharı tekrar sıvı hale geçtiğinde, onu buhar haline getirmek için gereken aynı büyük miktarda ısı (gram başına 600 kalori enerji) çevreye salınmaktadır [2].

1.1.3. Yağış

Yağış, her türlü su parçacığının atmosferden düşerek yere ulaşmasıyla meydana gelen bir süreçtir. Bulutların yağış salmasına neden olan iki alt süreç vardır; birleşme süreci ve buz kristali süreci. Su damlaları kritik bir boyuta ulaştığında, damla yerçekimine ve sürtünme direncine maruz kalmaktadır. Düşen bir damla, arkasında daha küçük damlaların daha hızlı düşmesine neden olmaktadır. Meydana gelebilecek

diğer alt süreç ise buz kristali oluşum sürecidir. Buz kristallerinin, soğuk karakteristikteki bulutlarda veya donma sıcaklıklarının meydana geldiği atmosferdeki yüksek seviye bulut oluşumlarında meydana geldiği bilinmektedir. Yakındaki su damlacıkları kristallere yaklaştığında, bazı damlacıklar buharlaşır ve kristaller üzerinde yoğunlaşmaktadır. Kristaller kritik bir boyuta ulaştıktan sonra kar veya buz toprakları olarak düşmektedir. Bazen kristaller daha düşük yükseklikteki havadan düşerken eriyerek yağmur damlalarına dönüşebilmektedir [3].

Yukarı seviyelerden hareket eden yağış tipi, bir su kütlesine veya karaya düşebilir. Daha sonra çeşitli şekillerde dağıtılmaktadır. Su, gezegen yüzeyinin yakınındaki nesnelere yapışabilir, kara üzerinden nehir kanallarına taşınabilir, toprağa nüfuz edebilir ya da bitkiler tarafından yakalanabilmektedir. Yağış az ve seyrek olduğunda, yüksek oranda yağış buharlaşma yoluyla atmosfere geri salınmaktadır [4].

Yağışın yüzey akışlarında görünen kısmına ikinci akış denir. Akış, yüzey akışı, yer altı akışı ve yer altı suyu akışı gibi kaynaklardan gelen bileşen katkılarından oluşabilmektedir. Yüzey akışı, drenaj havzası veya su havzası adı verilen bir toplama alanı bırakmak için zemin yüzeyi üzerinde ve yüzey kanalları boyunca hareket etmektedir. Yüzey akışının kara yüzeyi üzerinden akarsu kanallarına doğru akan kısmına karasal akış denir. Akış kanallarında sınırlanan toplam akış, akış akışı olarak adlandırılır.

1.1.4. Akışın Bölünmesi-İntersepsiyon

İntersepsiyon, akarsulara yol açan ulaşım olayları zincirinde suyun hareketini kesintiye uğratma işlemidir. Kesinti, su birikintilerinde, dere ve oluklar gibi arazi oluşumlarında, bitki örtüsü ve çöküntü depolaması yoluyla gerçekleşebilmektedir.

Yağmur ilk başladığında yapraklara ve diğer organik maddelere çarpan su ince bir tabaka halinde yüzeylere yayılarak nokta ve kenarlarda toplanır. Malzemenin yüzeyindeki maksimum yüzey depolama kapasitesi aşıldığında, malzeme kenarlarında büyüyen damlacıklarda ek su depolamaktadır. Sonunda damlaların ağırlığı yüzey gerilimini aşar ve su yere düşer. Rüzgar ve yağmur damlalarının etkisi de suyu organik maddeden serbest bırakabilmektedir. Organik yüzeylerdeki su tabakası ve kenarlardaki su damlaları da serbestçe buharlaşmaya maruz kalmaktadır.

Ek olarak, donma ve donma altı koşullar sırasında zemin yüzeyinde suyun kesilmesi önemli olabilmektedir. Bitki örtüsü üzerine düşen kar ve buzun kesilmesi de meydana gelmektedir. En yüksek düzeyde engelleme, henüz yapraklarını kaybetmemiş kozalaklı ormanlara ve sert ağaç ormanlarına kar yağdığında gerçekleşmektedir [5].

1.1.5. Sızma

Sızma, atmosferin toprakla arayüz oluşturduğu sınır alanından suyun hareketini içeren fiziksel süreçtir. Yüzey olgusu, toprak yüzeyi koşulları tarafından yönetilmektedir. Su transferi, toprağın gözenekliliği ve toprak profilinin geçirgenliği ile ilgilidir. Tipik olarak sızma hızı, yağmur damlalarının etkisiyle toprak yüzeyindeki su birikintisine, toprağın dokusuna ve yapısına, başlangıçtaki toprak nem içeriğine, su toprak dolgusunun derinliklerine doğru hareket ettikçe azalan su konsantrasyonuna bağlıdır. Toprak matrislerindeki gözenekler olarak, toprak bileşimindeki değişiklikler ve topraktaki çatlakları kapatan ıslanan toprakların şişmesi ele alınabilir. Toprağa sızan ve depolanan su, daha sonra buharlaşan veya yer altı akışı haline gelen su haline gelebilmektedir [6].

1.1.6. Süzülme

Süzülme, suyun yerçekimi ve kılcal kuvvetler tarafından toprakta ve katmanlarında hareketidir. Yeraltı suyunun ana hareket ettirici kuvveti yerçekimidir. Havanın bulunduğu havalandırma bölgesinde bulunan suya vadoz su denir. Doygunluk bölgesinde bulunan sulara yeraltı suyu denir. Tüm pratik amaçlar için, tüm yeraltı suları yüzey suyu olarak ortaya çıkar. Yer altına girdikten sonra, su yerçekimi ile hareket ettirilmektedir. Vadoz ve doyumluk bölgelerini ayıran sınıra su tablası denir. Genellikle su hareketinin yönü aşağıdan değiştirilir ve jeolojik sınır koşullarına bağlı olarak harekete yatay bir bileşen eklenmektedir.

Yer kabuğundaki jeolojik oluşumlar, su depolamak için doğal yeraltı rezervuarları görevi görmektedir. Diğerleri ayrıca suyun hareketi için kanal görevi görebilir. Esasen, tüm yeraltı suları hareket halindedir. Ancak bir kısmı son derece yavaş hareket etmektedir. Ekonomik kalkınma için yeterli miktarda suyu bir yerden

başka bir yere ileten jeolojik oluşuma akifer denir. Jeolojik oluşumlardaki boşluklar veya gözenekler nedeniyle suyun hareketi mümkündür. Bazı oluşumlar suyu zemin yüzeyine geri iletmektedir. Bir kaynak, su tablasının zemin yüzeyine ulaştığı bir yerdir. Akarsu kanalları, zemin yüzeyine yaklaşan serbest bir akifer ile temas halinde olabilmektedir. Su, bağıl su seviyesine bağlı olarak yerden akıntıya doğru hareket edebilir veya tam tersi olabilmektedir. Bir akarsuyun içine boşaltılan yeraltı suyu, özellikle kuraklık dönemlerinde olmak üzere kurak dönemlerde akarsuyun temel akışını oluşturmaktadır. Gelen akım akifere su sağlarken atık akım akiferden su almaktadır [7].

1.1.7. Terleme

Terleme, çoğunlukla gün içinde meydana gelen biyolojik süreçtir. Bitkilerin içindeki su, bitkiden atmosfere su buharı olarak çok sayıda bireysel çıkış açıklığından aktarılmaktadır. Bitkiler, besin maddelerini bitkilerin üst kısımlarına taşımak ve güneşe maruz kalan yaprakları soğutmak için terlerler. Hızlı terlemeye maruz kalan yapraklar, çevredeki havadan önemli ölçüde daha soğuk olabilmektedir. Terleme, toprakta bulunan bitki türlerinden ve bitkilerin maruz kaldığı ışık miktarından büyük ölçüde etkilenmektedir. Su, bitkide bir su açığı gelişene ve su salan hücreler (stomalar) kapanmaya başlayana kadar bitkiler tarafından serbestçe terletilebilmektedirler. Terleme daha sonra mutlaka daha yavaş bir hızda devam etmektedir. Bitkilerin emdiği suyun sadece küçük bir kısmı bitkilerde tutulmaktadır.

Bitki örtüsü genellikle topraktan buharlaşmayı geciktirmektedir. Toprağı gölgeleyen bitki örtüsü, rüzgar hızını azaltmaktadır. Ayrıca atmosfere su buharı salmak, topraktan veya kar veya buz örtüsünden doğrudan buharlaşma miktarını azaltır. Suyun bitki kökleriyle emilmesi ve bitki yüzeylerinde meydana gelen kesişme, bitki örtüsünün topraktan buharlaşmayı geciktirmedeki genel etkilerini dengelemektedir. Orman bitki örtüsü, ağaçların altındaki topraktan daha fazla neme sahip olma eğilimindedir [8].

1.1.8. Yüzey Akışı

Yüzey akışları, bir drenaj havzasından veya havzadan gelen akıştır. Genellikle bir akarsu kanalı üzerinde veya içinde toplumun sahip olabileceği yapay yönlendirmeler, depolar veya diğer çalışmalardan etkilenmeyen akıştan oluşmaktadır. Akış kısmen doğrudan akarsuyun üzerine düşen yağıştan, kara yüzeyinden ve kanallardan akan yüzey akışından, yüzey topraklarına sızan ve yanal olarak akıntıya doğru hareket eden yer altı akışından ve topraktan derin süzülmeden kaynaklanan yeraltı sularından oluşmaktadır. Yeraltı akışının bir kısmı hızlı bir şekilde akıntıya girerken, kalan kısmın akıntıdaki suya katılması daha uzun bir süre alabilmektedir. Bileşen akışlarının her biri akışa girdiğinde, toplam akışı oluşturmaktadırlar. Akış kanallarındaki toplam akış, akış akışı olarak adlandırılır ve genellikle doğrudan akış veya temel akış olarak kabul edilmektedirler [9].

1.1.9. Depolama

Su döngüsünde meydana gelen üç temel su depolama konumu vardır. Su atmosferde, yer yüzeyinde ve toprakta depolanmaktadır. Atmosferde depolanan su, dünyanın bir kısmından başka bir yerine nispeten hızlı bir şekilde taşınabilmektedir. Kara yüzeyinde ve yer altında meydana gelen depolama türü, büyük ölçüde, depolama yerlerinde bulunan toprak türleri ve kaya türleri ile ilgili jeolojik özelliklere bağlıdır. Depolama, okyanuslarda, göllerde, rezervuarlarda ve buzullarda yüzey depolaması olarak gerçekleşmektedir. Yeraltı depolaması toprakta, akiferlerde ve kaya oluşumlarının çatlaklarında meydana gelmektedir [10].

Su, Dünya'daki bilinen tüm yaşam biçimlerinin yanı sıra tarım, sanayi, enerji üretimi, ulaşım ve atık yönetimi gibi birçok faaliyet için temel faktördür. Bu nedenle su döngüsünün ölçülebilirliği, toplumların sürdürülebilir olması bakımından kritik öneme sahiptir. Yeryüzündeki hidrolojik döngü; kara, deniz ve hava arasında sürekli devinim halindedir.

Hidrolojik döngüdeki değişikliklerin çevre ve toplum üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Giderek artan ve küresel sorun haline gelen iklim değişikliklerinin hidrolojik döngüyü ciddi şekilde etkilemesi söz konusudur. Örneğin kuraklığa neden olan su kıtlığı ve sele neden olan su fazlalığı gibi iklim değişikliğinin hidrolojik

döngüde yansımaları gözlemlenebilir. Seller, her yıl önemli ölçüde can ve mal kaybına neden olan en yıkıcı ve sık görülen doğal afetlerden biridir. Bu can ve mal kaybını en aza indirmenin en etkili yollarından biri de erken uyarı sistemleridir. Erken uyarı sistemlerini en etkin hale getirmenin yolu hidrolojik döngünün nicel olarak takibinden geçer. Değişen iklim koşulları altında hidrolojik döngüyü nicel olarak anlamak ve yönetmek, artan su talebini karşılayabilmek doğal afetlerin önlenmesini sağlamak bakımından oldukça önemlidir.

Küresel hidrolojik döngüde, Dünya'nın iklim sistemini büyük ölçüde etkileyen en önemli bileşen yağıştır. Bu nedenle yağışın doğru ölçümü ve analizi, yağışın iklim sistemindeki rolünü anlamak için hayati bir unsurdur. Yağış ölçümlerinin doğruluğu, değerlendirilmesi ve uzamsal-zamansal dağılımı; tarımsal su kullanımı, su kaynakları yönetimi, afet önleme, hava durumu tahmini gibi uygulamalar için son derece önemlidir. 21. yüzyılda yağış ölçümlerinin uzamsal-zamansal çözünürlüğü artmasına rağmen, karmaşık topografya, dağlık, çöl ve okyanus alanları gibi bazı coğrafi zorluklar nedeniyle ölçüm noktaları arasında hala önemli mesafeler bulunmaktadır [11].

1.2. Yağış Ölçüm Yöntemleri

Yağış günümüzde dört ana yöntem kullanılarak ölçülmektedir. Yersel ölçüm istasyonları, yersel uzaktan algılama radarları, uzaktan algılama uyduları ve atmosferik geriye dönük analiz modelleridir [12], [13]. Yersel ölçüm yöntemi olan istasyon bazlı yağış ağırları, yağış verilerinin en açık ve en doğru kaynağı olarak kabul edilir [14].

Türkiye'de meteorolojik ölçümler 1920'li yılların sonlarından 2000'li yılların başlangıcına kadar manuel olarak kayıt altına alınmaktaydı. Büyük projeler ile sağlanan yardımlar sayesinde 2003 yılından sonra tarım yapılmayan arazilerde ülkemizin batısından başlanarak halihazırda ki meteoroloji istasyonları otomatik olanlarla (Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu OMGİ) değiştirilmiştir. Ülke genelinde OMGİ'lerin oluşum ve yayılım süreci 4 ana başlık altında toplanabilir Akkoyunlu vd. [2019].

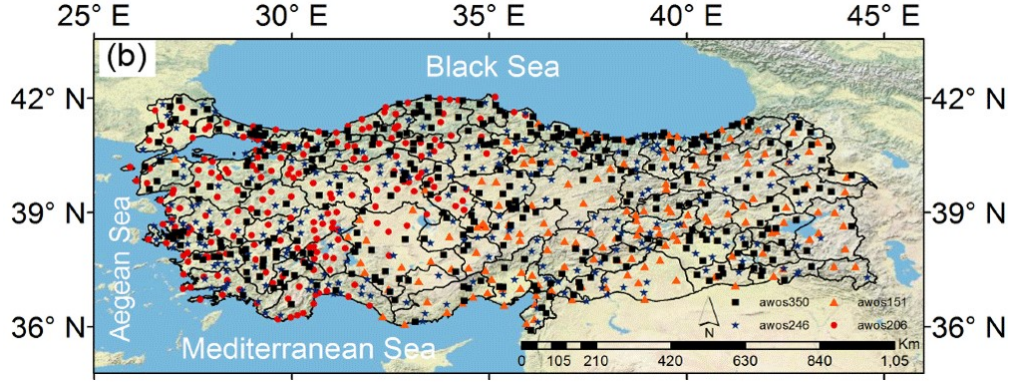
OMGİ 206: 21–25 Mayıs 1998 tarihlerinde meydana gelen heyelanı da tetikleyen aşırı yağışlar, Türkiye'nin Batı Karadeniz Bölgesinde çok sayıda

beklenmedik sele sebep olmuştur. Uluslararası Bayındırlık ve Kalkınma Bankası'nın (Dünya Bankası) 369 milyon ABD doları tutarındaki finansmanı ile meydana gelen sel afetinden dolayı meydana gelen zararların ortadan kaldırılması amacıyla Türkiye Acil Taşkın ve Deprem Kurtarma projesi hayata geçirilmiştir. Türkiye'nin batı bölgelerindeki acil durum erken uyarı sistemleri, bu projenin bir parçası olarak, 2003 ve 2004 yıllarında toplam 206 OMGİ istasyonu kurulumu başlatılmış ve faaliyete geçirilmiştir (Şekil 1'de kırmızı noktalar). Bu proje ile 120 adet klasik meteoroloji istasyonu otomatize bir hale getirilip yeni istasyonlarla değiştirilmiş, yeni sahalara 86 adet OMGİ istasyonu daha kurulmuştur.

OMGİ 151: 206 OMGİ istasyonunun kurulumundan sonrasında, 2009 yılında Türkiye'nin orta ve doğu bölgelerinde 151 OMGİ istasyon daha kurulmuştur (Şekil 1'deki kahverengi üçgenler). 151 adet manuel meteoroloji istasyonundan 120'si yeni teknolojiye dönüştürülmüş, kalan 31'i ise ülkenin tarım yapılmayan bölgelerine yerleştirilmiştir.

OMGİ 246: Meteoroloji istasyonlarının mekânsal yoğunluğunu artırmak için ilerleyen yıllarda 246 yeni OMGİ istasyonu kullanılmaya başlanılmıştır. 246 istasyon, daha önce aktif meteoroloji istasyonu olmayan yeni bölgeleri kapsamayı amaçlamıştır (Şekil 1'de mavi yıldızlar).

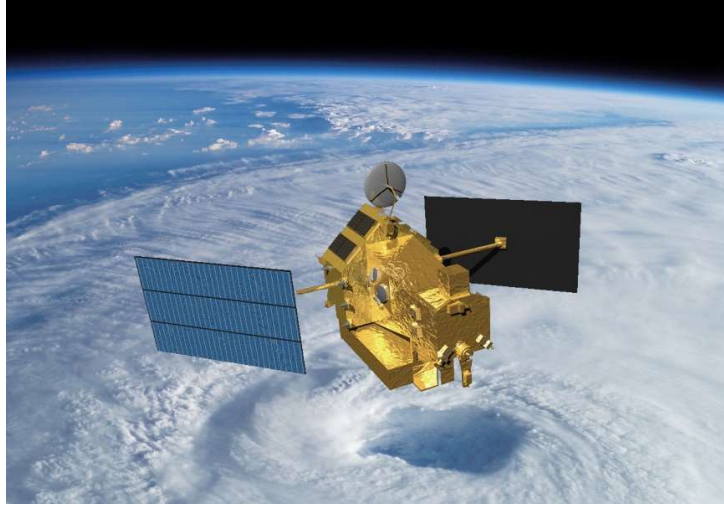
OMGİ 350: Ülkemizin topoğrafik olarak engebeli bir yapıya sahip olmasından dolayı, 350 adet yeni otomatik meteoroloji istasyonu çoğunlukla daha yüksek rakımlı noktalara yerleştirilmiş ve 2016'dan itibaren veri üretmeye başlamıştır (Şekil 1.1'de siyah kareler).



Şekil 1.1: Dört projeye (OMGİ 206, 151, 246 ve 350) bağlı olarak toplam 953 adet otomatik hava gözlem sisteminin (OMGİ) Türkiye geneline dağılımı Akkoyunlu vd. [2019].

Ancak kurulum ve bakım maliyetlerinin yanı sıra en büyük dezavantaj, istasyon bazlı yağış (SBP) ağlarının eksikliği veya yeterli miktarda olmaması sonucunda, sel ve kuraklık erken uyarı sistemlerinin, hidrolojik modellerin ve ekstrem hava izleme ve karar verme sistemlerinin geliştirilmesi ve kullanılması kısıtlanmaktadır AghaKouchak vd. [2011]. Bu önemli açığı giderebilmek amacıyla, meteorolojik uydulardan elde edilen yağış ürünleri, dünyanın tüm yüzeyini yüksek zamansal ve uzamsal çözünürlükte kaplaması bakımından kullanılabilir. [2011].

Bu tez kapsamında, bu uydulardan en son üretilen ve en sıklıkla kullanılan, Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Multi-satellite Precipitation Analysis (TMPA) 3B42 V7 yağış verileri kullanılmıştır. Bu uydu ürününün seçilme sebebi ise orta enlemleri yüksek zamansal çözünürlükte (3'er saat) temsil kabiliyeti olması ve önceki çalışmalarla karşılaştırabilmesidir.



Şekil 1.2: TRMM uydusu [<https://gpm.nasa.gov/missions/trmm>].

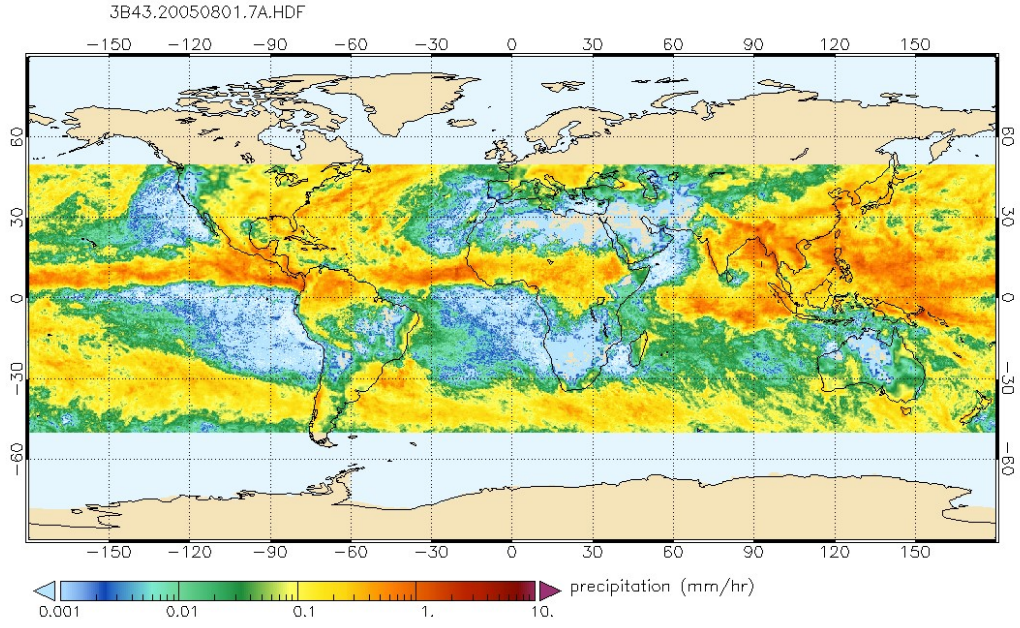
Yapılan çalışmada belirli bölgelere odaklanmaktan ziyade tüm Türkiye ele alınmıştır. Bu durum, mevsimsel farklılıkların ortaya konulmasının yanında, karmaşık topografya, dağlık bölgeler, kıyı şeridindeki deniz-kara etkileşimi gibi farklılıkları göstermesi açısından da uydu yağış ürünleri ile yağış ürünlerindeki hata paylarını inceleyebilme fırsatını sunmuştur.

1.3. Literatür Taraması

Uydu yağış ürünlerinin küresel ve bölgesel ölçekte yoğun kullanımı hidrometeorolojik uygulamalarda önemli veri kaynağını oluşturmaktadır. Aynı zamanda uydu yağış ürünleri web sitesi platformlarında geniş zamansal ve uzamsal çözünürlüklerde çoğunlukla ücretsiz veri seti sağladığından yağış ile ilgili çalışmalarda önemli veri kaynaklarıdır. Örnekleri sıralanacak olursa;

1.3.1. TRMM

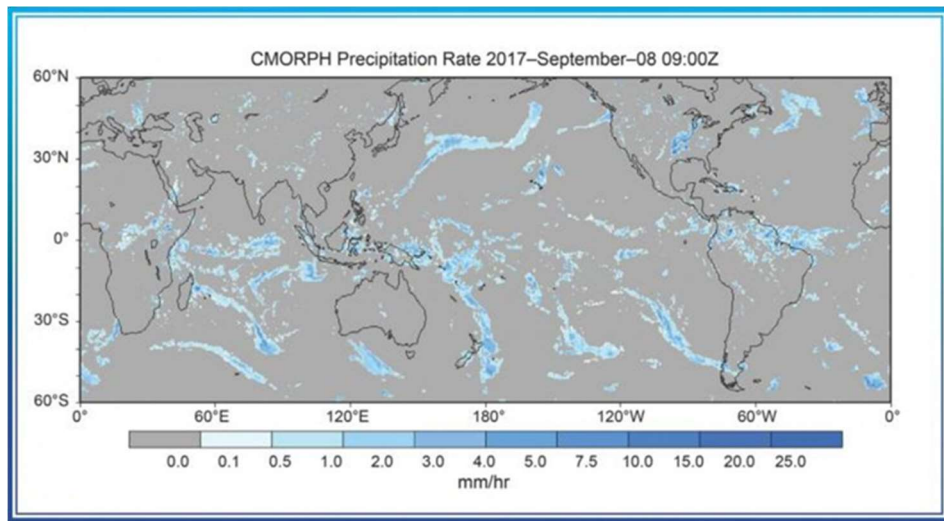
Öncelikle bu tezde de kullanılan TRMM veri setlerinin sunulduğu web sitesine https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/TRMM_3B42_Daily_7/summary bu linkten erişilebilmektedir. Uyduların yağış veri setleri zamansal çözünürlüklere göre temin edilebilmektedir.



Şekil 1.3: TRMM yağış ürününün $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ uzamsal çözünürlüklü 50° Kuzey - 50° Güney enlemleri arası kapsama alanı
[https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/TRMM_3B43_7/summary].

1.3.2. CMORPH

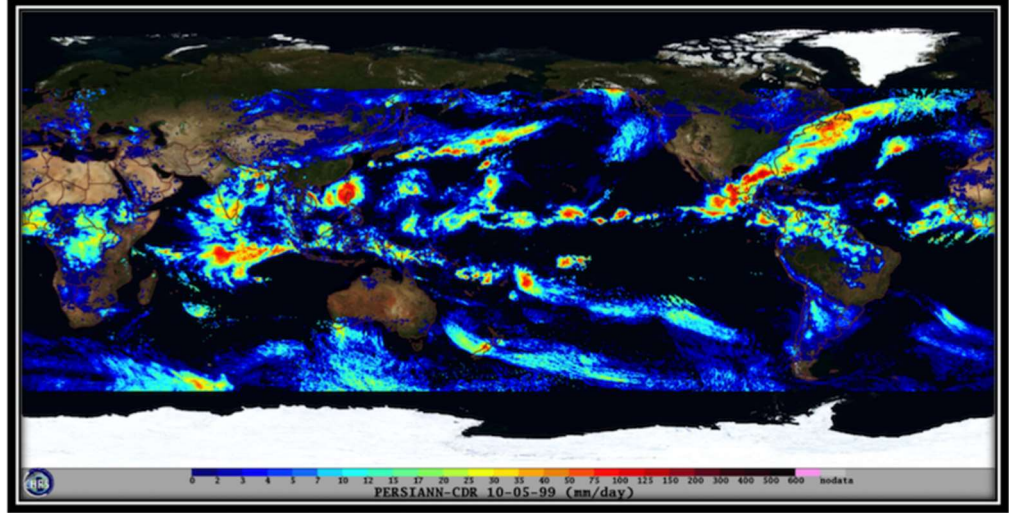
Bir diğer bilinen uydu yağış veri seti ise CMORPH tarafından sağlanır. Veri setlerinin erişimi <https://www.ncei.noaa.gov/products/climate-data-records/precipitation-cmorph> linkinden ulaşılabilmektedir.



Şekil 1.4: CMORPH yağış ürününün $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ uzamsal çözünürlüklü 60° Kuzey - 60° Güney enlemleri arası kapsama alanı
[<https://www.ncei.noaa.gov/products/climate-data-records/precipitation-cmorph>].

1.3.3. PERSIANN

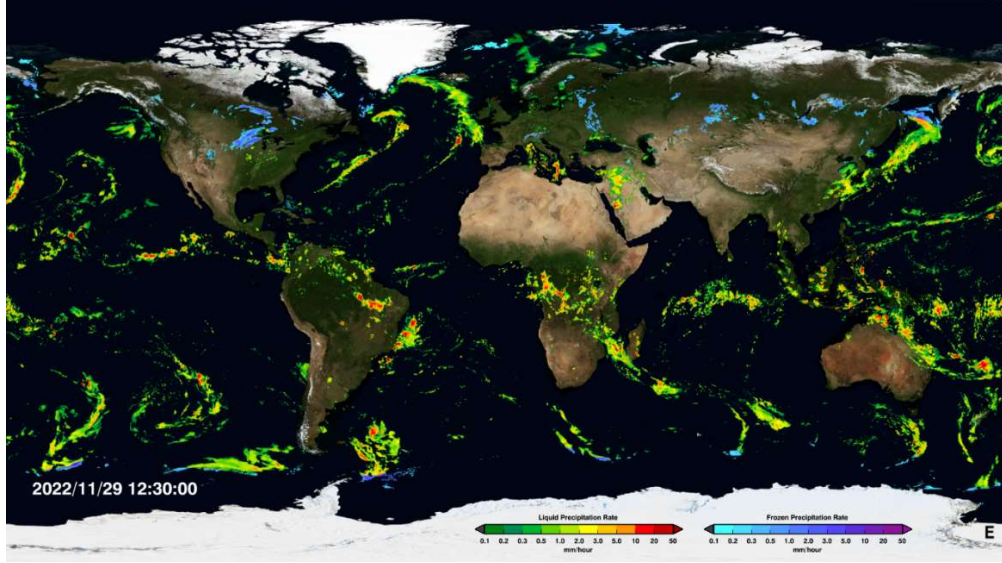
En sık tercih edilen yağış veri setlerinden biri olan PERSIANN ve geliştirmelere sahip olan PERSIANN-CSS ve PERSIANN-CDR ürünlerinin indirilmesi <https://chrsdata.eng.uci.edu/> web sitesinden yapılabilmektedir.



Şekil 1.5: PERSIANN yağış ürününün $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ uzamsal çözünürlüklü 60° Kuzey - 60° Güney enlemleri arası kapsama alanı
[<https://www.ncei.noaa.gov/products/climate-data-records/precipitation-persiann>].

1.3.4. GPM-IMERG

GPM tarafından sağlanan ve hatta yağış ürünlerinde TRMM ile ortak ürünleri de bulunan IMERG yağış veri setlerini çoğunluktan ayıran en önemli faktör $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ uzamsal çözünürlüğe sahip olmasıdır. <https://gpm.nasa.gov/data/directory> bu web sitesinden veri setlerine ulaşılmaktadır.



Şekil 1.6: GPM – IMERG yağış ürününün $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ uzamsal çözünürlüklü 80° Kuzey - 80° Güney enlemleri arası kapsama alanı alanı
[<https://gpm.nasa.gov/data/IMERG>].

Uydu yağış ürünleri ile ilgili çalışmaların çoğunlukla Amerika [17]-[18], Çin [19]-[20], Afrika [21]-[22], Avusturalya [23]-[24] ve Avrupa [25]-[26] kısımlarında yoğunlaştığı görülmektedir. Ancak, bu ürünlerin karmaşık topografya üzerindeki performansını değerlendiren çalışmalar hala çok sınırlıdır [27]-[29]. Örneğin, Avusturalya için yapılan son çalışmada [24], Ekim 2014'ten Eylül 2019'a kadar 5 yıllık dönem boyunca beş farklı uydu bazlı yağış ürünleri değerlendirilmiştir. Kullanılan uydular; Küresel Yağış Ölçümü (GPM-IMERG), Tropikal Yağış Ölçüm Misyonu TRMM, İklim Tahmin Merkezi Dönüşüm Tekniği (CMORPH), Yapay Sinir Ağları Kullanarak Uzaktan Algılanan Bilgiden Yağış Tahmini (PERSIANN) ve PERSIANN-CDR (İklim Veri Kayıtları) olarak seçilmiştir. Sonucunda, IMERG ve TMPA yağış ürünlerinin yer istasyonu yağış gözlemlerini en iyi temsil ettiği sonucuna varılmıştır. IMERG ürünleri mevsimsel yağışlarda daha temsili iken, TMPA'nın yağış izleme algoritmalarındaki kalibrasyonları TMPA ürünlerinin yağış gözlemleri ile korelasyonunun güçlendirmektedir. Bir diğer çalışmada ise 2005-2011 periyodu süresince kuzeybatı Avrupa üzerinde 4 farklı uydu yağış ürünü analiz edilmiştir. TMPA, CMORPH, Okyanus Araştırma Laboratuvarı (NRL) birleştirilmiş tekniği ve PERSIANN uydu yağış ürünlerinin yer gözlemleri ile korelasyonu, sapma oranı, algılama olasılığı (POD) ve yanlış alarm oranı (FAR) hesaplanmıştır. Sonucunda, kış mevsiminde düşük korelasyon ve uydu ürünlerinin tüm mevsimlerde yağışları

olduğundan az (underestimate) gösterdiği sonucuna varılmıştır [25]. Kuzey Fas'ta 125 yer istasyonu ile TMPA 3B42 ürünlerinin V6, V7, V7temp ve RT-V7 versiyonlarının 2012 yılına kadarki doğruluk değerlendirmesi yapılmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki, 3B42 RT-V7 düşük doğrulukta, 3B42 V7 ürünü ise yüksek doğruluk da temsiliyet vermiştir. TMPA ürünlerinin kurak alanlarda yağışı olduğundan fazla (overestimate), yüksek rakımlı bölgelerde ise olduğundan daha az (underestimate) tahmin ettiği görülmüştür [29]. Diğer çalışmalardan farklı olarak, Yu ve arkadaşları [2020] dağlık arazi olan Taihang bölgesi için CMORPH CRT(düzeltilmiş ürün), IMERG, TMPA 3B42-V7 ürünlerinin validasyonunu farklı yükseklikteki 104 yer gözlem istasyonu verileri kullanarak değerlendirmiştir. 1000m ve üstü bölgelerde üç uydu yağış ürününün de istasyon yağışlarını iyi temsil ettiği, ancak hafif miktardaki yağışları gerçekleştirdiğinden fazla, yoğun yağışları ise daha az gösterme eğiliminde olduğu görülmüştür. Performans açısından değerlendirildiğinde TMPA ürünleri, CMORPH ve IMERG'e göre daha iyi sonuçlar göstermiştir Yu vd., [2020]. Çin'deki bir çalışmada ise; CMORPH, PERSIANN, TRMM TMPA (3B41-RTV7, 3B42-RTV7 ve 3B42-V7) ürünleri 2000 - 2014 yılları arası 2400 yer gözlem istasyonunun günlük yağış verileriyle kıyaslanmıştır. Uydu yağış ürünlerinin sıcak mevsimlerde, soğuk mevsimlere göre daha iyi sonuç verdiği ve yağışın uzamsal-zamansal değişimini daha iyi temsil ettiği, en iyi performansı ise TMPA 3B42 V7 ürününün gösterdiği görülmüştür [30].

Dünyada yapılan çalışmalar kıyaslandığında, Akdeniz havzası iklim değişikliğinden en fazla etkilenen bölgelerden birisidir ve nüfus fazlalığı, karmaşık topografya, kara-deniz etkileşimi ve küresel ısınma sonucunda yağış rejimindeki düzensizlik giderek artmaktadır. Bu havzaya yönelik olarak uydu yağış ürünlerinin yer gözlem verisi ile kıyaslanmasına yönelik çalışmalar oldukça sınırlıdır [31]-[39]. Bu havzada, Türkiye, 36°- 42°K enlemleri ile 26°- 45°D boylamları arasında yer almakta, kuzey ve güneyden sıra dağlarla çevrili merkezi bir plato ve doğuda engebeli bir dağlık bölge ile karakterize edilmektedir. Bu karmaşık coğrafyada yağış ölçüm istasyonlarının azlığı ve elde edilen verilerin doğruluğu gibi temel hidrometeorolojik sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bu karmaşık kıyı şeridinin ve engebeli topografyanın yağış özelliklerini çözmek için yüksek yoğunluklu uzamsal-zamansal yağış verilerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Türkiye için bugüne kadar uydu yağış verileri alanında çok az sayıda çalışma bulunmaktadır. Mevcut çalışmaların daha çok bölgesel ve havza tabanlı olduğu

görülmüş ya da ülke çapında olan çalışmalarda da çalışılan istasyon sayısının azlığı, istasyonların coğrafik temsiliyetindeki problemler ve topografyanın iyi temsil edilememesi gibi problemler detaylı uydu yağış-yer gözlem değerleri kıyaslamasını zorunlu kılmıştır [40]-[45].

Örneğin, Derin ve Yılmaz [2014], 2007-2011 dönemi için Batı Karadeniz bölgesi üzerindeki dört uydu yağış ürününün performansını değerlendirmiştir (TMPA-7RT, TMPA-7A, MPE ve CMORPH). Sonuçlar değerlendirilen uydu bazlı yağış ürünlerinin orografik yağışları temsil etmekte zorlandığını göstermektedir. TMPA-7RT, TMPA-7A ve MPE yağış ürünlerinin özellikle soğuk mevsimde Batı Karadeniz’de dağın rüzgâr tarafında bölge boyunca yağışı olduğundan az, rüzgâr altı bölgedeki yağışı olduğundan fazla tahmin ettiği görülmüştür. CMORPH yağış ürünü ise hem rüzgârlı hem de rüzgarsız bölgelerdeki yağışı olduğundan az göstermiştir. Bu çalışmada sadece Batı Karadeniz bölgesi ele alınarak yalnızca bölge bazlı bir çalışma yapılmıştır.

Dönmez ve Tekeli [2017], Gaziantep’te yaşanan taşkınlar için TMPA gerçek zamanlı (RT) ürünlerinin performansını araştırmıştır. TMPA 3B42 RT verileri, taşkınların gözlemlendiği aylarda yağış miktarının fazla olduğunu göstermiştir. Amjad vd. [2020], Türkiye’nin değişen iklimi ve karmaşık topoğrafyası üzerinde 256 yer tabanlı ölçüm istasyonu kullanarak uydu yağış ürünlerini değerlendirmiştir. Sonuçlar, TMPA ürünlerinin nispeten daha yağışlı bölgelerde gözlemlenen yağışı olduğundan az tahmin ederken, nispeten daha kurak bölgelerde ve daha yüksek eğimlerde olduğundan fazla tahmin ettiğini ortaya koymuştur. Bu incelenen çalışmada tüm Türkiye üzerinde değerlendirme yapılırsa da, az sayıda istasyon verisi kullanılmıştır. İstasyon sayısının ve eksiksiz verinin süresinin genişliği uydu yağış verilerinin doğruluğunu analiz etmede oldukça önem taşımaktadır.

Yapılan literatür çalışmalarının azlığı, durum bazlı oluşu, coğrafi temsiliyet problemi, veri seti ile kullanılan istasyon sayısının azlığı gibi nedenlerden dolayı detaylı TRMM TMPA uydu yağış ürünlerinin yer gözlem değerleriyle karşılaştırılması gerekmektedir. Çalışmaya iten diğer önemli faktörler olarak, yağışın topografya boyunca düzensiz dağılımı, sel hadiselerinde meydana gelen sıklık ve tahminindeki zorluk [47]-[49], kuraklık koşullarının son yıllarda artış göstermesi () ve yağış miktarının önemi, bunun yanı sıra yağış miktar ve süresindeki bölgesel bazlı değişkenlik unsurları yağış gözlemlerinin ve uydu yağış ürünlerinin temsil kabiliyeti açısından önemlidir [50]-[52].

Bu amaçla, literatürdeki önemli bir boşluğu doldurmak maksadıyla, yüksek yoğunluklu istasyon verileri ile uydu yağış ürünleri arasındaki bölgesel, mevsimsel, topografik ve yağış şiddeti farklılıklarını farklı istasyon yükseklik seviyeleri için ayrıntılı olarak incelenmiştir.

1.4. Tezin Amacı ve Motivasyonu

Tez kapsamında TMPA uydu yağış ürünlerinin Türkiye üzerindeki değerlendirmesi ve incelenmesi yapılarak, literatür taramasında belirtilen eksikliklerin giderilmesi amaçlanmıştır.

2015-2019 yılları arasında Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) Otomatik Gözlem İstasyonlarından (OMGİ) temin edilen günlük yağış verileri kullanılarak TRMM TMPA 3B42 V7 uydu yağış ürünleri arasında detaylı bir değerlendirme yapılmıştır. Bu amaçla, Türkiye genelindeki veri setlerinin belirsizlik değerlendirme analizlerinin ve sonuçlarının gelecekteki hidrolojik ve hidrometeorolojik çalışmalara rehberlik etmesi hedeflenmiştir. Bu çalışmayla, hidrometeorolojik değişkenleri girdi olarak kullanan çalışmalar için veri setlerinin hata analizleri sağlanacak, daha az belirsizlikle girdi verileri hakkında karar verilmesi için kritik önem taşıyacaktır.

Yapılan çalışmanın bulguları, sadece Türkiye üzerinden değil, dünyanın diğer karmaşık topoğrafya bölgeleri üzerinden yapılacak çalışmalara katkı sağlayacaktır. Ayrıca bu çalışma, uydu tabanlı yağış veri setlerinin istasyon bazlı gözlem ağının seyrek olduğu bölgeler için yeterli bir alternatif olup olmayacağını irdelemek açısından da önemlidir.

Türkiye ile ilgili literatürde bu kadar kapsamlı çalışmalar bulunmadığından, bu çalışmanın ölçeği tek başına bir avantajdır. Çalışma ülkenin tamamını kapsar nitelikte olduğundan, farklı bölgelerdeki sonuçlar (karmaşık topoğrafyaya sahip olan ve olmayan bölgeleri, yüksek ve düşük yağış değişkenliği olan bölgeleri, kurak ve yağışlı iklime sahip bölgeleri, kıyı şeritleri ve iç bölgeleri) kapsamlı bir şekilde karşılaştırılabilir olacaktır.

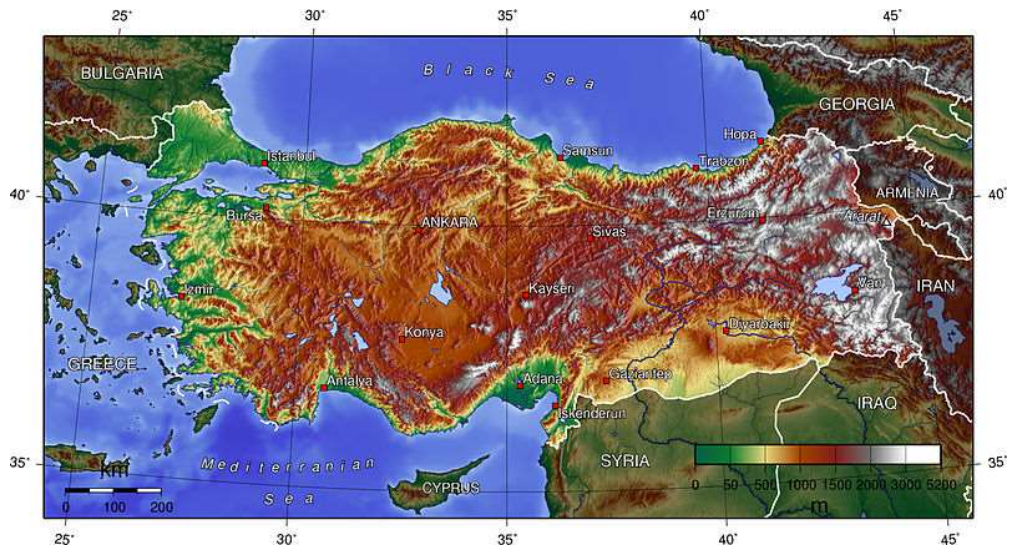
Bu çalışmanın hedefi analizi yapılan TMPA 3B42 yağış verilerinin doğruluklarının ortaya konması ile çeşitli uygulamalara altlık sağlamaktır. Örneğin yoğun dağlık bölgelerden kaynaklı istasyon kurulamayan bölgelerde yağış verisi eksikliğini uydu yağış ürününden temin edebilmek gibi hedefleri mevcuttur. Bu

nedenle uydu ürünü yağış doğruluk analizine ihtiyaç duymaktadır ve şu ana kadar benzer çalışmalar içerisinde yapılan bu bilgi ve altlık oldukça geniş ve detaylı ortaya konacaktır.

2. METODOLOJİ

2.1. Çalışma Bölgesi

Tez çalışma bölgesi Türkiye seçilmiştir (36°- 42°K enlemleri ile 26°- 45°D boylamları arası için). Topografik olarak bu alan; kuzey, batı ve güneyden sıra dağlarla çevrili merkezi bir plato ve doğuda engebeli bir dağlık bölge ile karakterize edilir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1: Türkiye topografik harita.

Bölge, ılıman iklim koşullarına sahip Akdeniz bölgesinde yer almaktadır, ancak karmaşık doğası ve dağların varlığı, iklim koşullarında bir bölgeden diğerine önemli farklılıklara katkıda bulunur. Kıyı bölgeleri daha ılıman iklime sahipken, İç Anadolu platosu aşırı sıcak yazlar ve sınırlı yağışlı soğuk kışlar yaşar [53]. Ege ve Akdeniz kıyılarında bölgeye bağlı olarak yıllık yağış 580 mm ile 1300 mm arasında değişmektedir. Karadeniz bölgesinin doğu kıyısı yıllık 2200 mm yağış almakta olup, çalışma alanının yıl boyunca yağış alan tek bölgesidir. Kıyı ve iç istasyonlardaki toplam yağış miktarı, dağların dizilişi nedeniyle önemli ölçüde farklılık göstermektedir. Örneğin Akdeniz kıyısında Toros Dağı'nın rüzgârlı tarafında yer alan Antalya bölgesi, dağın rüzgaraltı tarafında yer alan Karaman ve Burdur şehirlerine göre üç kat daha fazla yıllık yağış almaktadır. Benzer şekilde, Rize'de bir kıyı

istasyonunun yıllık 2182 mm yağış aldığı, iç kesimdeki bir istasyon olan Bayburt'ta ise sadece 420 mm yıllık yağış aldığı görülmektedir. Bu bölgedeki dağ blokajı Kuzey Karadeniz Bölgesi boyunca yağışı oldukça değişken kılmaktadır [40], [53]. Nispeten düz ve alçak arazilerin çoğu batı bölgelerinde yer alırken, yüksek arazilerin ve yüksek dağlık alanların çoğu doğu bölgelerinde yer almaktadır. Karadeniz bölgesi (Türkiye'nin kuzeydoğusu) ve bazı güneydoğu bölgeleri burada nispeten daha yüksek dağlık alanlara sahiptir. Kuzey Anadolu Dağları neredeyse Karadeniz'e paralel uzanan kesintisiz bir zincirdir ve 5165 m ile Ağrı Dağı ülkenin en yüksek zirvesidir. Toros Dağları, Türkiye'nin güneyinde yer alan bir sıradağdır. Türkiye'nin batısındaki dağlar alçak olup, yükseklikleri nadiren 1500 m'yi geçer ve bu dağlar denize doğru alçalırlar. Doğu için, dağlık bölge ortalama 1050 m yüksekliğe sahiptir. Bu karmaşık coğrafyada yağış ölçüm istasyonlarının azlığı ve elde edilen verilerin doğruluğu gibi temel hidrometeorolojik sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bu karmaşık kıyı şeritlerinin ve engebeli topografyanın yağış özelliklerini çözmek için yüksek yoğunluklu uzaysal-zamansal yağış verileri gereklidir. Uydu yağış verileri bu eksikliği doldurmak için kullanılabilirken, Türkiye için bugüne kadar bu konuda çok az çalışma yapılmıştır.

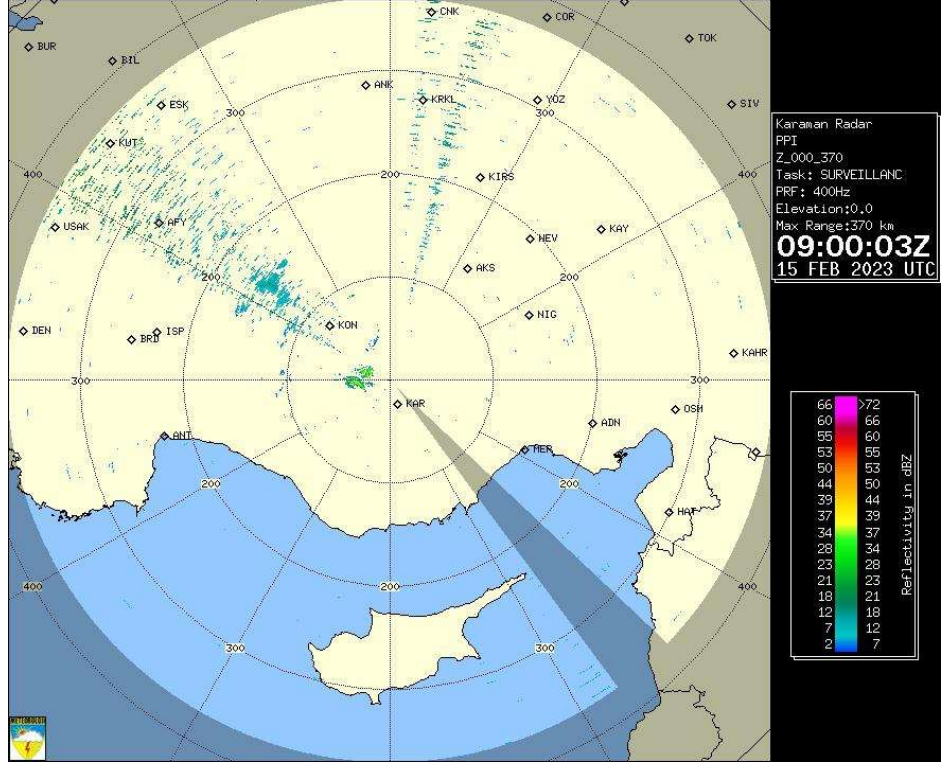
2.2. Veri Setleri

Hidrolojik çalışmaların doğruluğu ve güvenilirliği yüksek kalitedeki yağış ölçümlerinin mevcudiyetine bağlıdır. Yağış ölçümleri veya hesaplamaları, yer bazlı yağış ölçümleri (Şekil 2.2'deki yersel ölçüm istasyonu ve/veya Şekil 2.3'deki meteorolojik radar örneği) ve uydu bazlı yağış ürünleri olarak yapılmaktadır.



Şekil 2.2: Yersel Ölçüm İstasyonu Örneği [www.mgm.gov.tr].

Yersel ölçüm istasyonları, yüzey yağışının doğrudan fiziksel ölçümünü sağlar, ancak toplayıcı boyutu, buharlaşma kaybı, sıçrama, tesviye, göstergelerin yerleşimi, rüzgârın etkisi vb. gibi belirli hatalara karşı hassastırlar (Strangways, 2011). Ayrıca, yersel ölçüm istasyonları ve radar ağının altyapısının kurulması ve bakımı maliyetlidir. Öte yandan, bu ağlar dünyanın uzak bölgelerinde ve gelişmekte olan ülkelerde ya seyrek ya da yoktur.



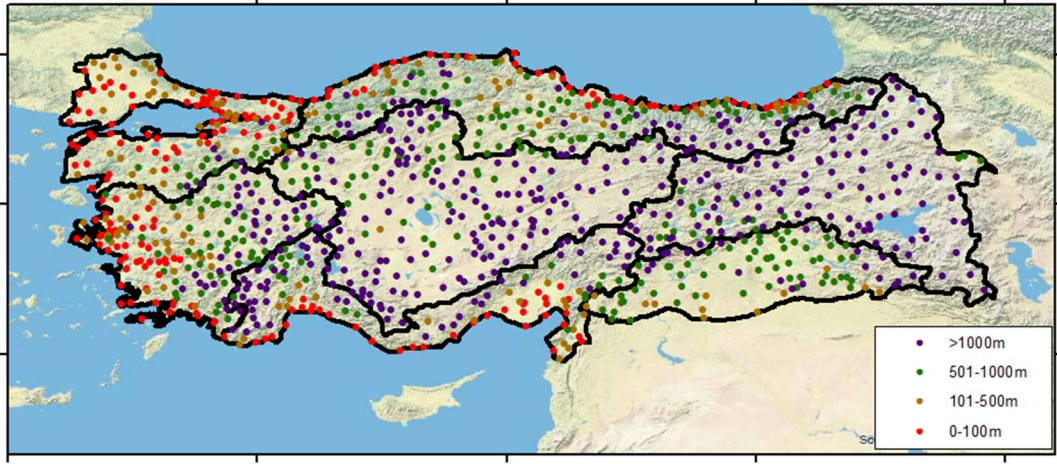
Şekil 2.3: Antalya radarı 15 Şubat 2023 (09:00 UTC) tarihine ait PPI (Plan Position Indicator) reflektivite değerleri [www.mgm.gov.tr].

Bu durum, yağışın yüksek uzamsal-zamansal değişkenlik ile karakterize edildiği karmaşık topografyaya sahip bölgelerde daha da kötüleşir. Bu bölgelerde, yağmur göstergeleri erişilebilirlik kaygıları nedeniyle genellikle ovalarda bulunur, bu nedenle yaylalarda meydana gelen yağışları yeterince temsil etmez. Uydu bazlı yağış ürünleri belki de bu önemli boşluğu dolduracak en önemli kaynaklardır. Uydu bazlı yağış alma algoritmaları, yarı küresel kapsama ile yağış alanının yüksek uzay-zaman değişkenliğinin temsil edilmesini sağlar, bu nedenle veri seyrek bölgelerde hidrolojik modelleme çalışmaları için potansiyel olarak ilgi çekicidirler.

2.2.1. Referans Veri Yersel Ölçüm İstasyonları

Yere dayalı ölçüm istasyonları aracılığıyla gözlemlenen yağış verileri, mevcudiyetine bağlı olarak en güvenilir veriler olarak kabul edilebilir. Bu nedenle, uzaktan algılanan ve model tabanlı tahmini yağış veri kümelerinin, yersel istasyon verilerini referans olarak kullanarak değerlendirilmesi, bu veri kümelerinin doğruluk değerlendirmesi için literatürde benimsenen en yaygın prosedürdür. Türkiye'nin dört

bir yanına yayılmış olan ölçüm istasyonlarından yağış verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu (OMGİ) günlük yağış verileri temin edilmiştir. İlk OMGİ istasyonları Türkiye'nin batısında kurulmuştur ve 2003 yılında operasyonel kullanıma başlamıştır. Sonraki yıllarda her manuel istasyon, Türkiye'nin her yerinde otomatik olanlarla güncellenmiş ve ölçüm yapılmayan yerlere yeni ölçüm istasyonları eklenmiştir. Dört büyük OMGİ projesinin ayrıntılı açıklaması Akkoyunlu ve arkadaşlarının (2019) yaptığı çalışmada bulunmaktadır. Tez kapsamında, TRMM TMPA 3B42 V7 ürünlerini değerlendirebilmek için çok sayıda istasyon bazlı günlük yağış verilerinin kullanılması hedeflenmiştir. Böylelikle, MGM' den toplam 1773 istasyonun yağış veri seti temin edilmiştir. MGM' den temin edilen istasyonlar harita üzerinde yüksekliklerine göre sınıflandırılarak gösterilmiştir. Şekil 10'dan görüldüğü üzere toplam 1035 istasyon sayısı mevcuttur. Bölgesel dağılımları olarak; toplam 111, 157, 165, 165, 221, 145 ve 71 istasyon Marmara, Ege, Akdeniz, İç Anadolu, Karadeniz, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinde bulunmaktadır. Daha detaylı analiz yapabilmek amacıyla, İstasyon dağılımı yüksekliklerine göre 4 sınıfa ayrılmıştır (alçak seviye istasyonlar 0-100 m, orta seviye istasyonlar 101-500m, yüksek seviye istasyonlar 501-1000m, dağlık istasyonlar >1000m). Bu sınıflar farklı renklerle temsil edilmiş ve haritalandırılmıştır. Sonucunda, dağlık istasyonların Doğu Anadolu ve İç Anadolu kesimlerinde yoğun olduğu görülmektedir. Aşağı seviye istasyonlar ise ülkenin sahil şeritleri boyunca uzanmaktadır. Kıyı istasyonlarının fazlalığı, sahil şeridindeki yerleşim varlığına, verinin kontrolüne ve meteorolojik verinin üretilebilmesi için gerekli olan enerji kaynaklarına yakınlık gibi temel faktörlere bağlıdır. Bu durum, mikro ölçekte yağış kayıtlarının elde edilebilmesine, olası konvektif tabanlı kararsız yağışlar sonucunda bir bölgedeki kuvvetli yağışların ölçülebilmesine olanak sağlamaktadır. Türkiye'nin kıyı kesimlerindeki kara-deniz etkileşiminden dolayı ani oluşan konvektif hücreler ve sonucunda oluşan kararsız yağışların tespiti ve önceden önlem alınması içinde oldukça önemlidir. Bu nedenle, kıyı kesimlerinde istasyonların fazlalığı, hem hatalı verilerin ayıklanması ve hem de küçük bir alanda meydana gelen yağışların tespitinde önemli olmaktadır. Bu durum, hem meteorolojik tahmin altyapısını güçlendirmekte, tahmin modellerindeki hata kaynaklarını detaylı incelemeye olanak sağlamak ve olası bir meteorolojik afet durumunda, detaylı ve yüksek hassasiyette analiz yapılmasına (yağış tekerrür analizi v.b) olanak sağlamaktadır.



Şekil 2.4: İstasyon yüksekliklerine göre sınıflandırılmış yağış ölçüm noktaları.

Tablo 2.1’ de görüldüğü gibi istasyon verileri bölgesel analizlerde kullanılmak üzere bölgelere göre ayrılmıştır. Bölgesel olarak değerlendirdiğimizde, istasyonların en yoğun olduğu bölgeler olarak Karadeniz ve Akdeniz görülmektedir. En az istasyon varlığı ise Doğu Anadolu ve İç Anadolu kesimlerindedir. Bu bölgelerdeki dağlık kesimlerin varlığı, engebeli topografya, karlı kaplı alanların fazlalığı ve yerleşim merkezlerine uzaklık gibi faktörlerden dolayı sınırlı sayıda meteoroloji istasyonu bulunmaktadır.

Tablo 2.1: Bölgesel olarak meteoroloji istasyonu dağılımı

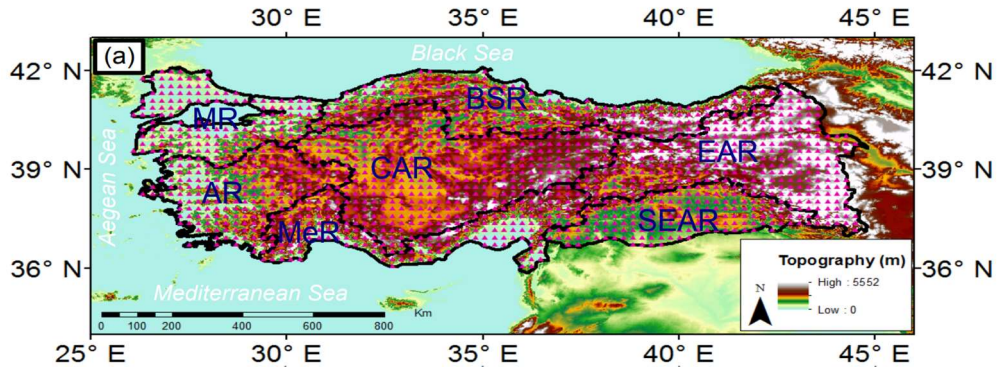
Bölgeler	Alana (km ²)	İstasyon Sayısı (is)	Km ² /(is)
Marmara	72845	111	656
Ege	90251	157	575
Akdeniz	89493	165	539
İç Anadolu	163057	165	988
Karadeniz	116169	221	526
Doğu Anadolu	150210	145	1036
Güneydoğu Anadolu	59176	71	834

2.2.1.1. Yersel Ölçüm Ağının Azlığı

Ortalama deniz seviyesinin üzerindeki artan yüksekliğe karşı yersel ölçüm istasyonu yoğunluğunun azaldığını Tablo 1’de $\text{Km}^2/(\text{is})$ sütununda görülmektedir. Yükseklik ve eğimin arttığı bölgelerde, istasyon sayısı oranı daha düşüktür. Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) standartları, tepelik/dalgalı bölgeler için 575 km^2 alan başına 1 yersel ölçüm istasyonu, dağlık bölgeler için 250 km^2 alan başına 1 yersel ölçüm istasyonu ortalama dağılım önerilmektedir [56]. İncelenen çalışma alanı durumunda, yağmur göstergeleri, WMO standartları tarafından tanımlanan ortalama istasyon yoğunluğundan daha seyrek (Özellikle daha yüksek rakımlı ve eğimli bölgelerde). Bu düşük istasyon yoğunluğu, çalışma bölgesi üzerinde alan ortalamalı yağış tahminlerinin hesaplanmasını etkileyecektir. Bu nedenle, burada bu çalışmada, alan ortalamalı tahminler analiz edilmemiştir (daha çok, doğası gereği nokta verileri olan istasyon bazlı tahminler, analizlerde kullanılmaktadır). İstasyon tabanlı verilerin (alan ortalamalı veriler yerine) kullanılmasının metodu 2.3.3.’de açıklamıştır.

2.2.2. Uydu Yağış Ürünü: TRMM

TMPA, birden fazla uydudan gelen bilgileri ve mümkün olduğunda yağmur göstergelerini birleştirerek yağış tahminleri sağlar ve 3 saatlik, $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ enlem-boylam uzamsal çözünürlükte kullanılabilir. Bu grid yapısının topografya üzerine oturtulmuş hali Şekil 2.5’de görülmektedir.



Şekil 2.5: TRMM grid yapısı ile birlikte yedi coğrafi bölgenin topografya ile birlikte gösterimi.

İki TMPA ürünü vardır: (1) gerçek zamandan yaklaşık 9 saat sonra mevcut olan ve 60° K–G enlem bantları arasında dünyayı kapsayan deneysel bir gerçek zamanlı izleme ürünü; (2) her ayın bitiminden yaklaşık 10-15 gün sonra mevcut olan ve dünyayı 50° K–G enlem bantları arasında kapsayan, gerçek zamanlı araştırma sonrası kaliteli bir üründür. Gerçek zamanlı ürün, TRMM' den gelen bilgilerle kalibre edilmiş, üç ila yedi kutupsal yörüngeli uydudan yüksek kaliteli Pasif Mikrodalga (PMW) tabanlı yağmur tahminleri ve jeosenkron dünya yörünge uydularının IR tahminleri ile birlikte TRMM' nin en yüksek kaliteli gözlemlerinden yararlanır. Gerçek zamanlı araştırma sonrası kaliteli ürün, deneysel gerçek zamanlı izleme ürününden başlıca iki şekilde farklıdır: (1) sapma düzeltmesi için aylık yağmur ölçer analizini içerir; (2) deneysel gerçek zamanlı izleme ürününde kullanılan TRMM Mikrodalga Görüntüleyicinin (TMI) aksine kalibrasyon için TRMM Birleştirilmiş Araç (TCI) yağış ürününü kullanır. TRMM, 40° K-G enlemlerinden bir kapsama alanı sağlar, bu nedenle bu çalışma, TRMM kapsamından daha yüksek enlemlerde TMPA ürünlerinin performansını vurgulayacaktır.

Bu çalışmada TMPA ürünlerinin en son versiyonu (Versiyon 7) [57] kullanılmıştır. Bu yeni sürümde, her iki TMPA ürünü, gerçek zamanlı araştırma sonrası kaliteli ürün için 2000-2010 yılları arasında ve deneysel gerçek zamanlı izleme için 2000-2012 yılları arasındaki ince ölçekli yağış modellerini iyileştirmek amacıyla algoritma geliştiricileri tarafından geriye dönük olarak işlenmiştir Huffman [2013]. Bu aşama sonrasında, deneysel gerçek zamanlı izleme ürünü TMPA-7RT olarak anılacaktır ve gerçek zamanlı araştırma sonrası kaliteli ürün TMPA-7A olarak anılacaktır. TMPA-7A ürünü, önceki sürümde (Versiyon 6) kullanılan yeniden işlenmiş veri kümelerini içermektedir. Ortaya çıkan ürün daha doğru ve araştırmaya uygundur [58]-[60].

Bu çalışma, 0.25° uzamsal çözünürlüğe sahip araştırma sınıfı günlük ürün TMPA 3B42-V7'nin günlük yağış verilerini kullanır. TRMM grid sayılarını bölgesel olarak incelediğimizde (Tablo 2.2), en fazla grid bazlı yağış değerlerinin Doğu ve İç Anadolu bölgelerinde olduğu görülmektedir. Bu durumda göstermektedir ki, meteoroloji istasyonu sayısı az olmasına rağmen TRMM yağış ürünleri oldukça fazladır. Eğer ki, yersel ölçümler ile TMPA ürünleri arasında yüksek korelasyon bulunursa, bu bölgelerdeki meteoroloji istasyonunun kurulamadığı dağlık kesimlerde, TMPA uydu ürünleri değerlendirmeye alınabilecektir.

Tablo 2.2: TRMM grid sayısının bölgesel dağılımları

Bölgeler	TMPA 3B42 V7 Grid Sayısı
Marmara	133
Ege	163
Akdeniz	217
İç Anadolu	325
Karadeniz	271
Doğu Anadolu	341
Güneydoğu Anadolu	126

2.2.2.1. TRMM Çalışma Mekanizması

Uydu ile yağışın fiziksel ölçümü mümkün değildir. Uydular, algoritmalar tarafından dolaylı olarak yağış hızına dönüştürülen elektromanyetik radyasyonu ölçer. Elektromanyetik radyasyon;

- Görünür (VIS) ve yakın kızılötesi (IR) bantlar, dünya yüzeyi ve atmosferi tarafından herhangi bir dalga boyunda değişiklik olmaksızın yansıyan veya saçılan güneş radyasyonudur.
- Termal kızılötesi ve mikrodalga (MW) bantları, yüzeyin ve atmosferin güneş radyasyonu ile ısıtılmış olması, enerjiyi daha uzun dalga boylarında yeniden yayması (doğal kaynaklı radyasyonu ölçün) özelliği ile ölçüm sağlar. Ayrıca platformdan aktif olarak radyasyon yayan ve geri dönen saçılan sinyali ölçen aktif mikrodalga bandıdır.

Bu dalga boyları, yörünge yerleşimlerine göre gruplandırılmış farklı tipteki uydularda bulunan farklı sensörler tarafından ölçülmektedir [54]. Jeostatik (yer durağan), kutupsal ve çarpık olarak üçe ayrılabilirler.

- Uydu dünyadan 35786 km'lik bir yörünge mesafesine yerleştirilirse ve dünyanın döndüğü yönde yörüngede dönerse, uydu gökyüzünde sabit görünür, dolayısıyla jeostatik olarak adlandırılır.

- Uydu yörüngesi kutuplar üzerine yerleştirilirse: Örneğin, meteorolojik uydular genellikle yaklaşık 100 dakikalık bir yörünge periyodu ile 850 km yükseklikte uçarlar. Bu yörüngelerin düzlemi genellikle her geçişte güneşe aynı açıyı koruyarak güneşe dönük tutulur. Bu nedenle bu uydular, günün farklı saatlerinde dünyanın aynı görüntüsünü sağlar ve bu da günlük değişimlerini göz önünde bulundurduğumuzda yağış tespiti için bir dezavantajdır. Bu uydular, uydunun kutuplara göre herhangi bir açıyla yörüngede döndüğü yerlerde de eğrilebilir [57].

Jeostatik uydular her zaman dünyanın aynı görüntüsünü sağlar, dünya yüzeyi kare şeklinde görülür. Piksel çözünürlüğü tipik olarak, görünür dalga boyu için $2,5^\circ \text{ km} \times 2,5^\circ \text{ km}$, IR dalga boyu için $5^\circ \text{ km} \times 5^\circ \text{ km}$ 'dir. Bu uydular esas olarak her 30 dakikada bir bulutlar hakkında bilgi toplar. Nadir dışı görüş, hiçbir görüşün olmadığı bir noktaya eğiktir, bu nedenle yüksek kutup bölgelerinden ölçümü kısıtlar. Sürekli kapsama alanı sağlasalar da görüntülerin çözünürlüğü sınırlıdır. Yörüngede Meteosat, Elektro-L 1 ve MTSAT-1R gibi birçok operasyonel jeostatik meteorolojik uydu bulunmaktadır [61].

Buna karşılık, kutupsal yörüngeli uydular, dünyayı yukarı ve aşağı ve kutuplar üzerinden daha yüksek uzaysal çözünürlüğe doğru süpürür ve diğer kanallarla MW kullanır. Bu uydular günde birkaç kez herhangi bir noktada kutupların üzerinden geçebilirken, ekvator üzerindeki herhangi bir noktada uydu günde sadece iki üst geçit sağlar. Çarpık yörüngelerdeki uydular, her bir üst geçitte günün farklı saatlerinde ölçüm yapabilmelerine rağmen kutupların üzerinden geçemezler. Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi (NOAA), ABD Savunma Meteorolojik Uydu Programı (DMSP) ve TRMM gibi yörüngede birkaç operasyonel kutupsal yörüngeli uydu bulunmaktadır [62].

Uydu sensörleri, sayısal bilgilere dönüştürülmesi gereken çok sayıda bireysel pikselden oluşan görüntüler sağlar. Radyometreler, IR ve MW bantlarında alınan sinyalin parlaklığını ve gücünü ölçer ve daha sonra “Parlaklık Sıcaklığı” kavramını kullanarak sıcaklığa dönüştürülür. Planck'ın mükemmel soğurucular veya yayıcılar için radyasyon yasasına göre Parlaklık Sıcaklığı parametresi Eşitlik 2.1'de verilmektedir.

$$\text{Parlaklık Sıcaklığı } S_p = I \left(\frac{\lambda^2}{2k} \right) \quad (2.1)$$

Burada, I = Radyans (Parlaklık) , λ = Dalga Boyu, k = Boltzmann's Sabiti olarak temsil edilmektedir.

Parlaklık sıcaklığı daha sonra algoritmalar tarafından yağışa dönüştürülür. Bu nedenle yağış ölçümünün doğruluğunun algoritmaların becerisi ile sınırlı olduğunu söyleyebiliriz. Sınırlamalar, modellenmesi gereken fiziksel karmaşıklık ve sensörler tarafından sağlanan çözünürlük olabilir. SBP algoritmaları, bulutların bir veya daha fazla uzaktan algılanan özelliklerine dayalı olarak yağış oranını tahmin eder, örneğin: bulutların yansıtıcılığı (VIS), bulut üstü sıcaklığı (IR) ve yağmur damlaları veya buz parçacıklarının saçılma etkileri (pasif mikrodalga, PMW) [63].

Görünür ve IR bantları ölçümleri yağış ölçen ilk uydu ölçümleri olan 1970'li yıllardan itibaren başlamaktadır [54]. Bugün bu veri kümeleri en büyük veri dizisi olmasına rağmen, yağış ölçümü olarak yeterli doğrulukta değildir. Görünür ve IR sensörleri, sabit yörüngeli uydularda mevcuttur; bu sensörler, hassas ve sürekli zamansal ölçeklerde veri sağlar. Ancak bulut tepe sıcaklığı ve yağış arasındaki bağlantı dolaylıdır ve genellikle zayıftır, dolayısıyla bu sensörler kaba tahminler sağlar.

Görünür ve IR bant ölçümlerinden yağış ölçmek için üç ana yaklaşım vardır:

- Bulut İndeksleme
- Bispektral Yöntemler
- Yaşam Öyküsü Yöntemleri

2.2.2.2. Bulut İndeksleme

Yağış tahmini için bulut üstü sıcaklığın (genellikle -40°C civarında) termal IR ölçümleri (10.5 ila 12.5 μm) kullanılır. Bu ölçümler, daha doğru sonuçlar elde etmek için yer ağı ile birleştirilir, çünkü ölçümler buluttan yere ve bulutun içine düşen yağmur yerine bulutları yukarıdan gözlemleyerek gerçekleştirilir. Yaygın olarak kullanılan bulut indeksleme algoritması Arkin [1979] tarafından geliştirilmiş ve Arkin ve Meisner [1987] tarafından iyileştirilerek GOES Yağış İndeksi (GPI) olarak adlandırılmıştır. Algoritma, -38°C'den daha soğuk olan bulut alanını ve radar yer ağını

kullanır. Korelasyon kullanılarak, bu sıcaklıktaki bulutlara $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 'lik bir alan üzerinde 3 mm/sa (tropikal yağış için uygun) sabit bir yağmur hızı atanır. Ayrıca bu algoritma, yerel yağmur ölçüm istasyon ağları ve MW veri setleri tarafından geliştirilmiştir. Uzamsal çözünürlük ve kapsama alanından yararlanmak için, bu algoritma kutupsal yörüngedeki uydularla da kullanılır [54]. Algoritmaların avantajı, veri setinin en uzun süreye sahip olmasıdır.

2.2.2.3. Bispektral Yöntemler

RAINSAT algoritması [66]-[67], IR bandını görünür kanalla birleştirir. Bu algoritma geceleri kullanılamaz. İçinde su buharı bulunmayan soğuk bulutlar (cirrus) ve yağış üretemeyen sıcak bulutlar (stratiform) gibi görünür banttan gelen bilgileri birleştirirler.

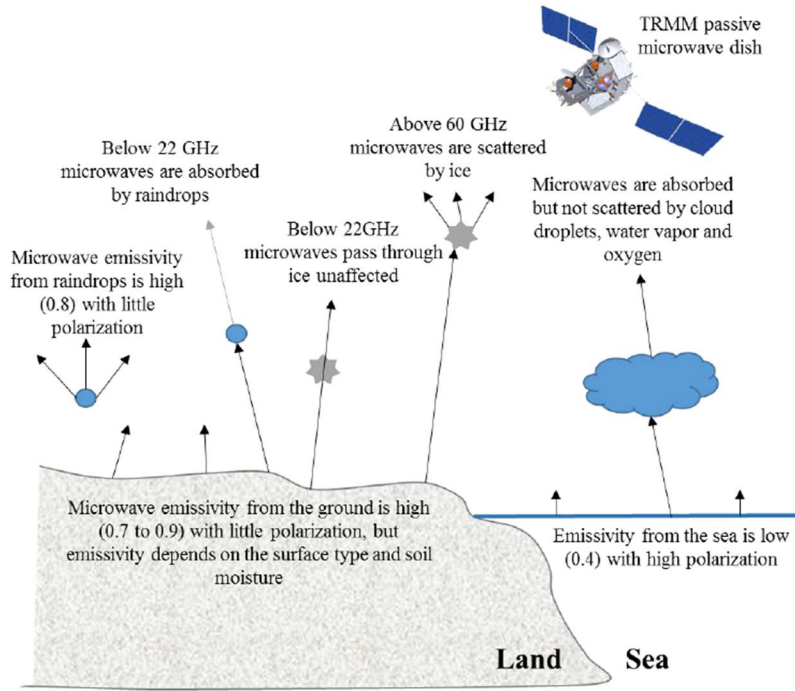
2.2.2.4. Yaşam Öyküsü Yöntemleri

Konvektif bulutların yaşam döngüsü incelenerek, yağışın olasılığı ve yoğunluğu tahmin edilebilir [54]. Bu inceleme, zamansal çözünürlük açısından daha iyi olduğu için jeosantrik uydular tarafından yapılabilir. Bu yöntem, tropik bulutlar gibi konvektif bulutların hakim olduğu bölgelerde iyi çalışır ve stratus bulutlarının hakim olduğu daha yüksek enlemlerde iyi çalışmaz [68].

PMW sensörleri kutupsal yörüngedeki uydularda mevcuttur; Bu sensörler yağışın doğru tahminlerini sağlasa da, zamansal çözünürlükleri kabadır. Bulutların içindeki yağış yapısını izleyerek hidrometeorlar ile radyasyon alanı arasındaki doğrudan etkileşimi sağlarlar. Bu sensörler kutupsal yörüngedeki uydularda olduklarından, aynı konumu günde iki kez geçebilirler ve bu da zaman serisi verilerinde önemli boşluklara neden olabilir. 1987'de Özel Sensörlü Mikrodalga Görüntüleyicinin (SSM/I) piyasaya sürülmesiyle, MW bantlarından yağış oranını belirlemek için çeşitli algoritmalar geliştirilmiştir.

MW, Şekil 2.6'da görünebileceği şekilde yer ve hidrometeorlar tarafından dağıtılır, yayılır veya emilir. MW; yer, bulut, kar, deniz ve yağmur damlalarının emisyon, emilim ve dağılma ile entegre edilmesi sonrasında uyduya ulaşır. Uydu tarafından alınan sinyal tek bir kaynaktan alınmadığı için sinyal farklı olmaktadır.

Bununla birlikte ne zemin ne de hidrometeorlar güçlü bir polarizasyon imzasına sahip değildir, bu nedenle farklılık karmaşık bir prosedürdür.



Şekil 2.6: Kara, Deniz, Hidrometeorlarla MW Etkileşimi, Strangeways [2011].

MW bantlarından yağış oranını belirlemek için en çok kullanılan algoritma, Kummerow ve Giglio [1994a, 1994b] tarafından geliştirilen Goddard Profillemeye (GPROF) algoritmasıdır. Anlık yağışları almak için bu algoritma, gözlemlenen ve simüle edilen parlaklık sıcaklığı veri tabanlarını eşleştirmek için Kummerow [2001] ve Wang [2009], ışımsal bir transfer modeli aracılığıyla Bayes tabanlı bir yaklaşım kullanır.

Daha yeni algoritmalar, her bir kaynağın güçlü yönlerinden yararlanmak ve daha doğru ve güvenilir yağış tahminleri sağlamak için IR, PMW ve yersel istasyonlar gibi birden çok kaynaktan alınan ölçümleri birleştirir [57]-[59], [73]-[75].

Uydu bazlı yağış ürünleri tahminleri önemli ölçüde hata içermesine rağmen, devam eden iyileştirmeler ve gelecekte planlanan uydu görevleri Küresel Yağış Ölçümü (GPM) ile birlikte pek çok hidrometeorolojik alanda potansiyel yararları artacaktır [76]-[78].

2.3. VERİLERİN ÖN İŞLEMLERİ

2.3.1. Referans Datanın Kalite Kontrolü ve Çalışma Periyodunun Belirlenmesi

İlk adım olarak, analiz için meteoroloji istasyonlarının saatlik yağış verileri seçilir. Çalışmamızda çok sayıda istasyon bazlı günlük yağış verilerinin TRMM TMPA ürünleri ile doğrulanması hedeflenmiş ve bu sayede MGM' den toplam 1773 istasyonun yağış veri seti elde edilmiştir. Elde edilen veriler, aykırı değerler, süreksizlikler ve veri girişlerinin tekrarı dahil olmak üzere belirli tutarsızlıklar içeriyordu. Bu nedenle, ham verilerdeki aykırı değerleri veya herhangi bir belirgin tutarsızlığı gidermek için belirli kalite kontrol prosedürlerinden geçirildi. İstasyonların günlük yağış verileri kontrol edildikten sonra 2015-2019 arasındaki zaman aralıkları çok sayıda istasyonu içermeye uygun bulunmuştur. MGM günlük yağış veri setinin analizine başlamadan önce İklim Değişikliği Tespiti ve Endeksleri Uzman Ekibi (ETCCDI) tarafından sağlanan RCLIMDEX yazılım paketi ile eksiksizlik, makullük ve doğruluk incelenerek veri kalite kontrolü uyguladık. RCLIMDEX ile günlük yağışlardaki hatalar (RR, negatif değerler) eksik değerlerle değiştirildi. Baltacı ve ark. 2018'de RR için 500 mm'lik bir üst eşik belirlendi çünkü bu günlük yağış miktarı Türkiye'de çok nadir görülen bir olay. Ek olarak, bir yıl içinde %5 veya daha az eksik gün varsa, o yılın yeterli eksiksiz veriye sahip olduğu kabul edildi. Sonuç olarak, dönem boyunca 1035 istasyonun yağış veri setinin klimatolojik analiz için uygun olduğu tespit edilmiştir (Şekil 2.4).

Bölgesel karşılaştırmayı araştırmak için Türkiye'yi Erinç'in (1984) benzer şekilde yedi coğrafi bölgeye ayrıldı (Şekil 2.4). Tablo 1'den de görüleceği üzere bölgeye göre istasyon sayısı Marmara Bölgesi (MR): 111; Ege Bölgesi (AR): 157; Akdeniz Bölgesi (MeR): 165; İç Anadolu Bölgesi (CAR): 165; Karadeniz Bölgesi (BSR): 221; Doğu Anadolu Bölgesi (EAR): 145; ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi (SEAR): 71. TMPA açısından; MR, AR, MeR, CAR, BSR, EAR ve SEAR bölgeleri içerisinde sırasıyla 133, 163, 217, 325, 271, 341, 126 grid noktası bulunmaktadır. Tablo 1'de gösterildiği gibi, uydu tabanlı yağış ızgaraları, her bölgedeki uydu yağış ürünü ölçümleriyle karşılaştırıldığında oldukça fazladır. Dağlık arazide ve karmaşık

topoğrafyada istasyonların kurulması ve işletilmesinde karşılaşılan zorluklar, EAR ve CAR gibi bazı bölgelerde hala yeterli sayıda istasyonun bulunmadığını göstermektedir. Tablo 1 incelendiğinde İç Anadolu, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinde yüzey alanlarına göre diğer bölgelere nispeten daha az istasyon sayısı olduğu görülmektedir. Bahsi geçen 3 bölgedeki istasyon sayısının az olması nedenleri ise topografyaya bağlıdır. Özellikle yüksek ve dağlık yapısından kaynaklı istasyon kurulması zorlukları Tablo 1'deki sayısal dağılımdan da anlaşılmaktadır. Tablodan dahi yorumlanabilen bazı bölgelerdeki istasyon sayısının az olması çalışmanın amacını teyit eder niteliktedir.

2.4. İSTASYONLARIN YÜKSEKLİKLERİNE ve YAĞIŞ ŞİDDETLERİNE GÖRE SINIFLANDIRILMASI

Karmaşık topoğrafyanın Türkiye'nin yağış mekanizması üzerindeki etkilerini araştırmak için, istasyonlar yüksekliklerine göre kümelenmiştir: Alçak Seviye İstasyonlar (LLS, 0-100m), Orta Seviye İstasyonlar (MLS, 101-500m), Yüksek Seviye İstasyonlar (HLS, 501-1000m) ve Dağ İstasyonları (MS, > 1000m). İstasyon dağılımına bakıldığında, örneğin, dağlık istasyonlar en yaygın olarak EAR ve CAR bölgelerinde bulunurken, düşük seviyeli istasyonlar sırasıyla MR ve AR bölgelerinde daha sıktır (Tablo 2.3).

Tablo 2.3: Yükseklik ve bölgelere göre sınıflandırılan meteoroloji istasyonları

	Düşük Yükseklikteki İstasyonlar (0-100m)	Orta Yükseklikteki İstasyonlar (101-500m)	Yüksek Yükseklikteki İstasyonlar (501-1000m)	Dağlık İstasyonlar (>1000m)
Marmara Bölgesi	67	36	5	3
Ege Bölgesi	49	30	44	34
Akdeniz Bölgesi	41	23	30	71
Karadeniz Bölgesi	40	46	73	62
Doğu Anadolu Bölgesi	0	0	22	123
İç Anadolu Bölgesi	0	1	52	112
Güneydoğu Anadolu Bölgesi	0	10	55	6

Her bölge için günlük yağış miktarının dağılımları, beş farklı günlük yağış şiddeti aralığı için analiz edilmiştir (Tablo 4), [12]-[17]. Böylelikle yağış miktarlarına göre uydu yağış ürünlerinin değerlendirilmesinde kolaylıkla analiz edilmeleri sağlanmıştır. Uydu yağış ürünlerinin yağışları olduğundan fazla ya da az tespit ettiği durumlar oluşuyorsa hangi yağış yoğunluklarında bu gibi durumların meydana geldiği tespit edilebilmesine dayanak oluşturulmuştur.

Tablo 2.4: Yağış şiddetlerine göre sınıflandırma

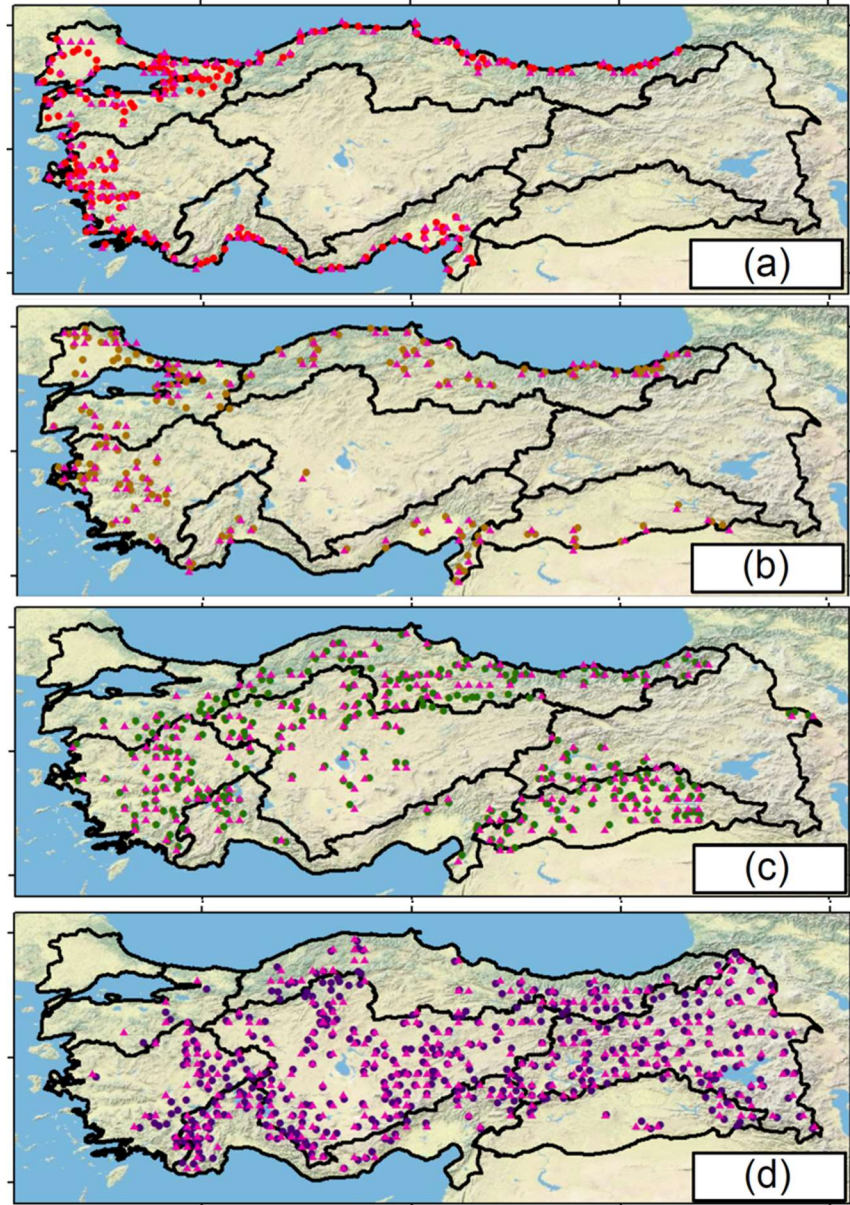
Sınıflar	Yağış Yoğunluğu (mm/gün)
Yağışsız	<1
Hafif Yağış	1-5
Orta Yağış	5-20
Yüksek Yağış	20-40
Aşırı Yağış	>40

2.4.1. Noktadan Gride Değerlendirme Yöntemi

İstasyon verilerinin noktasal olması ve TMPA 3B42 V7 verilerinin gridli yapıda olması durumunda karşılaştırmalar yapılabilmesi için çeşitli yöntemler vardır. Örneğin istasyon verileri değişik yöntemlerle hücresel veri haline getirilecek ya da uydu yağış verileri noktasal veri gibi tek bir hücrede elde edilecektir. Nasıl bir yöntem seçilirse seçilsin ortada seçilen yöntemden kaynaklı bir hata doğrulama istatistiklerine yansımaktadır; en nihayetinde yağış verileri 100m içinde bile ciddi bir şekilde değişebilmektedirken burada kullanılacak uydu yağış verilerinin uzamsal çözünürlüğü 25 km civarındadır.

Bu nedenle hataları en aza indirmek adına literatürdeki çoğu çalışmadan farklı olarak TMPA 3B42 verilerinin gridleri ile en yakın istasyonlar eşleştirilmiştir. Bu amaçla, R istatistik paketindeki uzamsal noktalar veri çerçevesi kullanılmıştır (R Development Core Team, 2010).

2.4 başlığında konusu geçen yüksekliğe göre sınıflandırılmış istasyon noktalarıyla eşleştirilen en yakın mesafedeki gridler harita üzerinden gösterilmiştir. Birinci şekilde harita üzerinde alçak yükseklikteki istasyonlar beklenildiği gibi kıyı şeridi boyunca görülmektedir. Kırmızı ile gösterilen alçak yükseklikteki istasyonlar en yakınlarında bulunan pembe üçgen ile temsil edilen gridler ile eşleştirilmiştir. İkinci şekilde orta yükseklikteki istasyonlar kıyı şeridinin iç kısımlarında yoğunlukta olduğu görülmektedir ve kahverengi noktalar ile temsil edilmiştir. Üçüncü şekilde ise istasyon noktaları daha kıyı şeridinden uzaklaşmış ve iç kesimde yoğunlukla toplanmıştır. Özellikle Güneydoğu Anadolu bölgesinde bu sınıftaki istasyonların yoğunlukta olduğu görülmektedir. Burada yüksek seviyedeki istasyonlar yeşil noktalar ile gösterilmiştir. Ve son şekilde ise dağlık bölge istasyonları beklenen üzere Doğu Anadolu bölgesinde yoğunluktadırlar. Aynı zamanda şekil 2.7 incelendiğinde Akdeniz bölgesindeki Toroslar ve Doğu Karadeniz bölgesindeki dağlar istasyon noktalarıyla mor renk ile temsil edildiğinde mor bir şerit gibi kıyıya paralel uzanan özelliğini belli etmektedir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7: Yüksekliklere göre istasyon dağılımı. (a): Düşük seviye yüksekliğindeki istasyonlar, (b): Orta seviye yüksekliğindeki istasyonlar, (c): Yüksek seviye yüksekliğindeki istasyonlar, (d): Dağlık istasyonlar.

2.5. YAĞMUR VERİLERİNİN İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışmanın temel amacı, bir yersel istasyon ağı kullanarak TMPA ürünlerinin Türkiye üzerindeki performansını değerlendirmektir. Değerlendirme önceki başlıklar altında açıklanmış olan her istasyon kategorisi için yapılmıştır. Değerlendirme prosedürü için TMPA gridleri noktasına en yakın istasyonlar seçilmiştir. Yersel ölçüm istasyonları ve en yakın TMPA grid noktaları Şekil 2.5' de detaylı olarak gösterilmiştir.

Günlük veri setleri sırasıyla aylık ve mevsimsel veri setleri olarak toplanmıştır. TMPA yağış ürünleri arasındaki bağlantılar, doğrusal korelasyon katsayısı (CC), standart sapma (SD), ortalama karesel hata (RMSE), sapma (BIAS) dahil olmak üzere nicel istatistikler kullanılarak araştırılmış ve aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$CC = \frac{\sum_{i=1}^n (P_{p,i} - \bar{P}_p)(P_{o,i} - \bar{P}_o)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (P_{p,i} - \bar{P}_p)^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_{o,i} - \bar{P}_o)^2}} \quad (2.2)$$

$$SD = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2} \quad (2.3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (P_{p,i} - P_{p,o})^2}{n}} \quad (2.4)$$

$$BIAS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{p,i} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{o,i} \quad (2.5)$$

Burada n istasyon sayısıdır; "o" ve "p" alt simgeleri sırasıyla, istasyonda gözlemlenen yağış verilerini ve uydu yağış ürünlerini belirtir; $P_{p,i}$ uydu ürünü yağış tahminleridir (mm/ay); $P_{o,i}$ istasyonda gözlemlenen yağıştır (mm/ay); $\bar{P}_p$ uydu yağış ürünü ortalamasıdır (mm/ay); $\bar{P}_o$ ortalama istasyonlarda gözlemlenen yağıştır (mm/ay).

TMPA ürünlerinin performansını belirlemek için, her kümeleme istasyonu için farklı günlük yağış şiddeti eşiklerini dikkate alan üç kategorik indeks kullanılmıştır. Eşikler açısından; çalışma için Tablo 2.3' deki hafif, orta, şiddetli ve aşırı yağış tanımları uygulanmıştır. Bu amaçla hafif, orta, şiddetli ve aşırı yağış olayları için 1, 5,

20 ve 40 mm/gün eşik sınırları dikkate alınmıştır. Bir eşik değerinin üzerinde tahmin edilen doğru ve yanlış açıklayan veri noktalarının formülizasyonu olarak ölçüm algılama olasılığı (POD), yanlış alarm oranı (FAR) değerleri kullanılmıştır. Tablo 2.5’ de dayanan çalışma prensibi açıklanmıştır.

Tablo 2.5: İstasyon ve uydu bazlı yağış ölçümlerinin karşılaştırılması

İstasyon Bazlı Yağış Ölçümleri		Uydu Bazlı Yağış Ölçümleri	
		Yağışlı	Yağışsız
	Yağışlı	İsabet (H)	Kaçırılanlar (M)
	Yağışsız	Yanlış Alarm (F)	Doğru Olumsuzlar

H bir isabeti temsil eder, yani bir eşiğin üzerinde istasyonda gözlemlenen yağışı doğru bir şekilde tanımlayan bir uydu tahminleridir. M bir ıskadır yani, uydu yağış ürünleri, eşik sınırından daha az yağış gösterirken, yere dayalı gözlemler, bu eşikten daha yüksek yağış oranları gösterir. F yanlış alarmdır, yani istasyon gözlemleri bu eşikten daha düşük yağış oranları gösterirken, yağış tahminleri eşikten daha büyük gösterir.

POD ve FAR için mükemmel bir algılama sırasıyla 1 ve 0'a sahip olmalıdır. Bu iki indekxin açıklamaları şu şekildedir:

$$POD = \frac{H}{(H + M)} \quad (2.6)$$

$$FAR = \frac{F}{(H + F)} \quad (2.7)$$

3. BULGULAR

3.1. Mevsimsel Gözlenen-Hesaplanan Yağış İlişkisi

TRMM uydu yağış ürününün performansını değerlendirmek için istasyonlara yakın TRMM gridleri eşleştirilmiş ve zamansal olarak inceleme yapılmıştır. Zamansal olarak günlük ve mevsimlik olarak yağışlar irdelenmiştir.

Şekil 3.1’de IDW (Inverse Distance Weighted) enterpolasyon yöntemiyle 2015 – 2019 yılları arası istasyonların yağış değerleri ile hesaplanan TRMM yağış miktarları mevsimsel olarak görselleştirilmiştir. Aynı zamanda aralarındaki fark bulunup söz konusu IDW enterpolasyon yöntemi ile görselleştirilerek, mevsimsel olarak istasyon ve TRMM yağış ölçümleri arasındaki ilişkiyi yorumlama kolaylığı sağlanmıştır.

Genel bir bakışla incelendiğinde görülmektedir ki tüm yağışları temsil eden renklerin ülke genelindeki dağılımı TRMM ve istasyonlar arası ilişkinin tutarlılığını yansıtmaktadır. Ancak mevsimsel ve bölgesel olarak ele alındığında bu tutarlılığın bozulduğu yerlere coğrafik etkilerin sebep olduğu rahatlıkla görülmektedir.

Şekil 3.1 (a)’da istasyon ölçümlerinde kışın 900 mm/mevsim’e varan değerlere çıkarak en çok yağış alan bölgenin Akdeniz bölgesi olduğu görülmektedir. TRMM ölçümlerinde bakıldığında da en çok yağış alan bölgenin Akdeniz olduğu bellidir. Fakat ölçümler arasında Akdeniz bölgesinde TRMM ölçümleri olduğundan daha az yağış ölçümü sunmuştur. Bu durum literatürdeki tabiriyle tahminaltı (underestimate) olarak ifade edilmektedir. İstasyon – TRMM sütunun yani üçüncü blokta tahminaltı ifadesinin yoğunluğunu renklerin kırmızı tonlarının giderek koyulaşması yansıtmaktadır. Akdeniz bölgesinin Antalya kesiminde yoğun bir tahminaltı söz konusu iken hemen yanında tam tersi durum olan olduğundan fazla gösterimi ifade eden tahminüstü (overestimate) durumu ile Burdur ve Muğla şehirlerinin Antalya’ya yakın olan kısımlarında gözlenmektedir. Mesafe olarak birbirine yakın bu yerlerde gözlem sonuçlarından belirgin farklı uydu yağış sonuçlarının oluşmasının temel nedeni olarak Torosların etkili olduğu görülmektedir. Toros sıradağlarının etkisi aynı zamanda Güneydoğu Torosları bölgesinde de mevcuttur. Güneydoğu kış mevsiminde tamamıyla uydu yağış ölçümünde olduğundan daha az yağış ölçümü gösterme eğilime

sahiptir. Güneydoğu Torosları ve güneyinde kalan tüm kısım üçüncü blokta kırmızı ile temsil edilmektedir, Torosların coğrafik etmenleri burada da göz önüne çıkmaktadır.

Akdeniz bölgesinden sonra kış mevsiminde ikinci en çok yağış alan bölgenin Doğu Karadeniz bölgesi olduğu istasyon yağış ölçümlerinde görülmektedir. Aynı yağış yoğunluğu TRMM ölçümlerinde de görülmektedir fakat tıpkı Akdeniz bölgesinde olduğu gibi tahmin altı sonuçlar görülmektedir. Toroslar kadar net bir etki gözükme de burada da Doğu Karadeniz dağlarının kıyıya çok yakın başlangıcı olmasından dolayı yağışın hemen düşüp kısa sürede bitmesi etkisi görülmektedir.

Kış mevsimi için yapılacak görülen diğer bölgesel Batı Karadeniz bölgesinin iç kısımlarındaki tahminüstü durumudur. Bunun haricinde genel olarak yeşil rengi haritaya hakimdir ve çoğunlukla TRMM ve istasyonların ölçümlerinin uyumlu olduğunu temsil eder.

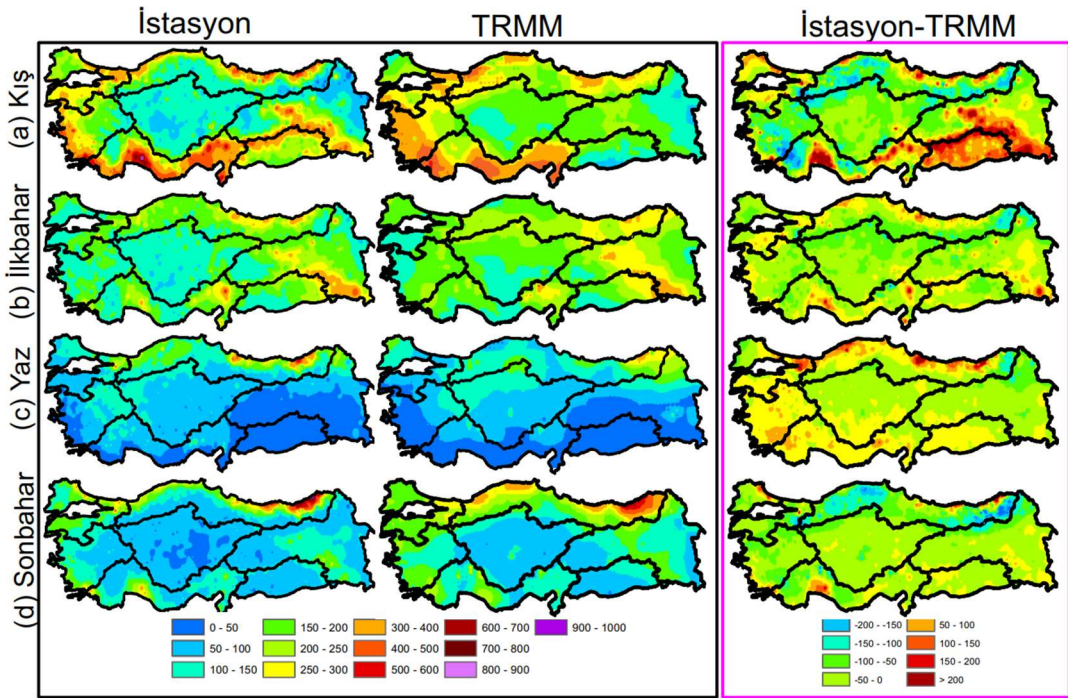
Şekil 3.1(b)'de İlkbahar mevsiminde ölçümlerin karşılaştırmasıdır. İç Anadolu bölgesinin az yağış aldığı istasyon ve TRMM ölçümlerinden görülmektedir. Aralarındaki ilişki kış mevsiminde olduğu kadar farklı değildir. Üçüncü blokta en çok yeşil renk dağılımının olduğu mevsim ilkbahardır. Bu da gösterir ki ilkbahar mevsiminde uydu yağış ölçümleri yersel ölçümlerle oldukça lineerdir. Yalnızca görülen farklılıklar Antalya şehrinin Merkezinde oluşan underestimate tahminlerin aynı kış mevsiminde olduğu yerde olmasıdır.

Şekil 3.1(c)'de Yaz mevsimi değerlendirmesinde en çok yağış alan bölge her iki ölçüm bloğunda da Doğu Karadeniz bölgesidir. Üçüncü blokta farkları incelendiğinde de Doğu Karadeniz de dahil olmak üzere tüm Karadeniz sahil şeridi boyunca yersel ölçüm değerlerinden daha az bir uydu yağış ölçüm değerleri söz konusudur ve kırmızı tonlar Karadeniz bölgesinde görülmektedir. Ülke genelinde özellikle Ege bölgesinde fazlalıkta olmak üzere tüm yaz haritasında underestimate olduğu yorumlanabilir. Buradan az yağış olduğunda TRMM'in az miktardaki yağışları tespitte başarının düşük olduğu yorumlanabilmektedir.

Son olarak ise Şekil 3.1 (d) bölümünde Sonbahar mevsimi yağışları temsillerinde en çok yağış alan bölge olan Doğu Karadeniz bölgesinde 900mm/mevsim'e varan yağışlar olduğu hem yersel ölçümde hem de uydu ölçümünde bulunmaktadır. İç Anadolu'nun ise sonbaharda oldukça az yağış aldığını istasyon ölçümleri göstermektedir. Üçüncü karşılaştırma bloğu yine Antalya'da aynı bölgede

uydu ölçümlerinin daha az yağış tespit edebildiğini ve Karadeniz Bölgesinde ise yer yer yağdığından fazla ölçüm değeri sunduğu denilebilmektedir.

Mevsimsel yağış haritalarından coğrafyanın iklim üzerine etkisi ve bu etki sonucu uydu yağış tespitinin tepkilerinin farklılaştığının sonuçlarına varılmaktadır. Mevsimsel değerlendirmenin incelenmesini matematiksel olarak tespit edebilmek için bölgelere göre 2015 – 2019 yılları mevsimsel TRMM ve yersel ölçüm istasyonları yağış miktarları karşılaştırması Şekil 3.2’ de yapılmıştır. Mavi renk yersel ölçüm istasyonları yağış ölçümlerini, kırmızı renk ise TRMM TMPA uydu yağış ürünü ölçüm değerlerini göstermektedir.



Şekil 3.1: 2015-2019 dönemi için mevsimsel toplam yağış miktarlarının meteoroloji istasyonu yağış kayıtlarından (sol panel) ve TRMM TMPA yağış ürünlerinden (orta panel) elde edilmesi ile birlikte istasyon bazlı ve uydu bazlı değerler (sağ panel) arasındaki mevsimsel yanlışlık sonuçları (mm/mevsim).

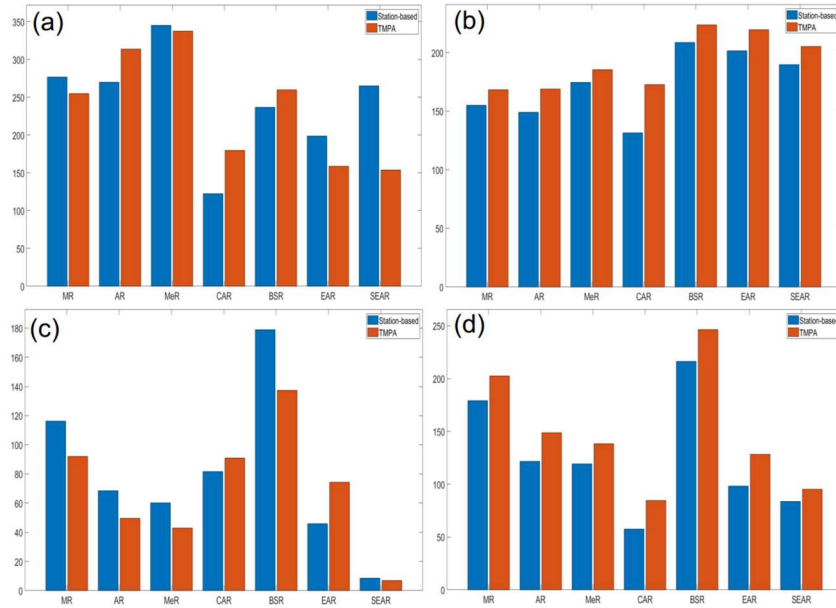
Şekil 3.2’deki sonuçlar incelendiğinde kış, ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde genellikle uydu yağış ölçümlerinin olduğundan fazla yağışı tespit etme eğilimde olduğu ve yaz mevsiminde ise genellikle olduğundan fazla ölçtüğü sonucuna varılmaktadır. Bölgesel ve genele uymayan durumlara bakıldığında;

Şekil 3.2 (a)’da kış mevsimindeki yağış miktarlarından Akdeniz bölgesinin en çok yağış alan bölge olduğu ve de yersel ölçüm istasyonlarındaki değere göre TRMM yağış tespitinin daha az olduğu görülmektedir. Kış mevsiminde Akdeniz bölgesine göre daha çok yanılma eğilimi gösteren bölge ise Güneydoğu Anadolu Bölgesi olmuştur. Bu bölgede yersel ölçüm istasyon değeri yaklaşık 250 mm’deyken uydu bazlı yağış ölçüm değeri 150 mm civarındadır. İç Anadolu bölgesinde ise tam tersi durumu TRMM ölçümlerinin 200 mm’e vardığını istasyon ölçümlerinin ise yaklaşık 130 mm’de kaldığı görülmektedir. Grafikte en yakın istasyon ve TRMM ölçüm değerlerine sahip bölge ise Marmara Bölgesidir.

Şekil 3.2 (b)’de ilkbahar mevsimindeki yağış değerlerinin ortalaması mevcuttur. Genel hatları ile grafiğe bakıldığında kış mevsiminde olduğu gibi büyük farklılıklar bulunmamaktadır. Tüm bölgelerde TRMM yağış ölçümleri yersel ölçümleri olduğundan fazla tespit etmiştir ilkbahar mevsiminde ve bu oldukça yakın değerlere sahiptirler. En istasyon ve uydu ürünü arasındaki fark bulunan bölge ilkbahar mevsiminde yalnızca İç Anadolu bölgesidir.

Şekil 3.2 (c)’de yaz mevsimi sayısal değerleri incelenmiştir. Beklenildiği gibi oldukça az yağış değerleri vardır. Doğu Karadeniz bölgesi hem en çok yağış alan bölge hem de en büyük yanılma payı veren bölge olmuştur yaz mevsiminde. Bunun sebebi kısa süreli yaşanan Karadeniz yaz sağanakları olarak düşünülmektedir. İç Anadolu bölgesi ve Doğu Anadolu bölgesi diğer bölgelerin aksi durumunu yani overestimate tepkisi göstermiştir.

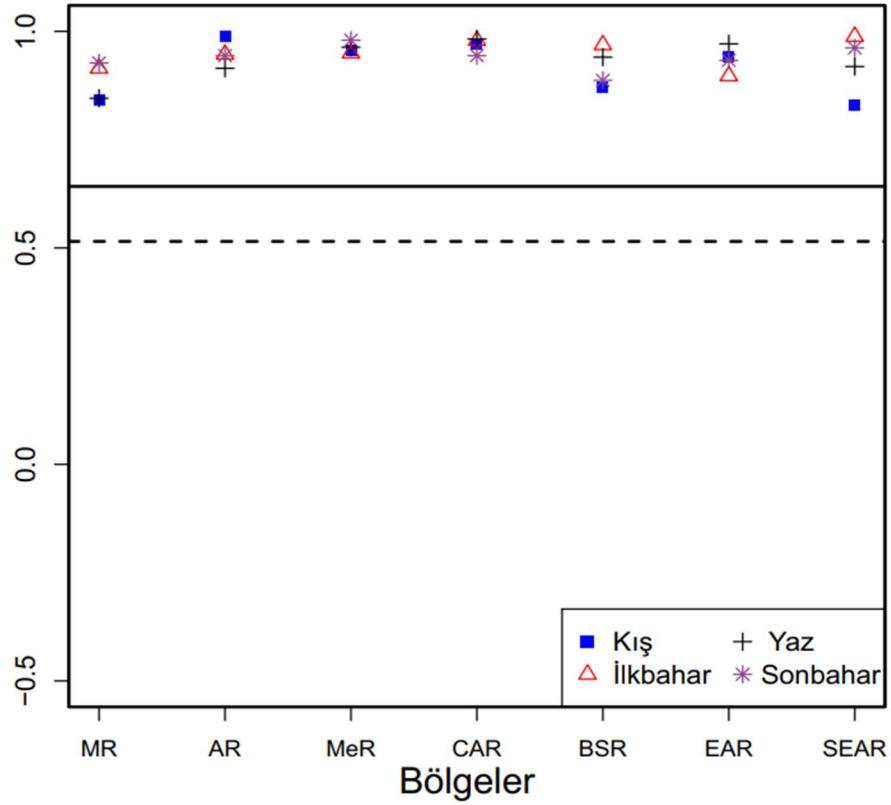
Son olarak ise Şekil 3.2 (d)’de ise sonbahar mevsimindeki değerlerle grafik oluşturulmuştur. Burada ilkbaharda olduğu gibi tüm bölgelerdeki uydu yağış ürününün sağladığı veriler yersel ölçümleri olduğundan fazla tespit etmiştir. İlkbaharda daha az farkla tespit etme eğilimi olsa da sonbaharda aradaki fark biraz daha açılmıştır.



Şekil 3.2: Bölgelere göre 2015 – 2019 yılları mevsimsel TRMM ve yersel ölçüm istasyonları yağış miktarlarının karşılaştırması.

Şekil 3.3’de her bölgede istasyonların ve TRMM TPMA yağış ürünü değerlerin arasındaki mevsimsel ortalamasının korelasyon katsayısı sonuçları görselleştirilmiştir. Kesikli ve kesiksiz çizgi sırasıyla, Student t testine göre %95 ve %99 güven düzeyini sembolize etmektedir. En düşük korelasyon değeri kış mevsiminde Güneydoğu Anadolu Bölgesinde bulunmaktadır. Bu bölgede korelasyon değeri kış mevsiminden sonra en kötü yazda ve sırasıyla sonbahar ve ilkbahar olarak görülmektedir. Doğu Anadolu bölgesinde ise tam tersi olarak ilkbahar mevsimi en iyi korelasyon sonucunu vermiştir. Kış ve sonbahar mevsimi yakın değerler ile ortada iken en yüksek korelasyon değeri yaz mevsimindedir. Akdeniz ve İç Anadolu bölgelerinde tüm mevsim değerlerinin korelasyonları birbirleri yaklaşık yeredirler. Tüm mevsimler olarak bakıldığında da korelasyon değerleri en düşük olan bölge Marmara bölgesidir.

Genel itibarı ile Şekil 3.3 incelendiğinde bölgesel mevsimsel ortalamaların korelasyon değerleri 1’e oldukça yakındır. Buradan da uydu yağış ürünü ölçümleri ile istasyon ölçümleri arasında mevsimsel olarak oldukça fazla tutarlılık olduğu sonucuna varılmaktadır.

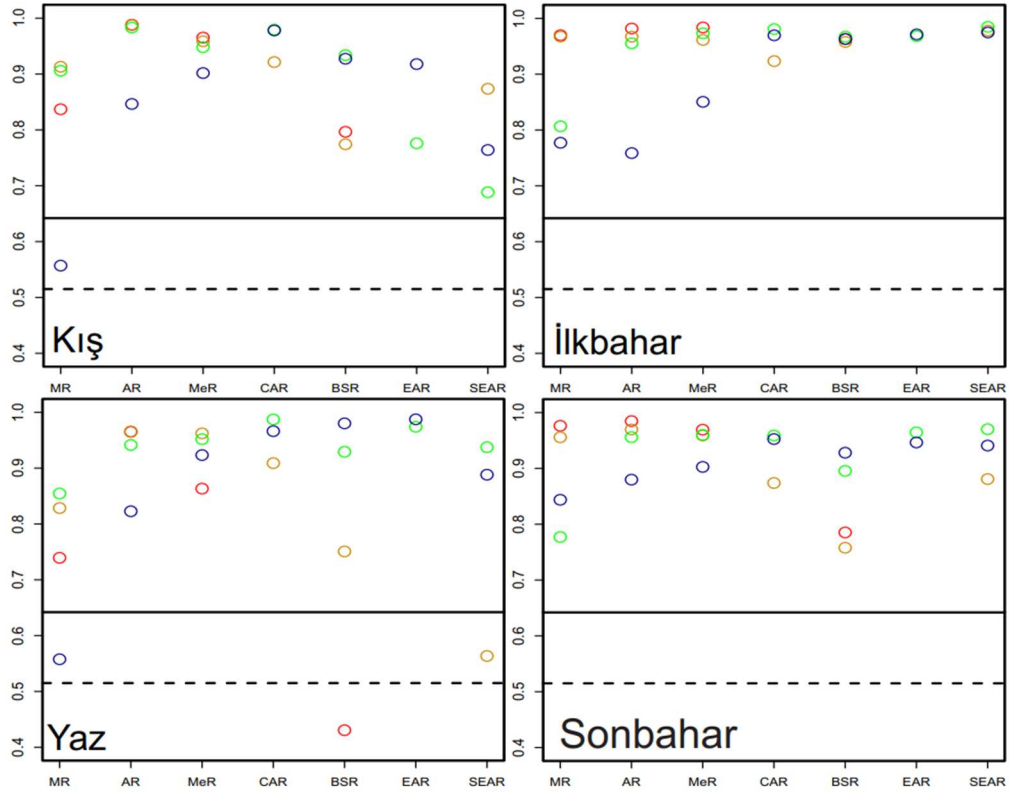


Şekil 3.3: Mevsimlere göre bölgelerin korelasyon sonuçları.

3.2. İstasyon Yüksekliklerine Göre Mevsimsel Gözlenen-Hesaplanan Yağış İlişkisi

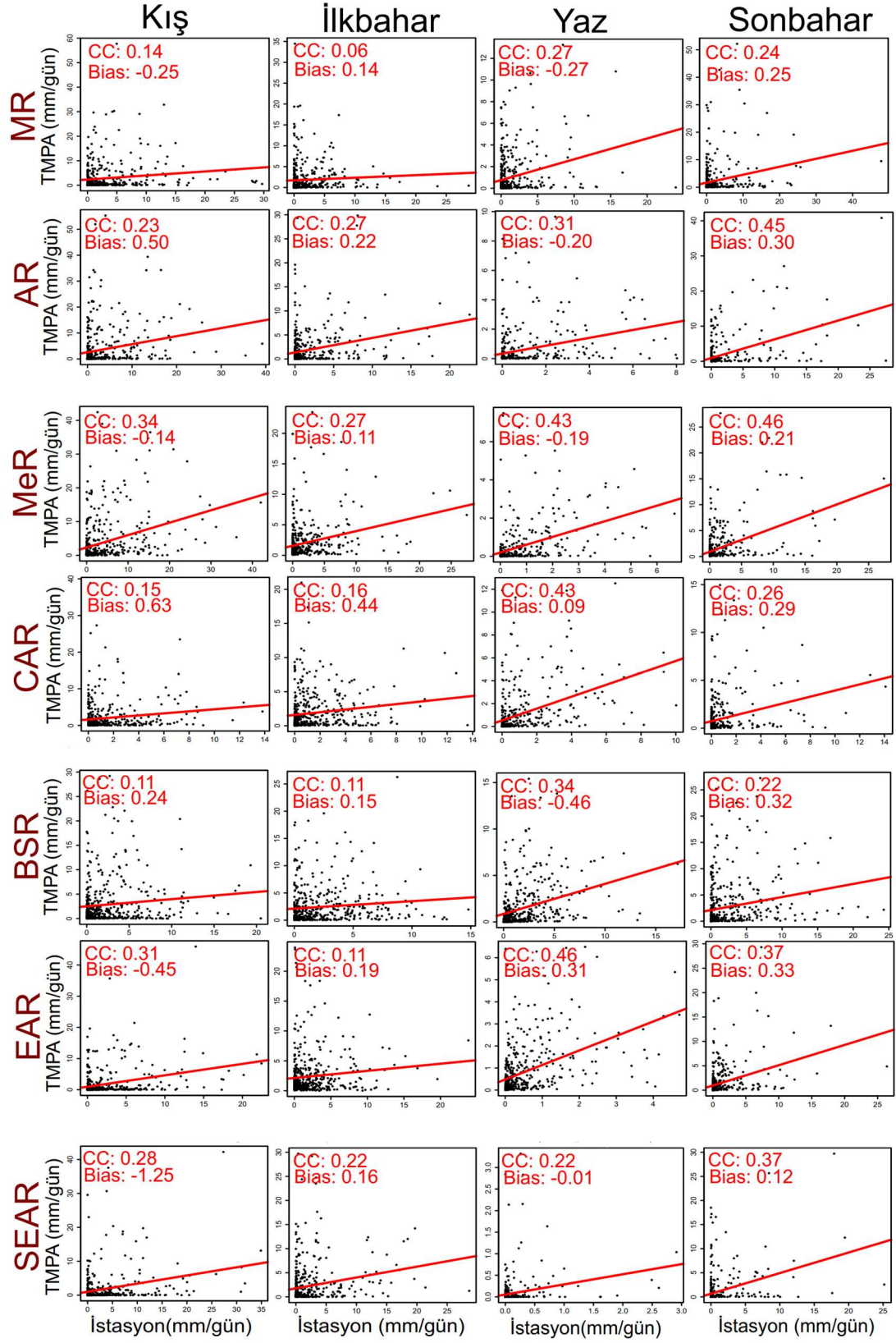
Şekil 17’de yüksekliklere göre sınıflandırılmış mevsimsel ortalama yağış verileri ile 2015 – 2019 dönemi boyunca Türkiye’nin her bir bölgesi için en yakın TRMM yağış ölçüm verileri ile aralarındaki korelasyon katsayısı sonuçlarını temsil etmektedir. Şekil 3.4’ deki kırmızı, kahverengi, yeşil ve mavi yuvarlaklar sırasıyla aşağı seviye (LLS), orta seviye (MLS), yüksek seviye (HLS) ve dağlık (MS) istasyonları temsil etmektedir. Sonuçları mevsimsel olarak incelediğimizde, kış aylarında genel olarak bölgesel korelasyon sonuçları %99 güven aralığının üzerindedir. Genel olarak dağlık istasyonlar için hesaplanan yağış miktarları, diğer seviye yağış ürünlerine göre daha az tutarlıdır. Bu durumda beklenen bir sonuçtur. Zira, dağlık bölgelerdeki karlı kaplı alanların varlığı, engebeli yapı ve yağışın ani değişimi bu farklılıkların oluşmasına neden olmaktadır. Bölgesel olarak baktığımızda,

en yüksek korelasyon sonuçlarının Ege, Akdeniz ve İç Anadolu bölgelerinde gerçekleştiği görülmektedir. İlkbahar aylarında ise, TMPA hesaplanan yağış değerleri yersel gözlemlerle karşılaştırıldığında, en düşük korelasyonların Marmara (MR), Ege (AR) ve Akdeniz (MeR) bölgelerindeki dağlık istasyonlarda olduğu görülmektedir. Bu durumun temel nedeni olarak; kara-deniz etkileşimi sonucunda ani gelişen konvektif hücrelerin orografyanın da etkisiyle sınırlı bir alana kısa zaman diliminde fazla miktarda yağış bırakması ve bu durumun TMPA ürünleriyle yüksek hassasiyette tespit edilememesi olarak değerlendirilebilir. Yaz mevsiminde, yağışlar az görülmektedir. Genel olarak yüksek seviye ve dağlık istasyonlarında kaydedilen yağış miktarları ile TMPA yağış ürünleri yüksek korelasyonludur. En düşük korelasyon ise (%90 güven aralığının altında) Karadeniz bölgesindeki kıyı kesimi istasyonları ile TMPA ürünleri arasında görülmektedir. Bu durumda göstermektedir ki, Karadeniz bölgesindeki yaz mevsiminde aşırı yüksek deniz yüzey sıcaklıkları sonucunda oluşan su buharı, kuzeyli rüzgarların da yardımıyla sahil istasyonlarına yağış olarak kaydedilmekte, Karadeniz bölgesine özgü olarak gelişen bu durum TMPA ürünleri ile tam olarak yansıtılamamaktadır. Sonbahar mevsiminde, OMGI-TMPA ilişkisinin en yüksek olduğu bölgeler Marmara, Ege ve Akdeniz Bölgelerinin aşağı seviye istasyonlarında görülmektedir.



Şekil 3.4: Yüksekliklere göre mevsimsel yağış verilerinin bölgesel gösterimi

Yağış miktarları açısından detaylı değerlendirme yapabilmek amacıyla, gerçekleşen yağış miktarları ile hesaplanan yağış miktarları arasındaki ilişki, her bir mevsim ve bölge için ayrı ayrı ele alınmıştır (Şekil 3.5). Kış mevsimindeki yağışlarda en yüksek korelasyon, Akdeniz (0.34) ve Doğu Anadolu bölgelerinde görülmektedir. İlkbahar aylarında, korelasyon ilişkileri kış mevsimlerine nazaran oldukça düşüktür. Bu mevsimdeki yağışın karakteristiğinin bölgesel olarak farklılığı (kırkikinci yağışları gibi) ve değişkenliği TMPA ürünlerinin yersel ölçümleri temsiliyeti açısından problem oluşturmaktadır. Genel olarak ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde TMPA ürünlerinin gözlenen yağışları en iyi temsil ettiği görülmektedir. İlkbahar aylarında en yüksek korelasyon sonuçları; Doğu Anadolu (0.46), İç Anadolu (0.43) ve Akdeniz (0.43) bölgelerinde görülmüştür. Sonbahar aylarında ise, gözlenen-hesaplanan yağış korelasyonunun en yüksek olduğu bölgeler olarak Akdeniz (0.46) ve Ege (0.45) Bölgeleri diğer coğrafi bölgelerden ayrılmaktadır.



Şekil 3.5: Bölgelerin mevsimsel yağış korelasyon katsayısı ve bias değerleri.

3.3. Yağış Şiddetlerinin Bölgelere Göre Dağılımı

Frekans tabloları (Tablo 2.4) bölgesel olarak değerlendirildiğinde (Şekil 3.6); beklenildiği gibi yağışsız gün frekansları en yüksek değerlere ve ekstrem yağışlar en az frekans değerlerine sahiptir. Bölgesel olarak incelendiğinde;

Marmara Bölgesinde frekans değeri en yüksek olan değer yüksek seviye istasyonlarda yağışsız günlerdir. Yağışsız günlerde diğer yüksekliklere ait istasyonlarda en yüksek frekans değerini takip etmektedir. Düşük ve Ortalama yağış günlerinde yağış frekansları benzer değerlere sahiptir. Yoğun yağış olan günlerde daha az frekanslar görülürken ekstrem yağış frekansları dağ istasyonları haricinde yok denebilecek kadar azdır. Diğer bölgelere kıyaslandığında ekstrem yağışlarda en fazla frekansa sahip olan istasyonlarda Marmara bölgesinin dağlık istasyonlarıdır. Yüksek seviyeli istasyonlarda ise yağışsız günlerin frekans değeri fazlalığının yansıması olarak düşük ve ortalama yağış olan günler daha az bulunmaktadır.

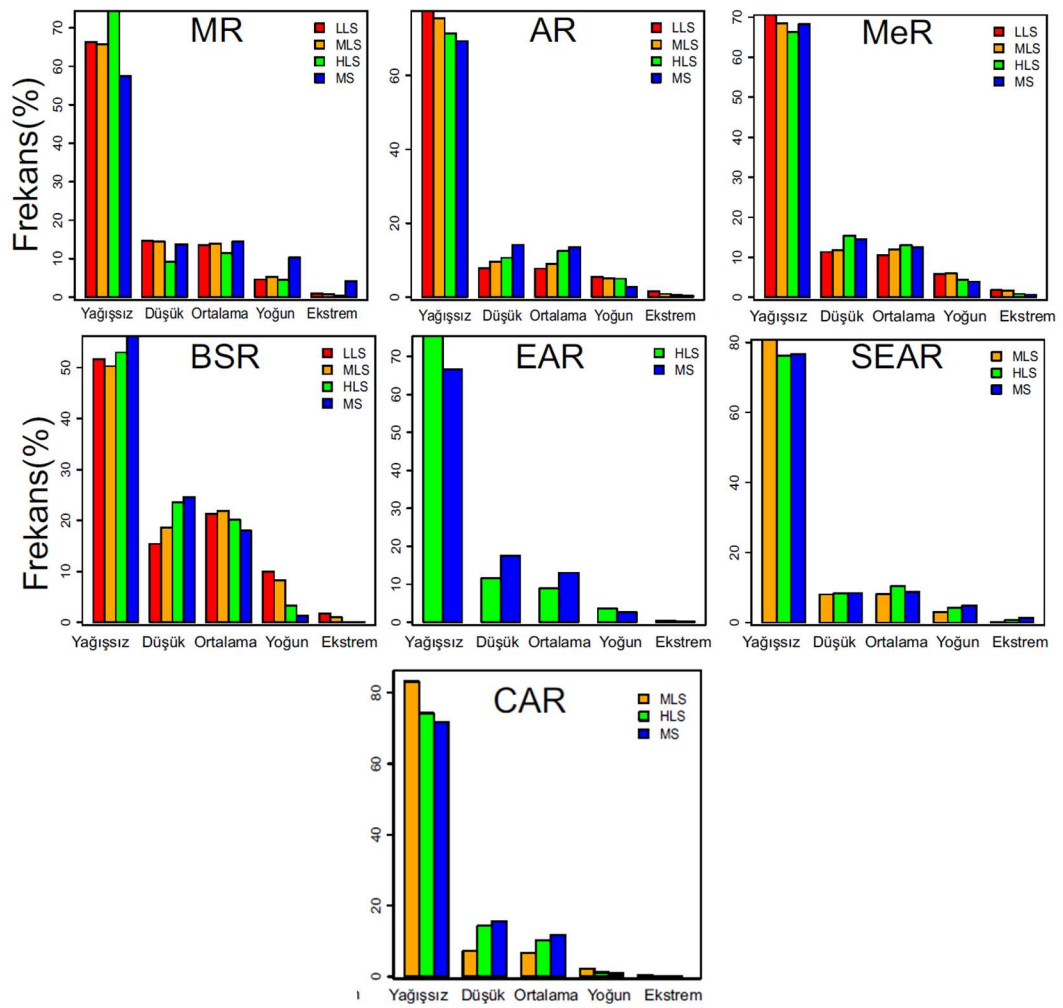
Ege Bölgesi frekans değerleri Marmara Bölgesine benzer şekilde yağışsız günler en fazlayken, düşük ve ortalama yağışa sahip günler yüksekliklere göre yakın değerlere sahiptirler. Ege bölgesinde farklı olarak ekstrem yağışlar çok az frekansa sahip olsa da dağlık istasyonlarda Marmara bölgesinin tam tersi şeklinde en az değere sahiptir.

Akdeniz Bölgesinde yağış frekansları tabloların genelinde olduğu gibi en çok frekansa yağışsız günler hâkimdir. Marmara bölgesinde görünenin aksine bu bölgede yüksek seviyedeki istasyonlar yağışsız günlerde en az frekansa sahiptir. Düşük seviyedeki istasyonlar en yüksek frekans değerindedir. Düşük ve Ortalama yağışa sahip günleri Ege ve Marmara bölgesine yakın değerlerdedir.

Karadeniz Bölgesi diğer bölgelere göre farklı bir örüntü göstererek düşük ve ortalama yağış frekansları en yüksek olan bölgedir, yağışsız günler diğer bölgelere göre kıyasla en düşüktür. Yüksekliklerine göre incelendiğinde ise dağlık ve yüksek seviyedeki istasyonların yağış frekanslarının daha alçak istasyonlara kıyasla frekansı daha çok olduğu, ortalama ve yoğun yağışta ise alçak seviyedeki istasyonların daha çok frekansa sahip olduğu görülmektedir.

Doğu Anadolu Bölgesinde yağışın en çok dağlık istasyonlarda görülmektedir. Düşük ve ortalama yağışlar da frekans olarak neredeyse en düşük değerlere bu bölgede sahiptir.

Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve İç Anadolu Bölgesi yağış frekanslarının yüksekliklere göre dağılımında birbirlerine çok benzer değerler taşımaktadır. Bu bölgelerde ekstrem yağışlar diğer bölgelere de nispeten yok denilebilir. İkliminde de beklenildiği üzere yağışsız gün sayısında 80 üzeri frekanslar görülen bölgelerdir.



Şekil 3.6: Bölgelerin yüksekliklere göre yağış frekansları.

3.4. Yüksekliklerine Göre Sınıflandırılmış İstasyonların Bölgesel POD – FAR Grafikleri

POD grafikleri 2.5. başlığında da açıklandığı gibi, 1 değerine yaklaştıkça ölçüm algılama olasılığının arttığı bilinmektedir. Uydu yağış verilerinin istasyon yağış verilerini doğru tahmin etmesindeki güvenilirliği gösteren ifadedir. FAR grafiklerinde ise durumun tersi söz konusudur, değer 0'a yaklaştıkça doğruluk artar. Doğruluk ifadesi burada uyduların istasyonları tahmin etmesindeki doğruluktur.

Öncelikle POD - FAR grafiklerinde Marmara bölgesi incelenecek olursa (Şekil 3.7); POD değerlerinde 1'e yani doğru tahmine en yakın oranların yağışsız günlerde olduğu görülmektedir. En yüksek tahmin değerine yağışsız günlerde sahip olan dağlık istasyonlar düşüş, ortalama ve yoğun yağışlı günlerde tahmin doğruluğu en düşük seviyededir. Bu tahmin güvenilirliği FAR grafiğinde de yağışsız günlerin 0'a yakın olmasından ve yağış arttıkça 1'e yakınlaşmasından da görülmektedir. Bir diğer hususta, yüksek seviye istasyonlarda ekstrem yağışlarda diğer tüm istasyon yükseklikleri güvenilirlikleri azalırken bu seviyedeki istasyonların artmasıdır. Diğer yükseklikteki istasyonların POD grafiğinde güvenilirlik değerleri birbirlerine benzer seyretmektedir, yağışsız günden ekstrem yağışlı günlere kadar azalışta olan tahmin doğruluğu bulunmaktadır. FAR grafiğinde en güvenilmeyen değerleri yüksek seviye istasyonları vermektedir.

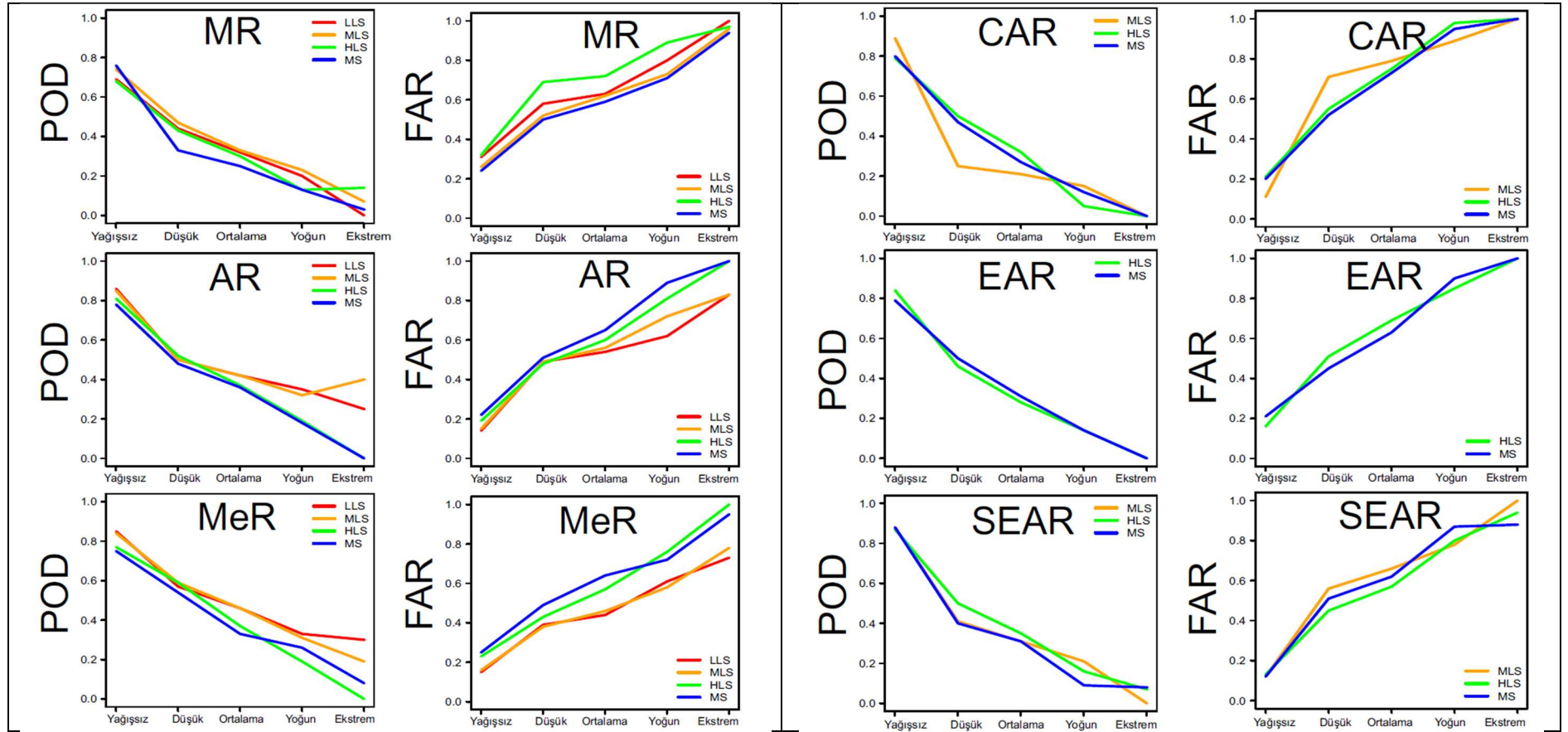
Ege bölgesinde yüksek seviye istasyonlar ve dağlık istasyonlar POD grafiğinde oldukça benzer değerlere sahiptir ve güvenilirlik yağış arttıkça azalmaktadır. Düşük seviyeli istasyonlar ve orta seviyeli istasyonlarda benzer değerlerle benzer şekilde yağış azaldıkça tahmin doğruluğu azalsa da, orta seviyedeki istasyonlar ekstrem yağışlarda diğer bölgelere göre de farklılık göstererek artış göstermiştir. FAR grafiğinde 0'dan daha uzak değerlere sahip olan yüksek seviye istasyonlar ve dağlık istasyonlar daha az tahmin doğruluğu gösterirken ekstrem yağışlara doğru gidildikçe azalması POD grafiğini doğrular şekildedir.

Akdeniz bölgesi incelendiğinde ilk dikkat çeken yüksekliklere göre farklı güvenilirlik değerlerine sahip olursa da yakın değerlerde olan istasyonlar FAR grafiğinde düşük ve orta seviyedeki istasyonlarla, dağlık ve yüksek seviyedeki

istasyon güvenilirlikleri arasındaki açıklığın daha belirgin olduğu görülmektedir. POD tablosunda genelinde olduğu gibi yağışsız günlerden ekstrem yağışlara gidildikçe tahmin güvenilirliği azalmaktadır.

İç Anadolu bölgesinde diğer tüm grafiklerden farklı şekilde her iki değer de orta seviyedeki istasyonlar düşük seviye istasyonlarda tahmin doğruluğunda sert bir düşüş göstermektedir.

Doğu Anadolu bölgesinde, POD grafiğinde yağışsız gün haricinde dağlık istasyonlar yakın değerler de olsa daha iyi tahmin doğrulukları gösterse de FAR grafiğinde bu doğrusal azalış gözükmemektedir. Yoğun yağışlarda dağlık seviye istasyonlarının yanlış tahmin ihtimali, yüksek seviye istasyonlardadır. Güneydoğu Anadolu Bölgesinde diğer bölgelerle benzer şekilde yağışsız günlerden ekstrem yağışlara kadar tahmin doğruluğu azalmıştır. Yoğun yağışta dağlık istasyonlar doğu bölgelerine benzer şekilde güvenilirlik açısından doğrusallığı bozmakta ve daha az tahmin doğruluğu olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.7: Yüksekliklerine göre sınıflandırılmış istasyonların bölgesel POD – FAR grafikleri.

4. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

TRMM uydu yağış ürünü ile ülke çapında yersel ölçüm verileri kullanılarak değerlendirme ve karşılaştırma yapılmıştır. Değerlendirilen uydu bazlı yağış verileri yersel ölçüm verileri ile yüksek doğrulukta tutarlılık göstermiştir. Sonuçlar aşağıda sunulmuş ve tartışılmıştır.

- İlkbahar ve sonbahar mevsimlerinde tüm bölgelerde uydu verilerinde, yersel ölçüm verilerinden daha fazla ölçüm gözlenmiştir.
- Kış mevsiminde Ege, Karadeniz, İç Anadolu Bölgelerinde yağış verilerini yersel ölçümlere göre olduğundan fazla gösterirken; Marmara, Akdeniz, Doğu Anadolu, Güneydoğu Anadolu Bölgelerinde olduğundan daha az değerler gösterilmiştir.
- Uydu bazlı yağış ürünü ile yersel ölçüm istasyonları arasındaki en yüksek mevsimsel korelasyon (r) sırasıyla İlkbahar 0,95, Sonbahar 0,94, Yaz 0,93 ve Kış 0,91 mevsimlerinde bulunmuştur.
- Marmara, Ege, Akdeniz Bölgelerinin kıyı bölgelerinde bu hesaplanan-gözlenen arası korelasyonların yüksek rakımlı istasyonlara göre daha yüksek olduğu görülmüştür.
- İç Anadolu ve Karadeniz'in yüksek rakımlı istasyonlarında (Yüksek Seviye İstasyonları, Dağ İstasyonları) alçak rakımlı istasyonlara göre en yüksek uydu bazlı yağış ürünleri-yersel ölçüm istasyonları arasındaki korelasyonlar bulunmuştur.
- Günlük istatistiklerde en yüksek korelasyon katsayıları (r);
Sonbaharda, Ege (Düşük Seviye İstasyonlar 0,53, Orta Seviye İstasyonlar: 0,54) ve Akdeniz (Düşük Seviye İstasyonlar: 0,50) alçak rakım istasyonlarında
Yaz mevsiminde Marmara, İç Anadolu 0,46 ve Akdeniz 0,43,
Kış mevsiminde ise Akdeniz kıyı istasyonları (Düşük Seviye İstasyonlar: 0,43, Orta Seviye İstasyonlar: 0,44) olarak bulunmuştur.

Bu korelasyon değerlerinden de görülmektedir ki belli yükseklikteki istasyonlar ya da mevsimdeki ölçümler daha yüksek doğruluğa sahiptir denilememektedir. Söz konusu durumun coğrafyanın karmaşık yapıda olmasından kaynaklı olduğu

gözlenmiştir. Yağış yoğunluklarının farklılığı dahi coğrafya etkisine göre uydu-yersel ölçüm arasındaki korelasyonu etkilediği gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] W. Brutsaert, "Evaporation into the Atmosphere: Theory, History and Applications". 1982.
- [2] Anastassia M. Makarieva ve Victor G. Gorshkov, "Condensation, atmospheric dynamics and climate" *International Journal of Water*, vol.5, no.4, pp.365-385, 2010.
- [3] Lev S. Kuchment, "The Hydrological Cycle And Human Impact On It" *Water Resources Management* , 2004.
- [4] K. E. Trenberth, A. Dai, R. M. Rasmussen, D. B. Parsons, "The Changing Character of Precipitation" *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 84, no. 9, pp. 1205–1218, 2003.
- [5] A. R. Aston, "Rainfall interception by eight small trees" *Journal of Hydrology*, vol. 42, pp. 383–396, 1979.
- [6] Robert E. Horton, "The Rôle of infiltration in the hydrologic cycle" *Transactions American Geophysical Union*, vol. 14, no. 1, pp. 446–460, 1933.
- [7] A. Hunt, B. Faybishenko, B. Ghanbarian, M. Egli, ve F. Yu., "Predicting Water Cycle Characteristics from Percolation Theory and Observational Data" *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 17, no. 3, pp. 734, 2020.
- [8] L. Wang-Erlandsson, R. J. van der Ent, L. J. Gordon, ve H. H. G. Savenije, "Contrasting roles of interception and transpiration in the hydrological cycle – Part 1: Temporal characteristics over land" *Earth Syst. Dynam.*, vol. 5, pp. 441–469, 2014.
- [9] D. Labat, Y. Godd  ris, J. L. Probst, J. L. Guyot, "Evidence for global runoff increase related to climate warming", *Advances in Water Resources*, vol. 27, issue. 6, pp. 631-642, 2004.
- [10] R. Schmidt, S. Petrovic, A. G  ntner, F. Barthelmes, J. W  nsch ve J. Kusche "Periodic components of water storage changes from GRACE and global hydrology models", *J. Geophys. Res.*, vol. 113. ,2008.
- [11] M. Chahine, "The hydrological cycle and its influence on climate" *Nature*, vol. 359, pp. 373–380, 1992.
- [12] M. Amjad, "Evaluating And Merging Model And Satellite-Based Precipitation Products Over Varying Climate And Topography", 2020.
- [13] S. Michaelides, F. Tymvios, T. Michaelidou, " Spatial and temporal characteristics of the annual rainfall frequency distribution in Cyprus", *Atmospheric Research* vol. 94, no. 4, pp. 606-615, 2009.
- [14] Y. Ma, Y. Zhang, D. Yang, S. Bin Farhan, "Precipitation bias variability

versus various gauges under different climatic conditions over the Third Pole Environment (TPE) region", *Int. J. Climatol.*, vol. 35, s. 1201–1211, 2015.

- [15] B. O. Akkoyunlu, H. Baltacı, M. Tayanç, " Atmospheric conditions of extreme precipitation events in western Turkey for the period 2006–2015", *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, vol. 19, s. 107–119, 2019.
- [16] A. AghaKouchak, A. Behrangi, S. Sorooshian, K. Hsu, E. Amitai, " Evaluation of satellite-retrieved extreme precipitation rates across the central United States", *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, vol. 116, 2011.
- [17] M. Zambrano-Bigiarini, A. Nauditt, C. Birkel, K. Verbist ve L. Ribbe, "Temporal and spatial evaluation of satellite-based rainfall estimates across the complex topographical and climatic gradients of Chile" *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, vol. 21, s. 1295–1320, 2017.
- [18] S. Chen, vd., "Evaluation of spatial errors of precipitation rates and types from TRMM spaceborne radar over the southern CONUS" *J. Hydrometeorol.*, vol. 14, no. 6, s. 1884–1896, 2013b.
- [19] B. Yong, B. Chen, J. J. Gourley, L. Ren, Y. Hong, X. Chen, W. Wang, S. Chen ve L. Gong, "Intercomparison of the Version-6 and Version-7 TMPA precipitation products over high and low latitudes basins with independent gauge networks: Is the newer version better in both real-time and post-real-time analysis for water resources and hydrologic extremes" *J. Hydrol.*, vol. 508, s. 77–87, 2014.
- [20] T. Zhao ve A. Yatagai, "Evaluation of TRMM 3B42 product using a new gauge-based analysis of daily precipitation over China", *Int. J. Climatol.*, vol. 34, no. 8, s. 2749–2762, 2013.
- [21] A. Serrat-Capdevila, M. Merino, J. B. Valdes, M. Durcik, "Evaluation of the Performance of Three Satellite Precipitation Products over Africa" *Remote Sens.*, vol. 8, s. 836, 2016.
- [22] V. Thiemig, R. Rojas, M. Zambrano-Bigiarini, V. Levizzani, A. De Roo, "Validation of Satellite-Based Precipitation Products over Sparsely Gauged African River Basins", *Journal of Hydrometeorology*, vol. 13, no. 6, s. 1760–1783. 2012.
- [23] Z. W. Chua, Y. Kuleshov, A. Watkins, "Evaluation of Satellite Precipitation Estimates over Australia", *Remote Sens.*, vol. 12, s. 678, 2020.
- [24] T. Islam, M. A. Rico-Ramirez, D. Han, P. K. Srivastava, A. M. Ishak, "Performance evaluation of the TRMM precipitation estimation using ground-based radars from the GPM validation network", *J. Atmos. Solar-Terrestrial Phys.*, vol. 77, s. 194–208, 2012.
- [25] C. Kidd, S. T. Piantadosi, R. N. Aslin, " The Goldilocks Effect: Human Infants Allocate Attention to Visual Sequences That Are Neither Too Simple Nor Too Complex", vol. 7, no. 5, 2012.

- [26] E. Sharifi, R. Steinacker, B. Saghafian, " Multi time-scale evaluation of high-resolution satellite-based precipitation products over northeast of Austria", *Atmospheric Research*, vol. 206, s. 46-63, 2018.
- [27] Yuan, F., Zhang, L., Wah Win, K.W., Ren, L., Zhao, C., Zhu, Y., Jiang, S., Liu, Y., "Assessment of GPM and TRMM multi-satellite precipitation products in streamflow simulations in a data sparse mountainous watershed in Myanmar", *Remote Sensing*, vol. 9, no. 3, 302, 2017.
- [28] Dinku, P. Ceccato, E. Grover-Kopec, M. Lemma, S. J. Connor & C. F. Ropelewski (2007) Validation of satellite rainfall products over East Africa's complex topography, *International Journal of Remote Sensing*, 28:7, 1503-1526,
- [29] A. Milewski, R. Elkadiri, M. Durham, "Assessment and Comparison of TMPA Satellite Precipitation Products in Varying Climatic and Topographic Regimes in Morocco", *Remote Sensing*, vol. 7, no. 5, 2015.
- [30] L. Huang, X. Shao, H. Liu, E. Liang, L. Wang, "The Effect of Solar Activity on Annual Precipitation in Delingha Region, Tibetan Plateau for the Last 1000 Years", *Advances in Geosciences*, vol. 2, no. 27, pp. 333-339, 2006.
- [31] S. Camici, L. Ciabatta, C. Massari, L. Brocca, " How reliable are satellite precipitation estimates for driving hydrological models: A verification study over the Mediterranean area", *Journal of Hydrology*, vol. 563, s. 950-961, 2018.
- [32] Z. Duan, J. Liu, Y. Tuo, G. Chiogna, M. Disse, " Evaluation of eight high spatial resolution gridded precipitation products in Adige Basin (Italy) at multiple temporal and spatial scales ", *Science of The Total Environment*, vol. 573, s. 1536-1553, 2016.
- [33] P.T. Nastos, J. Kapsomenakis, K. M. Philandras, "Evaluation of the TRMM 3B43 gridded precipitation estimates over Greece" *Atmospheric Research* vol. 169, pp. 497-514, 2016.
- [34] N. Hatzianastassiou, C. D. Papadimas, C. J. Lolis, A. Bartzokas, V. Levizzani, J. D. Pnevmatikos ve B. D. Katsoulis, "Spatial and temporal variability of precipitation over the Mediterranean Basin based on 32-year satellite Global Precipitation Climatology Project data. Part-II: inter-annual variability and trends", *Int. J. Climatol.*, vol. 36, pp. 4755-4766, 2016.
- [35] L. M. Castro, M. Miranda, B. Fernández, "Evaluation of TRMM multi-satellite precipitation analysis (TMPA) in a mountainous region of the central Andes range with a Mediterranean climate", *Hydrology Research*, vol. 46 (1), s. 89 –105, 2015.
- [36] F. L. Conti, K. Hsu, L. V. Noto, S. Sorooshian, " Evaluation and comparison of satellite precipitation estimates with reference to a local area in the Mediterranean Sea", *Atmospheric Research*, cilt 138, s. 189-204, 2014
- [37] D. Stampoulis, E. N. Anagnostou, " Evaluation of Global Satellite Rainfall

- Products over Continental Europe", *Journal of Hydrometeorology*, vol. 13, no. 2, pp. 588 - 603, 2013.
- [38] P. T. Nastos, N. Politi, J. Kapsomenakis, " Spatial and temporal variability of the Aridity Index in Greece", *Atmospheric Research*, cilt 119, s. 140-152.
 - [39] H. Feidas, "Validation of Satellite Rainfall Products over Greece", *Theoretical and Applied Climatology*, vol. 99, 193-216, 2010.
 - [40] Derin, Y., Yilmaz, K.K., "Evaluation of multiple satellite-based precipitation products over complex topography", *J. Hydrometeorol.*, vol. 15, s. 1498–1516, 2014.
 - [41] Derin, Y., Anagnostou, E., Berne, A., Borga, M., Boudevillain, B., Buytaert, W., Chang, C.-H., Delrieu, G., Hong, Y., Hsu, Y.C., Lavado-Casimiro, W., Manz, B., Moges, S., Nikolopoulos, E.I., Sahlu, D., Salerno, F., Rodríguez-Sánchez, J.-P., Vergara, H.J., Yilmaz, K.K., 2016. Multiregional satellite precipitation products evaluation over complex Terrain. *J. Hydrometeorol.* 17, 1817–1836.
 - [42] İ. Yücel, "Assessment of a flash flood event using different precipitation datasets", *Nat. Hazards*, vol. 79, s. 1889–1911, 2015.
 - [43] I. Yucel, R. J. Kuligowski, D. J. Gochis, " Evaluating the hydro-estimator satellite rainfall algorithm over a mountainous region", *International Journal of Remote Sensing*, vol. 32, vol. 22, pp. 7315-7342, 2011.
 - [44] Yucel, I., Onen, A., 2014. Evaluating a mesoscale atmosphere model and a satellite-based algorithm in estimating extreme rainfall events in northwestern Turkey. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 14, 611–624
 - [45] M. Amjad, M. T. Yılmaz, I. Yucel, K. K. Yılmaz, " Performance evaluation of satellite-and model-based precipitation products over varying climate and complex topography", *Journal of Hydrology*, vol. 584, pp. 124707, 2020.
 - [46] Dönmez, S., Tekeli, A.E. Comparison of TRMM-based flood indices for Gaziantep, Turkey. *Nat Hazards* 88, 821–834 (2017).
 - [47] T. Koç, C. İrdem, "Türkiye'de yağışların şiddet bakımından zamansal ve alansal değişkenliği", *Türk Coğrafya Dergisi* , 0 (49) , s.1-42, 2007.
 - [48] N. Balov, A. Altunkaynak, "Frequency analyses of extreme precipitation events in Western Black Sea Basin (Turkey) based on climate change projections", *Meteorol Appl.*, s. 26: 468– 482, 2019.
 - [49] A. Y. Sönmez, S. Kale, "Climate change effects on annual streamflow of Filyos River (Turkey)", *Journal of Water and Climate Change*, 11 (2): 420–433, 2020.
 - [50] İ. Dabanlı, Z. Şen, "Precipitation projections under GCMs perspective and Turkish Water Foundation (TWF) statistical downscaling model procedures." *Theor Appl Climatol*, vol. 132, s. 153–166, 2018.

- [51] M. Dikici, "Drought analysis with different indices for the Asi Basin (Turkey)". *Sci Rep* 10, 20739, 2020.
- [52] S. Sensoy, " The Mountains Influence On Turkey Climate ", 2004.
- [53] Turkes, M., Turp, M.T., An, N., Ozturk, T., Kurnaz, M.L. (2020). Impacts of Climate Change on Precipitation Climatology and Variability in Turkey. In: Harmancioglu, N., Altinbilek, D. (eds) *Water Resources of Turkey*. World Water Resources, vol 2.
- [54] I. Strangways, "Precipitation: Theory, Measurement and Distribution ", 2006.
- [55] B. O. Akkoyunlu, H. Baltacı, M. Tayanç, " Atmospheric conditions of extreme precipitation events in western Turkey for the period 2006–2015", *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, vol. 19, s. 107–119, 2019.
- [56] A. G. Awadallah ve N. S. Younan, "Conservative Design Rainfall Distribution for Application in Arid Re- gions with Sparse Data," *Journal of Arid Environments*, vol. 79, pp. 66-75, 2012.
- [57] G. J. Huffman, R. F. Adler, M. Morrissey, "Global Precipitation at One-Degree Daily Resolution from Multi-Satellite Observations." *J. Hydrometeor.*, vol. 2, no. 1, s. 36-50, 2001.
- [58] G. J. Huffman, R. F. Adler, D. T. Bolvin, "The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-Global, Multiyear, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scales." *J. Hydrometeor.*, vol. 8, no. 1, s. 38-55, 2007.
- [59] G. J. Huffman, R. F. Adler, D. T. Bolvin, ve E. J. Nelkin, "The TRMM Multi-Satellite Precipitation Analysis (TMPA) (Chapter 1)." *Satellite Rainfall Applications for Surface Hydrology*, s. 3-22, 2010.
- [60] M. Grecu, D. T. Bolvin, " The Tropical Rainfall Measuring Mission", *Remote Sensing of Clouds and Precipitation*, s.155-174, 2018.
- [61] E. Maturi, A. Harris, C. Merchant, J. Mittaz, B. Potash, W. Meng, and J. Sapper, "NOAA's Sea Surface Temperature Products From Operational Geostationary Satellites", *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, vol. 89, s. 1877–1888, 2008.
- [62] F. Kogan, W. Guo, A. Strashnaia ,A. Kleshenko, O. Chub, O. Virchenko, "Modelling and prediction of crop losses from NOAA polar-orbiting operational satellites", *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, vol. 7, no. 3, s. 886-900, 2015.
- [63] C. Kidd ve V. Levizzani, " Status of satellite precipitation retrievals", *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, vol. 15, s. 1109–1116, 2011.
- [64] P. A. Arkin, " The Relationship between Fractional Coverage of High Cloud and Rainfall Accumulations during GATE over the B-Scale Array", *Monthly Weather Review*, vol. 107, s. 1382-1387, 1979.

- [65] P.A. Arkin, B.N. Meisner, "The Relationship between Large-Scale Convective Rainfall and Cold Cloud over the Western Hemisphere during 1982-84", *Monthly Weather Review*, vol. 115, no. 1, pp. 51-74, 1987.
- [66] S. Lovejoy, G. L. Austin, "The Sources of Error in Rain Amount Estimating Schemes from GOES Visible and IR Satellite Data", *Monthly Weather Review*, vol. 107, no. 8, pp. 1048-1054, 1979.
- [67] A. Bellon, S. Lovejoy, G.L. Austin, "Combining Satellite and Radar Data for the Short-Range Forecasting of Precipitation", *Monthly Weather Review*, vol. 108, no. 10, pp. 1554-1566, 1980.
- [68] V. Levizzani, R. Amorati, F. Meneguzzo, "A review of satellite-based rainfall estimation methods", European Commission Project MUSIC Report (EVK1-CT-2000-00058), cilt. 66, 2002.
- [69] C. Kummerow, L. Giglio, "A passive microwave technique for estimating rainfall and vertical structure information from space. Part I: Algorithm description", *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, vol. 33, no. 1, pp. 3-18, 1994a.
- [70] C. Kummerow, L. Giglio, " A passive microwave technique for estimating rainfall and vertical structure information from space. Part II: Applications to SSM/I data ", *Journal of Applied Meteorology*, pp. 19-34, 1994b.
- [71] C. Kummerow, E. Smith, J. Halverson, " Retrieved vertical profiles of latent heat release using TRMM rainfall products for February 1998", *Journal of Applied Meteorology*, vol. 40, pp. 1520-0450, 2001.
- [72] H. Wang, K. J. Ha, A. Kumar, W. Wang, " A Statistical Forecast Model for Atlantic Seasonal Hurricane Activity Based on the NCEP Dynamical Seasonal Forecast", *Journal of Climate* vol. 22, no. 17, s. 4481-4500, 2009.
- [73] R. J. Joyce, J. E. Janowiak, P. A. Arkin, P. Xie (2004). "CMORPH: A Method that Produces Global Precipitation Estimates from Passive Microwave and Infrared Data at High Spatial and Temporal Resolution", *Journal of Hydrometeorology*, vol. 5, no. 3, pp.487-503, 2004.
- [74] K. Aonashi, ve Coauthors, "GSMaP passive microwave precipitation retrieval algorithm: Algorithm description and validation", *J. Meteor. Soc. Japan*, vol. 87A , pp. 119–136, 2009.
- [75] S. Sorooshian, K. Hsu, X. Gao, H. V. Gupta, B. Imam & D. Braithwaite, "Evaluation of PERSIANN System Satellite-Based Estimates of Tropical Rainfall", *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 81, no. 9, pp. 2035-2046, 2000.
- [76] K. K. Yilmaz, T. S. Hogue, K. Hsu, S. Sorooshian, H. V. Gupta, T. Wagener, " Intercomparison of rain gauge, radar, and satellite-based precipitation estimates with emphasis on hydrologic forecasting", cilt. 6, no. 4, s. 497-517, 2005.

- [77] B. Su, M. Gemmer, T. Jiang, " Spatial and temporal variation of extreme precipitation over the Yangtze River Basin", *Quaternary International*, vol. 186, no. 1, s. 22-31, 2008.
- [78] V. Thiemig, R. Rojas, M. Zambrano-Bigiarini, A. D. Roo, "Hydrological evaluation of satellite-based rainfall estimates over the Volta and Baro-Akobo Basin", *Journal of Hydrology*, vol. 499, pp. 324-338, 2013.

ÖZGEÇMİŞ

Tuba Nur TONYALI, Lisans derecesini Karadeniz Teknik Üniversitesi Harita Mühendisliği Bölümünü 2019 yılında tamamladı. Yüksek Lisans eğitimine Karadeniz Teknik Üniversitesi Harita Mühendisliği Bölümünde başlamış olup 2021 yılı Ocak ayında yatay geçiş ile Gebze Teknik Üniversitesi Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü'ne yüksek lisans eğitimine devam edip aynı dönemde Araştırma Görevlisi olarak atandı. 2022 yılı itibarı ile Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğünde Harita Mühendisi olarak görevine devam etmektedir.

EKLER

Ek A: Tez Çalışması Kapsamında Yapılan Yayınlar

Tonyalı, T., Baltacı, H., (2021). Comparison of Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Multi-Satellite Precipitation Analysis (TMPA) Products with Gauge-Based Data over Turkey. 3rd International Environmental Chemistry (EnviroChem) Congress, 01-04/11/2021, Antalya.