

Üçlü Eşleştirme Yöntemi ile Uydu ve Hidrolojik Model Kaynaklı Toprak Nemi Değerlerinin Hata Oranlarının Bulunması

M. Tuğrul YILMAZ*¹

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara

Geliş tarihi: 22.01.2016

Kabul tarihi: 03.05.2016

Özet

Toprak neminin iklim, taşkın, kuraklık ve rekolte gibi birçok çalışmada çok kritik bir öneme sahip olmasına karşın, toprak nemi ile alakalı çalışmalar ülkemizde çok kısıtlı kalmıştır. Hidrolojik model ve uydu verisi gibi değişik kaynaklardan elde edilen toprak nemi değerlerinin birleştirilerek daha iyi veri elde edilmesi, ancak bu verilerin hata oranlarının belirlenmesi ile mümkündür. Toprak nemi son yıllarda bilhassa hidroloji kaynaklı çalışmalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Buna karşın üçlü eşleştirme tekniği kullanılarak veri setlerinin hata oranları ülkemizi çalışma sahası olarak alan bir çalışmada henüz elde edilmemiştir. Bu çalışmada NOAA hidroloji modeli ile LPRM ve ASCAT uydu verileri kaynaklı günlük toprak nemi değerlerinin hata oranları ülkemizin bitki örtüsünün dağılımını kapsayacak şekilde 10 alan üzerinde, 2007-2011 yılları verileri kıyaslanarak elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar NOAA hidroloji verilerinin LPRM ve ASCAT verilerine kıyasla ortalama olarak daha az hata içerdiğini ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Toprak nemi, Üçlü eşleştirme, Uzaktan algılama, Hidrolojik modelleme

Estimation of the Errors of Remote Sensing and Hydrological Model-Based Soil Moisture Values Using Triple Collocation

Abstract

Only limited studies in Turkey have focused their attention on soil moisture even though it has a key role in climate, flood, drought and agricultural yield related studies. Estimation of soil moisture product obtained via merging of hydrological model- and remote sensing-based soil moisture data sets is only possible if the errors of the merged products are estimated. Triple collocation methodology has been used in many hydrological studies, yet estimation of soil moisture product errors over Turkey has not been implemented before. In this study, errors of NOAA hydrological model-based and LPRM and ASCAT remote sensing-based soil moisture products are found between 2007-2011 over 10 locations that are considered to have different vegetation covers over Turkey. Results show NOAA hydrological model based soil moisture products have smaller errors on average compared to LPRM and ASCAT products for these 10 locations.

Keywords: Soil moisture, Triple collocation, Remote sensing, Hydrological modeling

* Yazışmaların yapılacağı yazar: M. Tuğrul YILMAZ, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara.*
tuyilmaz@metu.edu.tr

1. GİRİŞ

Taşkın, iklim, kuraklık, su ve enerji döngüsü, hava tahmini gibi birçok konuda çok kritik bir veri olmasından ötürü, toprak nemi Dünya Meteoroloji Örgütü tarafından dünyanın iklimini doğru olarak karakterize etmek için gerekli temel değişkenler olan “Temel İklim Değişkenleri” listesine eklenmiştir [1]. Birçok çalışma için çok önemli olmasına rağmen maalesef günümüze kadar ülkemizde toprak nemi ile ilgili yapılan çalışmalar istenilen düzeyde değildir [2-6].

Değişik yöntemlerle toprak nemi gözlemlerini elde etmek mümkündür. Bunların arasında istasyonlarda yapılan ölçümler, belirli miktarda ölçüm hataları içermesi ve geniş alanları temsil yetersizliğine sahip olmasına rağmen en doğru veriler olarak kabul edilmektedir. Fakat istasyonların kurulum ve işletim maliyetlerinden ve bakım zorluklarından dolayı, istasyonlar geniş alanlar üzerinde yüksek doğrulukta toprak nemi değerleri elde etmede tercih edilmemektedir.

Öte yandan hidrolojik model simülasyonları ve uydu verileri aracılığıyla da toprak nemi verileri elde etmek mümkündür. Geniş alanları temsil etmeleri bakımından bu verilerin çok kritik kullanım alanları vardır. Fakat bu veriler de kendi doğaları gereği bazı noksanlıklar içermektedir. Hidrolojik modeller yüksek çözünürlüklü atmosferik girdilerine, toprak ve bitki ile ilgili parametrelere ihtiyaç duymaktadır. Düşük doğrulukta elde edilecek bu girdi ve parametreler, simülasyon sonuçlarının da düşük doğrulukta olmasına yol açmaktadırlar. Benzer şekilde uydu verileri de elektromagnetik radyasyonun elde edilme yöntemine ve radyasyon transfer algoritmalarının gerçekleri doğru bir şekilde modelleyebilme yeteneklerine bağlı olarak hata içermektedirler.

Hata içermelerine rağmen bu ürünler birçok uygulamada sıklıkla kullanılmaktadırlar. Bu uygulamaların içinde en yaygın olarak kullanılanlarının başında kuşkusuz veri asimilasyonu uygulamaları gelmektedir. Veri asimilasyonu çalışmalarında, gözlemler (örneğin uydu kaynaklı toprak nemi) modellerle birleştirilir

ve doğruluğu modellerden ve gözlemlerden daha yüksek ürün elde edilir. Fakat hem modellerin hem de uydu verilerinin hata oranlarının bilinmesi bu tarz çalışmalar için çok kritik bir öneme sahiptir.

AQUA uydusu üzerinde bulunan Advanced Microwave Scanning Radiometer-Earth Observing System (AMSR-E) sensörü ile mikrodalga bandında pasif uzaktan algılama yöntemiyle gözlemler yapılmaktadır. Bu gözlemlerin girdi olarak kullanıldığı Land Parameter Retrieval Model (LPRM) algoritması [7-8] ile toprak nemi ürünü 2002 yılından 2011 yılına kadar Vrije Üniversitesi Amsterdam (VUA) bünyesinde üretilmiştir. Benzer şekilde METOP-A uydusunun üzerinde bulunan Advanced Scatterometer (ASCAT) gözlemlerine dayalı uydu kaynaklı toprak nemi değerleri 2007 yılından günümüze kadar mevcuttur. NOAA yer yüzü modelinden [9] elde edilen toprak nemi simülasyonları küresel olarak 2000 yılından günümüze kadar mevcuttur. Fakat LPRM, ASCAT ve NOAA toprak nemi verilerini birleştirmeyi amaçlayan veri asimilasyonu gibi metodlardan optimum sonuçlar elde edebilmek için, bu verilerin hata oranlarına mutlak derecede ihtiyaç duyulmaktadır.

Uydu ve hidrolojik model kaynaklı verilerin hata oranları, yer gözlemleri ile doğrudan karşılaştırılarak kolayca bulunabilmektedir [10-12]. Fakat ülkemizde bulunan istasyon kaynaklı toprak nemi gözlemlerinin henüz kalibrasyonları yapılmadığı için, bu verilerin uydu ve hidrolojik model kaynaklı verilerin hata oranlarının elde edilmesinde kullanılması sağlıklı sonuçlar vermemektedir. Öte yandan, çıkış noktası olarak okyanus bilimi ile alakalı bir çalışma için önerilmiş [13] fakat daha sonra hidroloji alanında çok geniş kullanım alanı bulmuş [14-17] olan üçlü eşleştirme tekniği, birbirinden bağımsız üç verinin ayrı ayrı hata oranlarının, hiçbir veri setinin diğerlerinden daha doğru olduğu kabul edilmeden bulunmasını sağlamaktadır. Bu yöntem sayesinde uydu ve hidrolojik model kaynaklı verilerin hepsinin hata varyansları bulunabilmektedir.

Bu çalışmanın amacı, ülkemizde bilginiz dahilinde şu ana kadar herhangi bir çalışmada uygulanmamış olan üçlü eşleştirme yöntemi

kullanılarak, ülkemiz üzerinde değişik bitki örtülerini kapsayacak şekilde 10 hücrenin üzerinde LPRM, ASCAT ve NOAH verilerinin hata oranlarını elde etmektir. Elde edilecek bulgular, uydu verilerinin ülkemiz üzerinde değişik alanlardaki doğruluk oranlarının bulunması ve bu verilerin başta veri asimilasyonu olmak üzere diğer çalışmalarda kullanılabilirliğinin ortaya konulması açısından kritik öneme sahiptir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Üçlü Eşleştirme

Üçlü eşleştirme (İngilizce “triple collocation”) yöntemi aynı parametreye işaret eden, birbirinden bağımsız ve doğrusal olarak ilişkili üç veri setinin hata varyanslarının bulunmasına yarayan bir yöntemdir. İlk olarak okyanus bilimi ile ilgili çalışmalarda ortaya atılan [13] bu yöntem, zamanla hidroloji alanında popülerlik kazanmış ve birçok çalışmada uygulanmıştır [14-17].

Bu yöntem ilk olarak üç veri setinin birbirine ölçeklendirilmesini gerektirir:

$$c_y = \frac{x'z'}{y'z'} \quad (1)$$

$$c_z = \frac{x'y'}{z'y'} \quad (2)$$

Bu denklemlerde x , y ve z birbirinden bağımsız üç veri setidir, c_y ve c_z sırası ile y ve z veri setlerinin x referans veri setine doğrusal ölçeklendirme katsayılarıdır ve “'” işareti ise bu veri setlerinin uzun süreli ortalamalarının çıkarılması ile elde edilen anomalilere karşılık gelmektedir. Denklem (1) ve (2) ile elde edilen c_y ve c_z ölçeklendirme katsayıları kullanılarak aşağıdaki denklem sayesinde y ve z verileri referans veri setine ölçeklendirilmektedir.

$$y^* = c_y y' \quad (3)$$

$$z^* = c_z z' \quad (4)$$

Bu denklemlerde y^* ve z^* sırası ile

ölçeklendirilmiş y ve z anomali veri setlerine karşılık gelmektedir. Bu anomali veri setlerinin daha sonra Eşitlik 5-7’de kullanılmasıyla veri setlerinin hata varyansları ayrı ayrı bulunmaktadır.

$$\sigma_x^2 = \overline{(x - y^*)(x - z^*)} \quad (5)$$

$$\sigma_y^2 = \overline{(y^* - x)(y^* - z^*)} \quad (6)$$

$$\sigma_z^2 = \overline{(z^* - x)(z^* - y^*)} \quad (7)$$

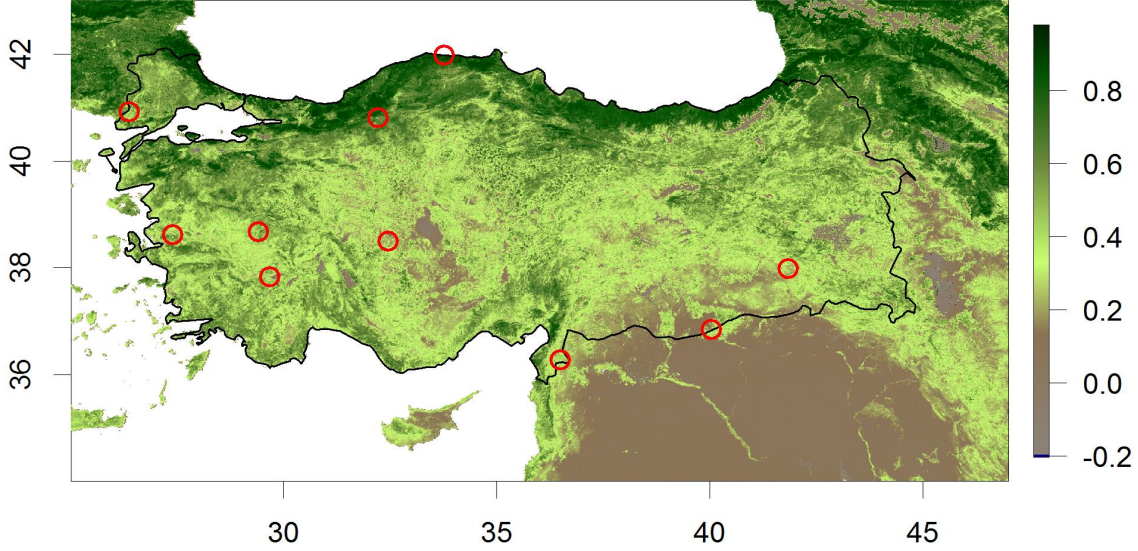
Bu denklemlerde σ_x^2 , σ_y^2 ve σ_z^2 değerleri sırası ile x , y^* ve z^* veri setlerinin hata varyans oranını temsil etmekte ve üst çizgi işareti ise zamansal veya mekansal olarak ortalama alma işaretidir.

2.2. Uydu ve Model Verileri

2.2.1. MODIS Uydu Kaynaklı Bitki İndisi

Üçlü eşleştirme metodu ile LPRM, NOAH, ve ASCAT verilerinin hataları Türkiye üzerinde elde edilmiştir. Çalışma alanı olarak değişik yeşillikteki bölgeleri kapsayacak şekilde rastgele seçilmiş 10 bölgede kullanılmıştır. Bu 10 bölgenin bitki örtüsü dağılımı MODIS MOD13A2 Normalleştirilmiş Fark Bitki İndeksi (NDVI, Normalized Difference Vegetation Index) ürünü [23] kullanılarak Şekil 1 üzerinde gösterilmiştir. MOD13A2 ürünün mekansal çözünürlüğü 1 km olup zamansal çözünürlüğü ise 16 gündür. 2008 yılına ait toplam 23 NDVI haritasının ortalaması ve çalışmanın gerçekleştirildiği 10 çalışma alanı Şekil 1’de gösterilmektedir. Bu çalışma alanlarının koordinatları ve yükseklikleri Çizelge 1’de verilmektedir.

NOAH, LPRM ve ASCAT verilerinin hata oranları üçlü eşleştirme yöntemiyle bulunmuştur. Bu üç verinin mekansal çözünürlüklerinin $0,25^\circ$ olduğundan, tüm Türkiye üzerinde toplam 1428 hücre üzerinde bu üçlü eşleştirme metodu potansiyel olarak uygulanabilir. Fakat bu 1428 hücrenin teker teker incelenmesi mümkün olmadığından bu çalışmada hata oranları örnek olarak rastgele seçilen 10 hücre üzerinde elde edilmiştir.



Şekil 1. Çalışmanın gerçekleştirildiği 10 bölgenin Normalleştirilmiş Fark Bitki İndeksi (NDVI) yeşillik haritasının üzerindeki konumu.

Çizelge 1. Çalışma alanlarının koordinatları ve deniz seviyesinden yüksekliği

İl/İlçe	Enlem	Boylam	Rakım
Bolu Gerede	40,805	32,218	1270
Denizli Çardak	37,825	29,668	869
Edirne İpsala	40,917	26,380	10
Hatay Reyhanlı	36,267	36,495	62
Kastamonu İnebolu	41,979	33,764	64
Konya Sarayönü	38,492	32,456	111
Manisa Merkez	38,615	27,405	71
Şanlıurfa Ceylanpınar	36,841	40,031	360
Siirt Merkez	37,978	41,842	612
Uşak Merkez	38,671	29,404	919

2.2.2. NOAH Modeli Kaynaklı Toprak Nemi

Hidrolojik modeller atmosferik verilerin kullanımı ile yeryüzündeki su ve enerji dengesini çözerek karasal birçok değişkenin simülasyonunu

amaçlamaktadır. Kullanılan girdiler temel olarak yağış, radyasyon (gelen ve giden), hava sıcaklığı, rüzgar, hava nemi ve hava basıncıdır. Simülasyonu yapılan değişkenlerin arasında toprak nemi ve sıcaklığı, akım, buharlaşma, terleme ve hissedilebilir sıcaklık bulunmaktadır. Bu simülasyonların yapılabilmesi için atmosferik veriler kadar bitki ve toprak ile ilgili birçok parametrenin de hidrolojik modele girdi olarak verilmesi gereklidir.

Bu çalışmada, bu prensipler üzerine kurulu NOAH hidrolojik modeli [10] kullanılmıştır. Mekansal çözünürlüğü 0,25° ve zamansal çözünürlüğü 1 saat olan toprak nemi simülasyonları, NASA Earth Sciences Division tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu verilerin dağıtımını ise Goddard Earth Sciences (GES) Data and Information Services Center (DISC) yapmaktadır. Bu çalışmada, 0,25° çözünürlükteki toprak nemi değerleri, saatlik değerlerden günlük ortalama değerlere dönüştürülerek kullanılmıştır.

2.2.3. LPRM Uydu Kaynaklı Toprak Nemi

Uydu kaynaklı veriler, radyasyon kaynaklarına göre aktif ve pasif olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Pasif uzaktan algılama yöntemleri radyasyon kaynağı olarak güneşi kullanırken aktif uzaktan algılama yöntemleri kendi ürettikleri radyasyonu hedefe göndererek hedeften geri saçılan radyasyon şiddetinin değişkenlerin elde edilmesinde kullanılmaktadırlar. 2002 yılından 2011 yılına kadar AQUA uydusu üzerinde bulunan AMSR-E sensörü vasıtasıyla yapılan gözlemlere dayanan toprak nemi değerleri, kuşkusuz bu alanda en sık kullanılan gözlemlerden birisidir. Bu gözlemler VUA tarafından uygulanan tek tabakalı modele dayanan radyasyon transfer denklemleri ile $0,25^\circ$ mekansal ve 1 günlük zamansal çözünürlükteki LPRM toprak nemi değerlerine dönüştürülmüştür [8-9]. Bu verilerin analizleri şu ana kadar birçok çalışmada yapılmıştır [20-22]. Bu çalışmada kullanılan alçalan C- ve X-bandı pasif mikrodalga ölçümlerine dayanan gözlemlerden elde edilen LPRM verileri, VUA tarafından sağlanmıştır.

2.2.4. ASCAT Uydu Kaynaklı Toprak Nemi

METOP uydusuna bağlı olan ASCAT sensörünün aktif uzaktan algılama yöntemiyle elde ettiği uydu kaynaklı ASCAT toprak nemi ürünü, LPRM verisinden sonra en çok kullanılan uydu kaynaklı veriler arasındadır [21]. Suya doyma oranı temelli olan toprak nemi ürünü %0 ile %100 arasında değişmektedir. Mekansal çözünürlüğü 25 km ve zamansal çözünürlüğü 1 gün olan bu ürün, 5,255 GHz (C-band) radar gözlemleri vasıtasıyla Vienna University of Technology tarafından elde edilmektedir. Bu yöntem doyma oranları ile geri saçılım değerleri arasında kuvvetli bir ilişki olduğu varsayımı üzerine kuruludur ve aradaki değişimler için doğrusal interpolasyon yapılarak toprak nemi değerleri bulunmaktadır. ASCAT kaynaklı toprak nemi değerlerinin diğer toprak nemi değerleri ile karşılaştırılması şu ana kadar birçok çalışmada yapılmıştır [18, 19]. Bu ürün için ayrıntılı bilgi [20, 21] çalışmalarında mevcuttur.

2.3. Verilerin İşlenmesi

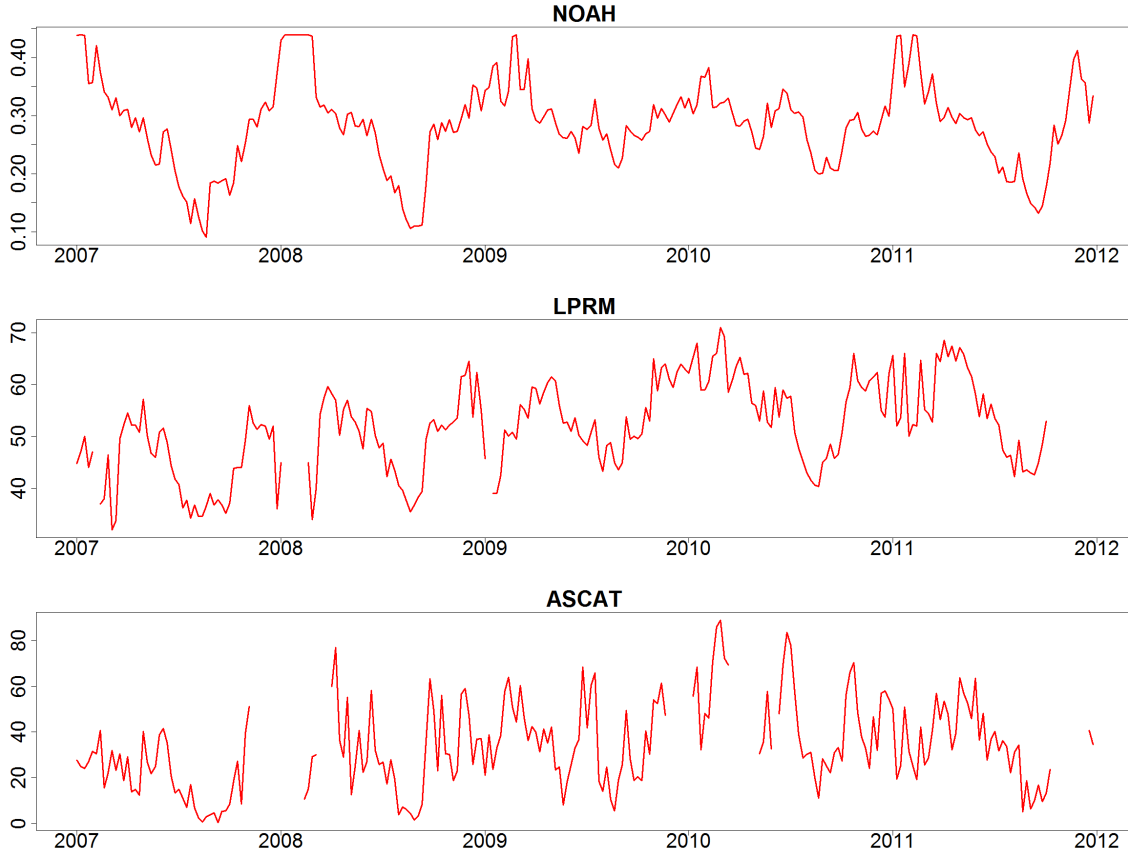
Model ve uzaktan algılama verileri 2007 ve 2011 yılları arasında çalışmanın gerçekleştirildiği 10 alana (Çizelge 1) en yakın hücrelerden elde edilmiştir. Günlük olarak elde edilen bu veriler zaman serisi olarak gösterilmek amaçlı haftalık

değerlere çevrilmiştir. Elde edilen günlük ve haftalık ham veriler daha sonra standartlaştırılarak (veri setlerinden 5 yıllık ortalamaları çıkarılıp standart sapmalarına bölünerek) bu verilerin kurak ve ıslak dönemlerdeki toprak nemi şiddetleri objektif bir şekilde karşılaştırılmıştır. Daha sonra günlük standartlaştırılmış ham toprak nemi verilerinin hata oranları üçlü eşleştirme yöntemi ile bulunmuştur.

Üçlü eşleştirme yönteminde kullanılmadan önce verilerin birbirleriyle olan korelasyonları hesaplanmıştır. Birbirleriyle yüksek korelasyon gösteren ürünler, bu tutarlı ilişkinin gerçek veri sinyalinin kaynaklanacağı göz önünde bulundurulduğunda, genel olarak daha yüksek doğrulukta bir ürünü temsil ederler. Burada verilerin sinyal ve gürültü kısımlarından oluştuğu, veriler arasında bulunan doğrusal ilişkinin bu verilerin gürültü kısımlarından kaynaklanmadığını ve bu tutarlılığın verilerin sinyallerinin arasındaki ilişkiden kaynaklandığı göz önünde bulundurulmuştur.

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

NOAH hidrolojik modelinden ve uydu verilerinden elde edilen ham toprak nemi değerleri Şekil 2'de görülmektedir. Bu verilerde ortak sinyal (örneğin mevsimsel değişimler ve yağış olaylarına karşı artan toprak nemi değerleri) gözlemlenmesine karşın bu veri setlerinin karakteristik özellikleri de bulunmaktadır. Bu verilerin dinamik değişkenliği aynı değildir: örneğin NOAH verileri genel itibarıyla 0 ve 0,50 değerleri arasında değişirken LPRM ve ASCAT genel itibarıyla 0 ve 100 arasında değişmektedir. Tüm veri setlerinde düşük değerler kurak koşullara karşılık gelirken yüksek değerler ise çok daha ıslak olaylar ile ilişkilendirilmektedir. Elde edilen toprak nemi değerlerinin veri asimilasyonu gibi birleştirme esaslı çalışmalarda kullanılabilmesi için bu farklılıkların ortadan kaldırılması gereklidir. Bu aşamadan önce bu verilerin gerçek toprak nemi değerlerini ne derece yansıttığının daha iyi anlaşılabilmesi gereklidir. Veri setleri arasında yapılacak çapraz korelasyon karşılaştırmaları (Çizelge 2) bu anlamda veri setleri hakkında daha ayrıntılı bilgi vermektedir.



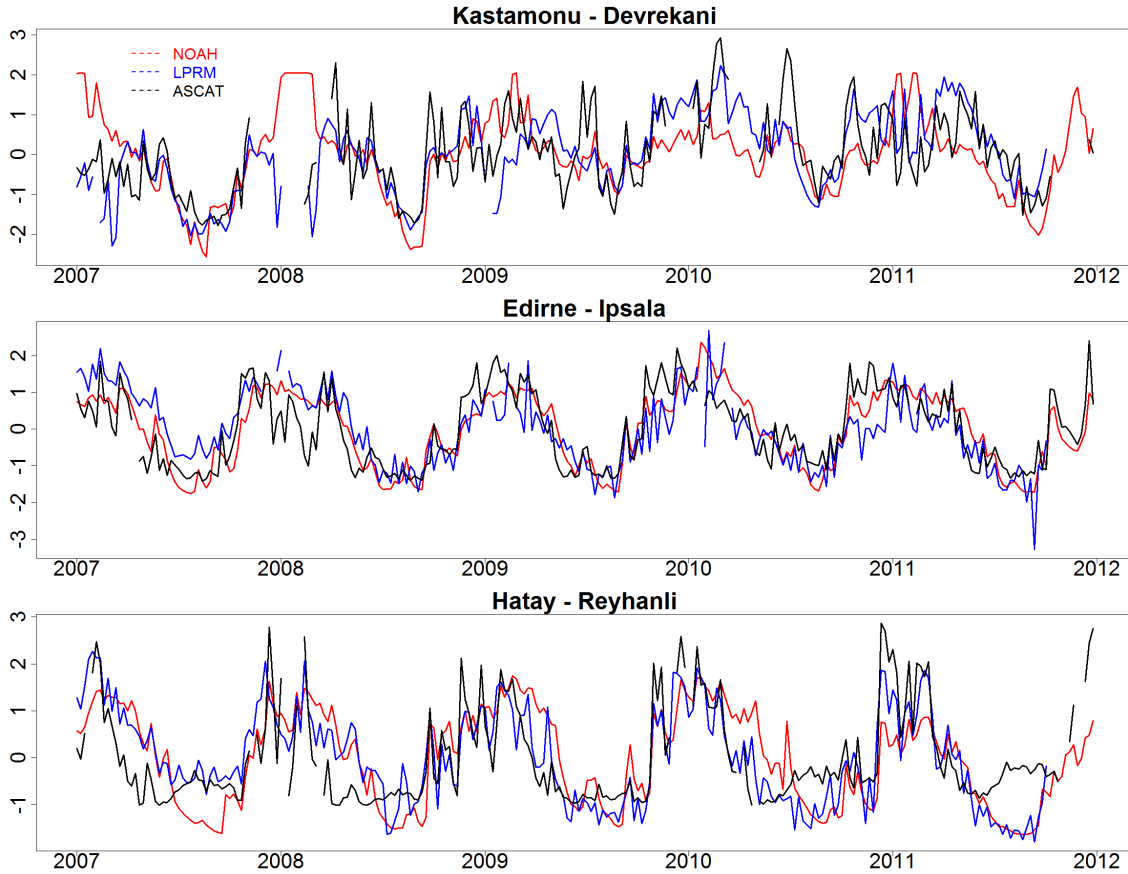
Şekil 2. Çalışmanın gerçekleştirildiği Kastamonu-Devrekani alanında NOAH hidrolojik modelinden ve LPRM ve ASCAT uydu verilerinden elde edilen ham toprak nemi değerlerinin değişim.

Elde edilen üç veri arasından diğer iki veri ile en yüksek korelasyonu veren verinin daha doğru sinyale sahip olduğu varsayılabilir. Örneğin Edirne İpsala üzerinde ASCAT-NOAH korelasyonunun LPRM-NOAH korelasyonundan daha yüksek olması, ASCAT verisinin LPRM verisine göre daha doğru olduğu (daha düşük hata oranının olduğu) ya da ASCAT ve NOAH verilerinin ortak sinyallerinin LPRM ve NOAH verilerinin ortak sinyallerine kıyasla daha fazla olduğu anlamına gelmektedir. Çizelge 2'deki korelasyon değerlerinin hepsinin ortalaması alındığında NOAH ve LPRM verilerinin ortalama çapraz korelasyonlarının ASCAT'ın ortalama çapraz korelasyonlarından daha yüksek olması ortalama olarak NOAH ve LPRM verilerinin ASCAT

verisinden daha iyi toprak nemi verisini yansıttığını ve NOAH ve LPRM verilerinin ortalama olarak birbirlerine çok yakın performansın olduğunu göstermektedir.

Toprak nemi değerlerinin hata oranlarının üçlü eşleştirme ile bulunmasından önce, verilerin zaman serisi bakımından birbirleriyle ne derecede ilişkili olduğunu anlamak için veriler öncelikle standartlaştırılmıştır.

Haftalık zaman serilerinin gösterildiği Şekil 3'te NOAH, LPRM ve ASCAT verilerinin genel itibarıyla kış aylarında benzer ıslak değerleri gösterdiği ve yaz aylarında ise benzer kurak değerleri gösterdiği görülmektedir.



Şekil 3. Çalışmanın gerçekleştirildiği üç alanda NOAH hidrolojik modelinden ve LPRM ve ASCAT uydu verilerinden elde edilen normalize edilmiş toprak nemi değerlerinin değişimi.

Çizelge 2'deki veri setleri arasındaki farklılıkların doğrusal ölçeklendirme yöntemi ile giderilmiş olması, bu veri setlerinin birbirleriyle anlamlı bir şekilde karşılaştırılmadan önce mutlaka ölçeklendirilmeleri gerektiğini (Şekil 3) ortaya koymaktadır.

Çapraz korelasyon karşılaştırmalarından sonra uygulanan üçlü eşleştirme yöntemi ile elde edilmiş olan hata standart sapmaları Çizelge 2'de sunulmaktadır. Burada standart sapmalar Eşitlik 5-7'de bulunan varyans değerlerinin karekökünü alınmasıyla elde edilmiştir. Ortalama NOAH ve LPRM verilerinin hata standart sapmalarının ASCAT verisinden daha düşük

olması bu iki veri setinin ASCAT verisinden daha doğru toprak nemi değerlerini gösterdiği anlamına gelmekte ve benzer şekilde çapraz korelasyon sonuçlarını desteklemektedir. NOAH ve LPRM'in ASCAT'tan daha iyi sonuç vermesi genel sonucuna Bolu Gerede çalışma alanı istisna olarak gösterilebilir: bu alan üzerinde ASCAT toprak nemi değerlerinin hata standart sapmaları NOAH ve LPRM verilerinin standart sapmalarından daha düşük ve ASCAT verilerinin LPRM ve NOAH ile olan korelasyonları ise daha yüksektir. Bu durumun sebebi Bolu üzerinde LPRM ve NOAH toprak neminin hatalarının kullandıkları bitki ve/veya toprak ile ilgili parametrelerin doğru olmamasından kaynaklanıyor olabilir. Bu durum

Çizelge 2. 2007–2011 yılları arası elde edilen günlük toprak nemi değerlerinin korelasyonları ve normalize edilmiş günlük değerlerinin üçlü eşleştirme yöntemiyle bulunan hata standart sapmaları

Hücre Konumu	Çapraz Korelasyon (ρ)			Hata Standart Sapması (σ)		
	NOAH-LPRM	NOAH-ASCAT	LPRM-ASCAT	NOAH	LPRM	ASCAT
Bolu Gerede	0,31	0,40	0,45	0,77	0,52	0,30
Denizli - Çardak	0,65	0,56	0,52	0,25	0,45	0,95
Edirne İpsala	0,66	0,78	0,58	0,05	0,91	0,43
Hatay Reyhanlı	0,63	0,61	0,57	0,31	0,46	0,60
Kastamonu İnebolu	0,65	0,34	0,47	0,44	0,53	0,69
Konya Sarayönü	0,64	0,43	0,67	0,80	0,07	0,46
Manisa Merkez	0,73	0,68	0,63	0,19	0,37	0,63
Şanlıurfa Ceylanpınar	0,83	0,70	0,70	0,16	0,14	0,64
Siirt Merkez	0,82	0,66	0,68	0,15	0,21	0,67
Uşak Merkez	0,74	0,71	0,68	0,20	0,32	0,46
ORTALAMA	0,67	0,59	0,60	0,33	0,40	0,58

bağımsız bir şekilde elde edilen toprak nemi hata oranları ile karşılaştırılarak doğrulanabilir. Bu tip bir doğrulama Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün Batı Mesonet olarak adlandırıldığı 206 istasyona [24] yerleştirilen toprak nemi sensörleri aracılığıyla elde edilen toprak nemi değerleri ile doğrulanabilir. Fakat bu verilerin henüz kalibrasyonları yapılmamış olduğundan bu tür bir doğrulama bu çalışmada yapılmamıştır. Bolu gibi Konya üzerinde de NOAH modelinin hata oranları yüksek çıkmıştır. Benzer şekilde bu alanda bu modelin iyi sonuç vermemiş olması bitki ve toprak kaynaklı parametrelerin bu alanda modele yüksek doğrulukta girilmemesinden kaynaklanıyor olabilir.

4. SONUÇ

Ülkemiz üzerindeki çalışmalarda şu ana kadar bilgimiz dahilinde uygulanmamış olan üçlü

eşleştirme yöntemi, toprak nemi değerlerinin hata oranlarını bulma odaklı olan bu çalışmada uygulanmıştır. NOAH, LPRM ve ASCAT toprak nemi veri setlerinin hata standart sapmaları bu çalışmada hesaplanmıştır.

Genel itibariyle NOAH hidrolojik model kaynaklı veri setinin LPRM ve ASCAT uydu kaynaklı veri setlerinden daha doğru sonuçlar verdiği bu çalışma, üçlü eşleştirme yönteminin yeni çalışmalarda kullanımının artması, hidrolojik model ve uydu verilerinin ülkemiz üzerindeki çalışmalarda uygulamalarının artması ve kullanılan toprak nemi değerlerinin veri asimilasyonu gibi uygulamalara temel olması açısından gelecek çalışmalara ışık tutmaktadır.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK 114Y676 nolu proje ile desteklenmiştir.

6. KAYNAKLAR

1. GCOS. Implementation Plan for the Global Observing System for Climate in Support of the UNFCCC (2010 update). WMO GCOS Tech. Doc. GCOS-138 WMO-TD 1523, 19.
2. Bulut, B., Yılmaz, M.T., 2016. Türkiye'deki 2007 ve 2013 Yılı Kuraklıklarının NOAA Hidrolojik Modeli ile İncelenmesi (Analysis of 2007 and 2013 Droughts over Turkey Using NOAA hydrological model). *Teknik Dergi*, (kabül edildi).
3. Bulut, B., Yılmaz, M.T., Yücel, İ., Şorman, A.Ü., Yılmaz, M., Şimsek, O., 2016. Türkiye'de İstasyonlarda Ölçülen Toprak Nemi Zaman Serilerinin Kalite Kontrolü. *Teknik Dergi* (hakem sürecinde).
4. Bulut, B., Yılmaz, M.T., Sönmez, İ., Şorman, A. Ü., 2014. Türkiye'deki Toprak Neminin NOAA Hidrolojik Yeryüzü Modeli ile İncelenmesi. Second International Drought and Desertification Symposium, Konya, 16-18 September 2014.
5. Yılmaz, M. T., Şorman, Ü. A., Sönmez, İ., 2013. Modellenen ve İstasyonlarda Ölçülen Toprak Neminin Karşılaştırılması (Comparison of Modeled and Observed Soil Moisture). III. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi, TİKDEK (III. Climate Change in Turkey Meeting) 3 – 5 Haziran 2013, İstanbul.
6. Şorman, A. Ü., Yılmaz, M., 2012. Soil Moisture Mapping Using Active Microwave for a Semi-Distributed Hydrologic Model: Case Study in Turkey. *International Journal of Civil and Environmental Engineering IJCEE-IJENS Vol:12 No:05*.
7. Owe, M., de Jeu, R. Holmes, T., 2008. Multisensor Historical Climatology of Satellite-Derived Global Land Surface Moisture. *Journal of Geophysical Research*, 113, f01002.
8. Owe, M., De Jeu, R., Walker, J. P., 2001. A Methodology for Surface Soil Moisture and Vegetation Optical Depth Retrieval Using the Microwave Polarization Difference Index, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 39, 1643–1654.
9. Ek, M. B., Mitchell, K. E. Lin, Y., Rogers, E., Grunmann, P., Koren, V., Gayand, G., Tarpley, J. D., 2003. Implementation of NOAA Land Surface Model Advances in the National Centers for Environmental Prediction Operational Mesoscale Eta Model, *J. Geophys. Res.*, 108(D22), 8851.
10. Jackson, T.J., Cosh, M.H., Bindlish, R., Starks, P.J., Bosch, D.D., Seyfried, M.S., Goodrich, D.C., Moran, M.S., 2010. Validation of Advanced Microwave Scanning Radiometer Soil Moisture Products. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 48, 4256-4272.
11. Jackson, T.J., Bindlish, R., Cosh, M., Zhao, T., Starks, P., Bosch, D., Seyfried, M., Moran, S., Goodrich, D., Kerr, Y., Leroux, D., 2012. Validation of Soil Moisture and Ocean Salinity (SMOS) Soil Moisture Over Watershed Networks in the U.S., *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 50(5), 1530-1543.
12. Yılmaz, M., Yılmaz, M.T., Amjad, M. Bulut, B., 2016. Uydu Kaynaklı Yağmur Verilerinin Hata Oranlarının Deniz Kıyılarına Olan Uzaklığına Bağlı Analizi. *Teknik Dergi* (hakem sürecinde).
13. Stoffelen, A., 1998. Toward the True Near-Surface Wind Speed: Error Modeling and Calibration Using Triple Collocation, *J. Geophys. Res.*, 103(C4), 7755–7766.
14. Yılmaz, M. T., Crow, W. T., 2013. The Optimality of Potential Rescaling Approaches in Land Data Assimilation. *Journal of Hydrometeorology*, 14, 650–660.
15. Yılmaz, M. T., Crow, W. T., Anderson, M. C., Hain, C., 2012. An Objective Methodology for Merging Satellite-And Model-Based Soil Moisture Products. *Water Resources Research*, 48(11).
16. Miralles, D. G., Crow, W. T., Cosh, M. H., 2010. Estimating Spatial Sampling Errors in Coarse-Scale Soil Moisture Estimates Derived from Point-Scale Observations. *J. Hydrometeor*, 11, 1423–1429.
17. Zwieback, S., Scipal, K., Dorigo, W., Wagner, W., 2012. Structural and Statistical Properties of the Collocation Technique for Error

- Characterization. *Nonlin. Processes Geophys.*, 19(1), 69-80.
18. Brocca, L., Hasenauer, S., Lacava, T., Melone, F., Moramarco, T., Wagner, W., Bittelli, M., 2011. Soil Moisture Estimation Through ASCAT and AMSR-E Sensors: An Inter-Comparison and Validation Study Across Europe. *Remote Sensing of Environment*, 115(12), 3390-3408.
 19. Draper, C. S., Reichle, R. H., De Lannoy, G. J. M., Liu, Q., 2012. Assimilation of Passive and Active Microwave Soil Moisture Retrievals. *Geophysical Research Letters*, 39(4), L04401.
 20. Wagner, W., Lemoine, G., Borgeaud, M., Rott, H., 1999. A Study of Vegetation Cover Effects on ERS Scatterometer Data, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 37(2), 938-948.
 21. Naeimi, V., Scipal, K., Bartalis, Z., Hasenauer, S., Wagner, W., 2009. An Improved Soil Moisture Retrieval Algorithm for ERS and METOP Scatterometer Observations, *IEEE T. Geosci. Remote Sens.*, 47, 1999-2013.
 22. Parinussa, R. M., Holmes, T. R. H., Yılmaz, M. T., Crow, W. T., 2011. The Impact of Land Surface Temperature on Soil Moisture Anomaly Detection from Passive Microwave Observations, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 15, 3135-3151.
 23. Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., Ferreira, L. G., 2002. Overview of the Radiometric and Biophysical Performance of the MODIS Vegetation Indices. *Remote Sensing of Environment*, 83(1), 195-213.
 24. Sönmez, I., 2013. Quality Control Tests for Western Turkey Mesonet. *Meteorological Applications*, 20, 330-337.