

Bir taşkın tahmin sisteminin değerlendirilmesi: Nümerik hava tahmin modeli, veri asimilasyonu ve uydu yağışlarının kullanımı

İsmail YÜCEL^{*1}, Alper ÖNEN¹, Koray K. YILMAZ²

¹ Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara

² Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara

Makale Gönderme Tarihi: 08.10.2015

Makale Kabul Tarihi: 15.06.2016

Öz

Şiddetli yağış ve taşkın oluşumu gibi uç hava olaylarının iklimin ısınması ile beraber çok daha sık olacağı öngörülmektedir. Hidrolojik tahminler taşkına müdahale ve su kaynakları ile alakalı olarak karar vericiler için kritik olmasına rağmen şu anki iklim yada atmosfer tahminleri hidrolojik tahminler için genellikle yeterli seviyede bir destek sağlayamıyorlar. Bunun sebepleri de, kaba alansal çözünürlüklü iklimsel/meteorolojik tahminler, hidrolojik model ile meteorolojik tahminleri birleştiren ara yüzdeki eksiklikler, ve model sisteminde kullanılan küçük çözünürlüklü girdi verisindeki yetersizlikler olarak açıklanabilir.

Bu çalışmanın amacı belirtilen alanlarda iyileştirmeler yaparak bir hidrolojik tahmin periyodu için kara yüzeyi-atmosfer etkileşimlerini, iklimsel durumların etkilerini, ve başlangıçtaki orta-ölçekli hidrometeorolojik yapıyı daha doğrucu ele almaktır. Bu kapsamda, uzaktan algılamalı yağış verilerinin kullanımı ile modellerin kaba alansal çözünürlük problemlerine çözüm aranırken karayüzey ve atmosfer modellerinin birleşik kullanımı ile de kritik yüzey süreçleri daha ileri düzeye getirilmiş olur. Ayrıca, üç boyutlu veri asimilasyon tekniğinin kullanımı ile model başlangıç şartlarındaki orta ölçekli hidrometeorolojik yapı daha güvenilir bir şekilde temsil edilir. Böylelikle hidrolojik tahminlerde başarının artırılması amaçlanmıştır.

Bu çalışma, 'NOAH' kara-yüzey modeline bağlı 'WRF' modelini içeren yüksek grid çözünürlüklü bir hidrometeorolojik model sisteminin ileri seviye grid tabanlı bir hidrolojik model ile kullanılmasını amaçlamıştır. Model sisteminin performansı Türkiye'nin Batı Karadeniz Havzası'nda seçilmiş 25 adet şiddetli yağış olayları ve buna bağlı oluşan taşkınlar için değerlendirilmiştir. WRF asimilasyon ile beraber yağış şiddetinde ve zamanlamasında iyileştirmeler sağlanmış ve bu iyileştirmelerde model tarafından oluşturulan taşkın hidrograflarında yansımıştır. Uydu yağışları genel olarak yağışı az tahmin etmiş ve WRF modeline göre daha az başarılı olmuştur. Taşkın tahminlerinde güvenilir yağış girdilerine ihtiyaç olduğundan WRF modeli içinde asimilasyonun kullanılması çok önemlidir.

Anahtar Kelimeler: WRF, hidrolojik model, taşkın, uydu algoritması, veri asimilasyonu;

*Yazışmaların yapılacağı yazar: İsmail YÜCEL. iyucel@metu.edu.tr; Tel: (312) 210 24 87

Giriş

Küresel ısınma ve iklim değişikliği sonucu yağış ve su döngüsünde değişimler meydana gelmekte ve şiddetli yağış olayları gibi meteorolojik afetlerin oluşum sıklıklarında artış gözlenmektedir. Isınan iklim farklı zamanlarda ve yerlerde kuraklık ve taşkın risklerini artırmaktadır. Trenberth (1998, 1999), Allen ve Ingram (2002), Neelin vd. (2006), ve Held ve Solden (2006) tarafından yapılan iklim model çalışmaları ve gözlem analizleri ile ısınan iklim ile atmosfere olan su buharı girdisi artarken toplam yıllık yağış miktarı değişmemektedir. Son 50 yılda kara üzerindeki yağışların ortalamasına bakıldığında ortalama yağış miktarının azaldığı yerlerde bile şiddetli (ekstrem) yağışların toplam yağışlara olan yüzdelik katkısı artmaktadır (Trenberth vd., 2007; IPCC, 2007). Bu sonuçlar da gösteriyor ki, daha şiddetli yağış olayları meydana gelirken taşkın riskinde artmaktadır. Dünyanın farklı bölgelerinde olduğu gibi, ülkemizde de bu tip şiddetli yağış ve taşkın olayları sık sık görülmektedir. Örnek olarak, 7-12 Eylül 2009 tarihlerinde İstanbul ve çevresinde ki şiddetli hava ve taşkın olayları neticesinde en az 21 kişi ölmüş ve birkaç milyon TL lik ekonomik zarar meydana gelmiştir. Türkiye gibi karmaşık topografyaya sahip bölgelerde şiddetli yağışlar zamansal ve mekansal olarak büyük değişim gösterip çok kısa zaman diliminde yüksek miktarlarda yağış bırakırlar. Bu tip olaylar havzaların morfolojik özelliklerine bağlı olarak ani taşkınlara neden olan yüzey akışlarını oluştururlar. Ani taşkınlar, nehirlerin su taşıma kapasitelerini geçirecek, düşük kotlu havza ve yerleşim alanlarında su baskınlarına sebebiyet verir ve dolayısı ile can ve mal güvenliğini tehdit eder.

Hidrolojik tahminler, karar vericiler için yukarıda bahsedilen taşkın zararlarını önleyici tedbirlerin alınmasında hızla artan bir öneme sahiptirler. Yağış ölçümlerini temel alan geleneksel taşkın erken uyarı sistemleri, taşkınların zararlarına karşı alınacak tedbirlerin

hazırlanmasında yeterli kalmamaktadırlar. Şiddetli bir yağış olayına bağlı olarak oluşan akımların tutarlı ve önceden tahmini taşkınlara karşı alınacak koruma tedbirleri için son derece önemli ve kritiktir. Taşkın olayının önceden tahmin edilmesinde, bölgesel ölçekli sayısal hava tahmin modeli (SHT) kullanılması önemlidir. SHT ler ile önceden tahmin edilen şiddetli yağışlar bir hidrolojik model içinde kullanılarak taşkın akımları üretilir. Atmosferik olaylar ve bu olayların ürettiği yüzey akışları ve yüzeydeki hidrolojik süreçlerin bütünleşik ve dinamik bir yapıda gösterilmesi atmosfer-karayüzeyi-hidroloji sistemini içeren bölgesel bir hidrometeorolojik model kullanımı ile mümkündür. Böyle bir modelden tutarlı hidrolojik tahminler elde etmek için güvenilir yağış verilerine ihtiyaç vardır. Bölgesel SHT modellerinin yağış tahmin performanslarını artırmada model içinde veri asimilasyonu ve yüksek çözünürlüklü kara yüzeyi modeli kullanımı çok önemlidir.

SHT modelinde veri asimilasyonu tekniği ile kısa zamanlı meteorolojik öngörülerin iyileştirilmesi, güvenilirliklerinin artırılması ve meteorolojik öngörülerle gerçekleşen durum arasındaki ayırımın azaltılması amaçlanmıştır. Kalite kontrolünden geçirilmiş gözlemler (sinoptik, radyozonde, ve gemi) 3-Boyutlu Değişimli Veri Asimilasyonu (3D-Var) metodunda kullanılıp SHT modelin başlangıç şartları oluşturularak model tahmin sonuçlarının gözlemlerle uyumlu sonuçlara ulaştırılması hedeflenmiştir. Asimilasyon metodu kullanılarak daha tutarlı olduğu saptanan yağış değerleri, şiddetli yağışlar sonucu oluşan taşkın olaylarının simülasyonlarında kullanılmıştır. Uydu verisi kullanılarak tahmin edilen yağış değerleride hidrolojik süreç çalışmalarında büyük potansiyele sahiptirler. Bu tip yağış değerleri geniş kapsam alanları ile yağıştaki yersel değişimi yüksek alansal (4-km) ve zamansal çözünürlükte (15 dak) gösterir. Hidrolojik süreçlerin daha tutarlı olması için asimilasyonlu ve asimilasyonsuz SHT modeli tarafından üretilen yağış değerlerine ek olarak, yüksek çözünürlüklü uydu verisinden üretilmiş

Bir taşkın tahmin sisteminin değerlendirilmesi:Nümerik hava tahmin modeli, veri asimilasyonu ve uydu yağışlarının kullanılması

yağış değerleride taşkın simülasyonları için hidrolojik modelde kullanılmıştır. Uydu yağış verilerinin taşkın akışlarını oluşturmada başarıları diğer yağış veri setleri ile kıyaslanmıştır.

Bu çalışma ile kısmen dağlık bir topografik yapıya sahip olan Batı Karadeniz Havzasında gözlemlenen şiddetli yağış olayları ve bu yağışlar sonucu oluşan taşkınların bir hidrometeorolojik model ve uzaktan algılamalı yağış verisi kullanımları ile incelenmesi hedeflenmiştir. Bölgesel orta-ölçekli kara yüzeyi-atmosfer modeli ile elde edilen yüzey ve atmosferik değişkenlerin grid tabanlı ve tam dağılımlı fiziksel bir hidrolojik modelde kullanılması ile yüzey ve nehir akışları şiddetli olaylar için belirlenmiştir. Atmosfer-kara yüzeyi ve hidrolojik süreçlerin birleştirilmesiyle bölgesel boyutta şiddetli hava olaylarından sonuçlanabilecek taşkın olayları incelenmiştir.

Materyal ve Yöntem

Hidrometeorolojik Olay Tespiti ve Veriler

Türkiye genelinde geçmiş yıllara ait fevk hadiseleri kontrol edildiğinde Batı Karadeniz Bölgesinde çok sayıda şiddetli yağış, taşkın ve sel olayları gözlemlenmiştir. Ayrıca, hidrolojik model kalibrasyonunda önemli olan regüle edilmemiş nehirlerle ait alt havzaların ve düzenli akım ölçümlerinin olması Batı Karadeniz Havzasının bu araştırma kapsamında çalışılmasında etkili olmuştur. Meteoroloji Genel Müdürlüğünden (MGM) elde edilen Türkiye Genel Fevk Hadiseleri bilgileri incelenerek Batı Karadeniz bölgesinde 2000-2011 yılları arasında dağılım gösteren meteorolojik olay tanımı “Yağış ve sel” olarak belirlenen 25 adet hidrometeorolojik olay ilgili tarih ve yeri ile tespit edilmiş ve Tablo 1 de gösterilmiştir. Bu çalışmada olay bazlı hidrometeorolojik simülasyonlar yapıldığından Tablo 1’de belirlenen yağış ve sel olayları, olay noktalarına yakın hidrograf grafiğindeki değişimlere göre olayın başlangıç ve bitiş tarihleri arasında değerlendirilmiş ve bu zaman periyodu boyunca hidrometeorolojik model çalıştırılmıştır.

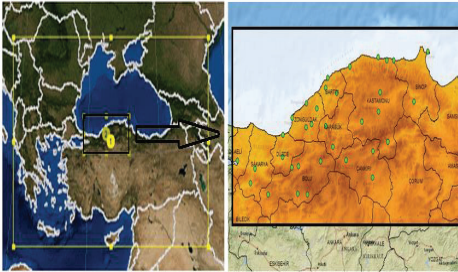
Tablo 1. Hidrometeorolojik olaylar, model simülasyon aralıkları, ve olayın gözlemlendiği yer.

Olay No.	Başlangıç Tarihi	Bitiş Tarihi	Yüksek Yağış Gözlem Noktaları
1	02-06-00	07-06-00	Bartın
2	04-08-02	12-08-02	Kastamonu, Devrekani
3	16-08-02	23-08-02	Kastamonu, Devrekani
4	11-08-04	16-08-04	Zonguldak, Ereğli
5	14-08-04	19-08-04	Bartın, Kastamonu
6	23-08-04	28-08-04	Bartın
7	28-04-05	05-05-05	Bartın, Bolu, Düzce, Amasra
8	02-07-05	09-07-05	Bartın
9	13-07-05	18-07-05	Bartın, Zonguldak
10	05-06-07	15-06-07	Kastamonu, Cide, Zonguldak, Devrek
11	30-07-07	04-08-07	Zonguldak
12	20-09-07	25-09-07	Zonguldak, Akçakoca
13	27-09-08	02-10-08	İnebolu, Bozkurt, Daray, Devrekani
14	12-07-09	17-07-09	Bartın, Kastamonu, Devrekani
15	26-07-09	29-07-09	Cide, İnebolu
16	06-09-09	12-09-09	Sakarya, Bolu
17	19-09-09	25-09-09	Bartın
18	25-06-10	02-07-10	Bartın, Bolu, Devrekani
19	06-07-10	11-07-10	Çankırı, Bolu, Ilgaz
20	31-08-10	04-09-10	Bartın
21	13-09-10	16-09-10	Bartın
22	01-10-10	04-10-10	Bozkurt
23	07-10-10	12-10-10	Bartın, Bozkurt
24	25-05-11	05-06-11	Devrekani, Tosya, Yenice
25	09-06-11	14-06-11	Bartın, Ereğli, Devrek

Hidrometeorolojik Model Sistemi

Hidrometeorolojik model sistemi içerisinde atmosferik hava olayları Hava, Araştırma ve Tahmin (WRF) modeli (Skamarock vd., 2005) olan bir orta ölçek SHT modeli ile hesaplanırken, yüzeydeki su ve enerji dengesi ‘Noah’ yüzey modeli (Chen ve Dudhia 2001) ile hesaplanmıştır. Yüzey, yüzey-altı ve nehir akım ötelemesi ise ‘Noah-hidro’ (Gochis vd., 2012) hidrolojik modeli ile yapılmıştır. Bu modellerden ‘WRF’ ve ‘Noah’ modelleri birbirleri ile bağlantılı şekilde çalışırken Noah-router ise atmosferik girdileri ve kara yüzeyi statik bilgilerini WRF-Noah modelinden alarak ayrı bir model olarak çalıştırılmıştır.

WRF hidro-statik olmayan bir model olup içerisinde yağmur, kar gibi hidrometeorolojik değerleri hesaplayan bulut mikrofizik modeli, konvektif yağışları belirleyen fiziksel model, uzun ve kısa dalga boyulu radyasyon hesaplamaları, sınır tabaka seviyesi modelleri gibi algoritmalar içerir. WRF modeli bir çok farklı atmosferik ve hidrometeorolojik koşullarda dünya üzerindeki değişik coğrafyalarda test edilmiştir (Örneğin, Liu vd. (1997), Colle vd. (2000) ve Brito vd. (2003)). Bu tip modeller ile dağlık kompleks bölgelerde yağış ve akış simülasyonları ve topoğrafyanın yağışa olan etkisi gibi farklı çalışmalar da mevcuttur (Yücel vd., 2002, 2003; Gochis vd., 2003, 2006). WRF modeli aynı zamanda MGM'de operasyonel olarak araştırma amaçlı da kullanılmaktadır. Model iç-içe (nested) 12 km ve 4 km çözünürlüklerinde iki model alanları ile temsil edilerek iç alan (4-km) çalışma bölgemiz olan Batı Karadeniz bölgesine oturtulmuştur (Şekil 1). Dış alanın başlangıç ve sınır koşulları 25-km'lik 'European Centre for Medium Range Weather Forecasts' (ECMWF) analizleri ile sağlanırken iç model alanının ilgili verileri ise 12-km lik WRF model alanından sağlanmıştır. Tablo 1 de verilen her bir hidrometeorolojik olay, WRF modeli ile simüle edilmiştir.



Şekil 1. Proje alanı ve alan içinde yağış gözlem İstasyonlarının dağılımı.

Noah-Hidro Hidrolojik Modeli

Taşkın simülasyonları WRF model çıktıları kullanılarak tamamen fiziksel ve tam yayımlı grid tabanlı Noah-Hidro hidrolojik modeli ile yapılmıştır. 'Noah-hidro' modeli 'Noah'

modelindeki özelliklere ek olarak yüzey ve doymuş yüzey-altı akımlarda yatay yönlü ötelemeler, kanal ve hazne ötelemesi, yüzeyde göllenme ve buradan buharlaşma gibi hidrolojik süreçleride içermektedir. Yüzey ötelemesi durağan olmayan, 2-boyutlu, sonlu farklar yöntemlerini kullanan yayımlı dalga modelini temel almaktadır (Jullien vd., 1995). Her bir öteleme zaman adımındaki dalga modelinin çözümü, yüksek çözünürlüklü 'x' ve 'y' yönündeki grid hücreleri boyunca olan enerji kayıpları ve yüzey pürüzlülük katsayısı dikkate alınarak yapılır. Bu işlemler sonucu grid yüzeyindeki su derinliği ve kara yüzeyinden nehir kanalına taşınan su miktarıda belirlenir. Grid hücreleri ile tanımlanmış nehir ağı boyunca kanal ötelemesi ise kütle ve momentum korunum denklemlerinin çözümünü veren St Venant denklemlerinin tek yönlü sıç su dalga akışlarında uygulanması ile yapılır. Eğer nehir boyunca bir su haznesi varsa bu durumda hazne ötelemeside uygulanmaktadır.

'Noah-Hidro' modeli 'Noah' kara yüzey modeli ile fiziksel ve atmosferik girdiler olarak aynı özellikleri içerdiğinden, Noah-hidro modelini çalıştırmak için hem WRF atmosferik destekleme verilerine (yağış, sıcaklık, rüzgar, nem ve gelen kısa ve uzun dalga boyulu radyasyon) hemde 'Noah' yüzey modelinin geo-statik altlıkları olan topografya, yüzey örtüsü ve toprak tipi verilerine ihtiyaç vardır. Bu verilere ek olarak yüzey ve kanal öteleme modüllerinde kullanılmak üzere yüksek çözünürlüklü (250 m) topografya ve akım yönü, akım ağı, akım sırası, havza sınırları gibi hidrolojik altlıklar gereklidir. 250 m çözünürlüğündeki hidrolojik altlıklar CBS ortamında topografya verisinin işlenmesi ile elde edilmiştir. Model sistemi içinde su ve enerji dengesi ile hesaplanan yağış fazlası, toprak nemi ve hidrolik iletkenlik değerleri, grid küçültme tekniği ile 4 km'den 250 m grid çözünürlüğüne dönüştürülerek yüzey, yüzeyaltı ve kanal ötelemeleri yapmak için öteleme modüllerinde kullanılmıştır. Noah-hidro modelinin geo-statik, hidrolojik ve atmosferik veri girdileri ile beraber genel çalışma adımları Şekil 2 de gösterilmiştir.

yağışı elde eder ve bulunan bu yağış değeri aynı grid üzerindeki mikro-dalga metodu ile üretilmiş yağış oranları kullanılarak kalibre edilir. Mikro-dalga yağış oranları aynı grid için günde 1 veya 2 kez mevcut olduğundan bu metod her 15 dakikada bir verisi olan METEOSAT ürünlerinden hesaplanan yağış tahminlerinin kalibrasyonunda kullanılmaktadır. MGM'den, MPE yağış değerleri grib formatında bütün uydu diski için (3712 x 3712 adet 4-km lik gridler) ve Tablo 1 de verilen 2005 sonrası olayları için her 15 dakikalık zaman aralıklarında elde edilmiştir. Ölçülmüş ve WRF modeli ile hesaplanmış yağış değerleri saatlik zaman diliminde olduğu için 15 dakikalık MPE yağışlarının ortalamaları alınarak saatlik zaman dilimine getirilmiştir. Grib formatlı ve farklı bir projeksiyonda gelen MPE yağışlarının Noah-Hidro modeli içinde kullanılması için WRF model projeksiyonuna dönüştürülmesi sağlanmıştır.

Uygulama ve Başarımlar

Bu bölüm içinde sunulan alt başlıklar, Tablo 1 de verilen hidrometeorolojik olaylar için asimilasyonlu ve asimilasyonsuz WRF simülasyon sonuçlarının MPE yağış verileri ve gözlemler ile analizlerini ve bu yağış ürünlerinin Noah-Hidro modelinde kullanılması ile oluşturulan taşkın hidrograflarının akım ölçümleri ile karşılaştırılmalarını ve model kalibrasyon sonuçlarını içermektedir. Yağış analizlerinde, WRF ve MPE'den elde edilen saatlik ve 4-km çözünürlüğündeki yağış değerleri kullanılırken, akım analizlerinde ise günlük ortalama değerler kullanılmıştır.

Yağış Analizleri

WRF, WRF-AS (asimilasyonlu), uydu, ve gözlem yağış değerleri ile ilk olarak her bir olay için olayların tamamı bir arada kullanılarak istatistiksel analizler yapılmış ve son olarakta olay ve istasyon bazlı istatistiksel analizler yapılmıştır.

Genel İstatistiksel Analizler

1, 3, 6 ve 24 saatlik WRF, WRF-AS ve uydu yağış ürünlerinin gözlemler ile karşılaştırılması sonucu hata (rmse), taraflılık (bias) ve korelasyon (R) değerleri hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 2 de verilmiştir. Asimilasyonla WRF yağışları her bir zaman aralığında daha az hata ve fark ve daha yüksek korelasyon sonuçları vermiştir. En iyi istatistik sonuçları 3 saatlik yağışlar ile elde edilmiştir. Ayrıca WRF istatistikleri uydu yağışlarına göre daha iyi çıkmıştır. Uydu yağışındaki genel düşük yağış değerleri negatif taraflılık ile kendini göstermiştir. Ayrıca, Tablo 2 de şartlı yağış durumlarında (gözlem yağışının '0' dan büyük olduğu durumlarda) aynı yağış ürünleri için hata, taraflılık ve korelasyon değerleri verilmiştir. Genel olarak şartlı yağış istatistikleri ile model ve uydunun yağış tahmin performansı yağış olmayan verilerin analizlerden çıkarılması ile düşmüştür. Uydu yağışlarındaki düşük değerler şartlı yağışlarda daha belirgin olmuştur. Tablo 3 de gösterilen AS, NOAS (asimilasyonsuz) arası normal ve şartlı durumlar için iyileşme yüzdeleri gösterilmiş olup asimilasyonla yağıştaki düzelme normal durumda ortalama %3; şartlı durumda ortalama %2 olarak artmıştır.

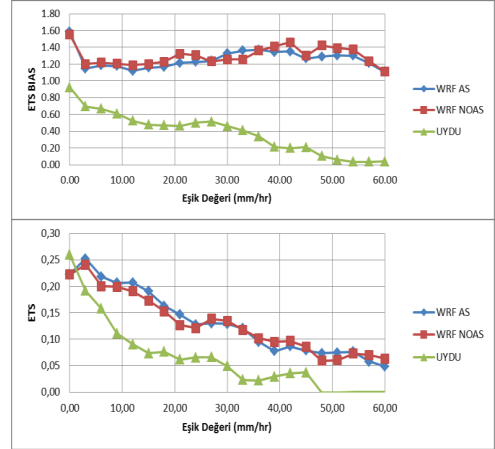
Tablo 2. Normal ve şartlı yağış bias, rmse ve r değerleri

Gözlem Aralığı		WRF MODEL AS		WRF MODEL NOAS		UYDU	
		Normal	Şartlı	Normal	Şartlı	Normal	Şartlı
1 Saat	BIAS	0.0389	-1.0240	0.0493	-1.0048	-0.0885	-1.2968
	RMSE	1.6171	3.8412	1.6590	3.8774	1.3200	3.4998
	R	0.1088	0.0664	0.1030	0.0615	0.1613	0.1562
3 Saat	BIAS	0.1300	-1.1792	0.1604	-1.1097	-0.2733	-2.1068
	RMSE	3.6279	6.6968	3.7630	6.8647	2.9886	6.0921
	R	0.1696	0.1296	0.1541	0.1092	0.2016	0.2078
6 Saat	BIAS	0.2581	-1.0870	0.3174	-0.9508	-0.5249	-2.8489
	RMSE	5.8472	9.4730	6.0361	9.8639	4.7591	8.4245
	R	0.2270	0.1819	0.2114	0.1559	0.2397	0.2450
24 Saat	BIAS	0.8478	-0.2519	1.0530	0.0237	-1.8022	-5.3121
	RMSE	13.3393	18.5403	13.7038	19.0404	10.8916	16.3499
	R	0.3645	0.2939	0.3605	0.2910	0.2822	0.2038

Tablo 3. Normal ve şartlı yağış rmse iyileşme yüzdeleri

Zaman Aralığı	Normal	Şartlı
1	2.53%	0.94%
3	3.59%	2.45%
6	3.13%	3.96%
24	2.66%	2.63%

Tüm olayları içeren veri seti için ETS (Equitable Threat Score–Tarafsız Tehlike Skoru) ve ETS Bias (Tarafsız Tehlike Skor Sapması) (Lee vd., 2004) skorları belirli yağış eşik değerleri için hesaplanmıştır. Bu skor ölçümleri ile model ve uydu yağışının farklı yağış değerlerini yakalamadaki performansları gözlemlenmiştir. Söz konusu analizler ile ilgili olarak, 24 saatlik tüm veriler ile oluşturulan ETS ve ETS Bias grafikleri Şekil 6 da gösterilmiştir.



Şekil 6. 24 Saatlik tüm veriler kullanılarak oluşturulan ETS ve ETS BIAS dağılım grafikleri

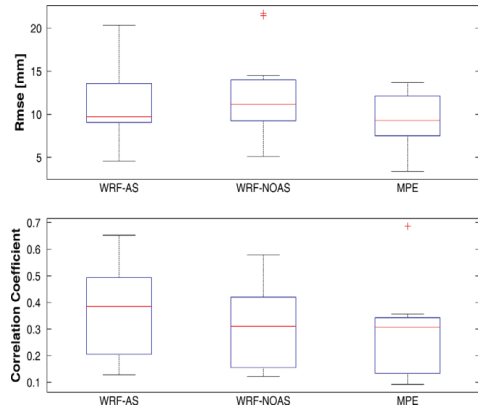
Bu grafiklerde, eşik yağış değeri arttıkça ETS değerleri düşmekte ve ETS Bias değerleride artmaktadır. Bu durumda, yüksek yağışlardaki başarı oranı azalmaktadır. ETS deki 1'e yakın değerler başarı skorunun en yüksek olduğu durumlardır. Analizlerin hepsinde verilen her yağış eşik değeri için asimilasyonlu (AS) WRF

modeli asimilasyonsuzla göre daha yüksek başarı skoru üretmiştir. Uydu yağışları AS ve NOAS WRF modeline göre bütün yağış eşik değerleri için belirgin bir şekilde daha başarısız bir durum göstermiştir. Uydu yağışlarının ETS Bias değerlerini 1'in altında göstermesi uydu algoritmasının yağış gözlemlere ve WRF modeline göre genellikle az tahmin ettiğini açıklamaktadır. Bu durum büyük yağış değerleri için çok daha ileri düzeydedir (Uydu verisinde, ETS bias artan eşik değerleri ile azalma göstermiştir). Fakat bu durum WRF modelinde tam tersi ile gösterilmiştir (artan yağış eşik değerleri ile ETS bias değerleri artmış ve böylece büyük eşik değerlerinde WRF modeli daha fazla yağış üretmiştir).

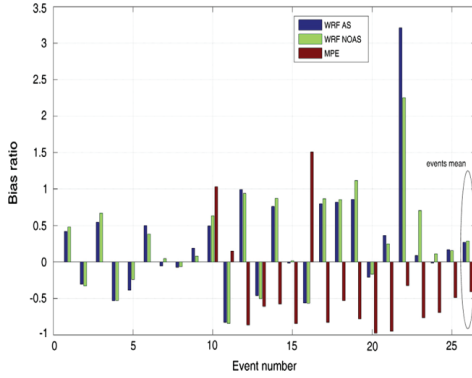
Mekansal İstatistiksel Analizler

Şekil 7 (a) ve (b) sırasıyla 25 olayın asimilasyonlu (WRF AS), asimilasyonsuz (WRF NOAS), ve MPE yağış değerleri için ortalama hata ve ilişki değerlerinin sunulduğu kutu grafiklerini göstermektedir. Şekilden de görüleceği üzere daha düşük medyan hata ve daha yüksek ilişki değerleri ile, çalışma alanı içinde asimilasyonlu çıktılar asimilasyonsuzla göre daha tutarlı tahmin göstermektedir. Gerçekte, WRF AS'ın hata medyan değeri her zaman WRF NOAS'a göre daha düşüktür ve aynı istatistikler için WRF AS'ın medyan ilişki değeri her zaman WRF NOAS'a göre daha yüksektir. WRF AS ve MPE arasındaki karşılaştırma biraz daha karışıktır. İlişki göz önüne alındığında WRF AS MPE ile karşılaştırıldığında çok daha iyi performans göstermektedir. Fakat, MPE ürününün daha düşük hataya sahip olduğu görülmektedir. WRF NOAS MPE den daha yüksek hata değerleri gösterir fakat genellikle daha iyi ilişki değerlerine sahiptir. Asimilasyonla olan iyileştirme ilişki analizlerinde hata analizlerine göre daha fazla görülmektedir. Bu da asimilasyon etkisinin yağış olaylarının şiddetinden ziyade bu olayların yer ve iz takibinde daha etkili olduğunun bir göstergesidir. Şekil 8 her bir olay için WRF AS, WRF NOAS ve MPE için ortalama tarafsızlık oran istatistik değerlerini göstermektedir.

Genelde bütün olaylarda, WRF NOAS ile karşılaştırıldığında WRF AS tarafsızlık değerlerinde bir düşüş gözlenmektedir. Olayların çoğu (%81) MPE ile belirgin negatif tarafsızlık gösterir. Olayların %60'da WRF AS WRF NOAS dan daha iyi bir performans ortaya çıkarır. MPE'nin ortalama tarafsızlık oranı -0.409 dur. Bu da gösterir ki MPE gözlem yağışının %41'lik bir kısmını tutturabilmektedir. Belirtilmelidir ki, MPE ile elde edilen düşük hata değerleri ortalama yağış şiddetinin MPE ile daha düşük hesaplanmasından dolayıdır ve bu durum daha doğru bir göstergeden kaynaklanmamaktadır. WRF AS ve WRF NOAS'ın ortalama tarafsızlık oranları ise +0.27 ve +0.287 dir. Bu değerler her iki WRF simülasyonları için yüksek tahminli bir özellik gösterirken MPE'e göre daha az tarafsızlık miktarı (gözlem yağışların %27 si) vermektedir. Her bir olay için sunulan bu mekansal yağış tarafsızlık değerleri kalibrasyon ve validasyon aşamasında hidrolojik modelin performansında negatif bir etkiye sahip olacaktır.



Şekil 7. (a) ve (b) Her bir olay için ortalama hata ve ilişki değerlerini sunan kutu grafikleri gösterilmiştir.



Şekil 8. Her bir olay için ortalama fark oranları gösterilmiştir.

Hidrolojik Model Kalibrasyonu ve Sonuçların Değerlendirilmesi

Kalibrasyon

NOAH-Hidro modeli önceden tanımlı parametrelerle Tablo 1 de verilen bütün olaylar için çalıştırıldıktan sonra kalibrasyon aşamasına geçilmiştir. Asimilasyon ile elde edilen yağıştaki iyileştirmelerden dolayı kalibrasyon sürecinde NOAH-Hidro modeli asimilasyonlu yağış girdileri kullanılarak çalıştırılmıştır. Her havza (Filyos, Devrekani, Bartın, Düzce, bakınız Şekil 4) detaylı bir şekilde incelendikten sonra veri boyutu açısından en sağlıklı kalibrasyonun Bartın havzasında 6. ve 8. olaylar kullanılarak yapılmıştır. Bartın havzasındaki DSİ 13-39 Kocamaz Çayı Boğazköy ve DSİ 13-49 Arıt Çayı Darıören istasyonları kalibrasyon yapılacak istasyonlar olarak belirlenmiştir. Seçilen diğer akım gözlem istasyonlarında kalibre edilen parametrelerin güvenilirliği değerlendirilmiştir.

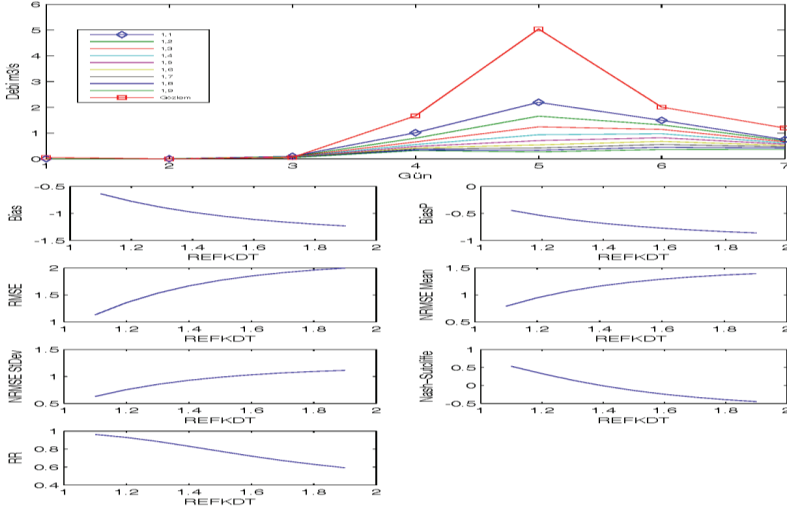
NOAH-Hidro modeline ait parametrelerin kalibrasyonu model parametrelerinin hidrolojik işlevleri dikkate alınarak 2 aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada toplam su hacmini kontrol eden parametreler olan nüfuz etme (sızdırma) parametresi (REFKDT) ve su tutma derinlik parametresi (RETDEPRT) parametreleri dikkate alınarak model çıktısı

akımlardan elde edilen hidrografların pik değerleri gözlenen akımlardan elde edilen hidrografların pik değerlerine yaklaştırılmaya çalışılmıştır. 2. aşamada ise hidrografi oluşturan akımların zamansal dağılımını (diğer bir deyişle hidrograf şekli) kontrol eden parametreler olan yüzey pürüzlülük parametresi (OVROUGHRT) ve kanal Manning pürüzlülük parametresi (MANN) dikkate alınarak modelden elde edilen hidrografın gözlem hidrografının zamansal trendini yakalaması için denemeler yapılmıştır. İlk aşamada kalibre edilen su hacmi parametreleri, ikinci aşamaya geçerken sabit tutulmuştur. Model içinde REFKDT ve MANN parametrelerinin değerleri birer parametre tablosu içinde tanımlanmış olup bütün model çalışma alanı için bu değerler sabittir. Fakat RETDEPRT ve OVROUGHRT parametre değerleri ise model alanı için grid ölçeğinde tanımlanmıştır. Dolayısı ile bu değerler her bir alt havzaya özgü değerlerdir.

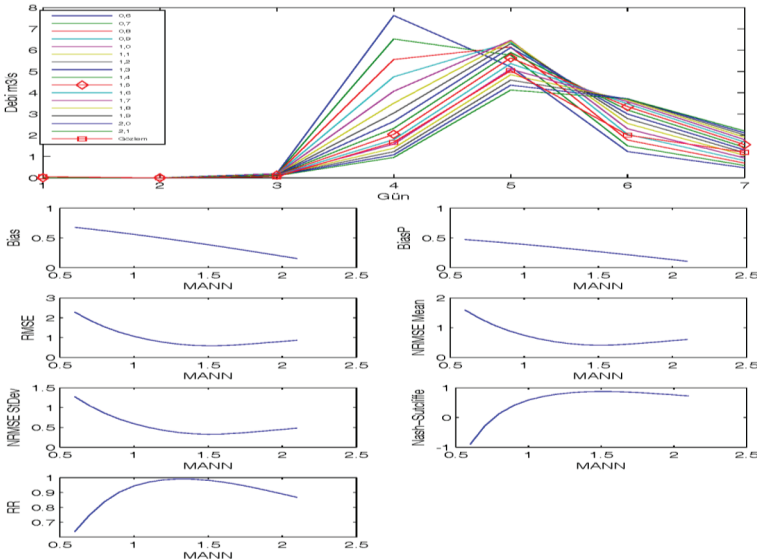
İki aşamalı kalibrasyon yönteminde en iyi parametrelerin seçimi modellenen ve gözlenen akım verileri arasındaki hata istatistikleri incelenerek yapılmıştır. Seçilen hata istatistikleri; hataların karelerinin ortalamasının kök değeri (root mean squared error; rmse), ortalama değer ile normalize edilmiş rmse (nrmse mean), standart sapma ile normalize edilmiş rmse (nrmse stdev), taraflılık (bias), taraflılık oranı (biasp), korelasyon katsayısı (RR), ve Nash-Sutcliffe (Nash-Sutcliffe efficieny index)'den oluşmaktadır. Nash-sutcliffe istatistiği negatif değer aldığımda modelin akım tahmin performansı gözlenen akımların ortalamasından daha düşük anlamına gelmektedir ve dolayısıyla modelin oldukça düşük performans gösterdiğine işaret etmektedir. Ayrıca hata istatistikleri incelendiğinde fark ve fark oranı istatistiklerinin hidrograf hacmine duyarlı, korelasyon katsayısı istatistiğinin ise hidrografi oluşturan akımların zamansal dağılımına duyarlı olduğu görülmektedir. Hata istatistiklerinin bu özellikleri kalibrasyon aşamalarında dikkate alınmıştır. NOAH-Hidro model parametrelerinin Bartın havzası için kalibre edilmesinde parametreler fiziksel olarak anlamlı

değer aralıklarında sistematik olarak değiştirilerek hedef değerlerine en yakın hata istatistiklerini veren parametrelere seçilmiştir. Şekil 9 da kalibrasyonun ilk aşamasında 1.1 değeri ile REFKDT parametre katsayısı

istatistiksel olarak en uygun sonucu vermektedir. Şekil 10 de kalibrasyonun ikinci aşamasında ise, MANN parametre değeri 1.5 faktör değeri ile optimum istatistiksel sonuçları vermektedir.



Şekil 9. 8. Olay DSİ 13-39 nüfuz etme (REFKDT) grafikleri.

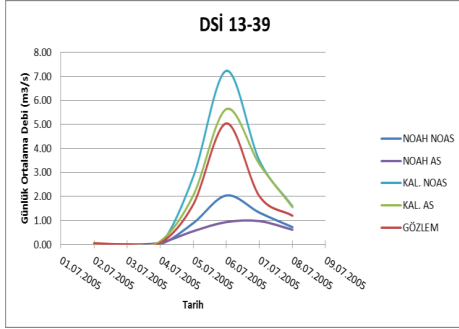


Şekil 10: 8. Olay DSİ 13-39 kanal Manning pürüzlülük (MANN) grafikleri.

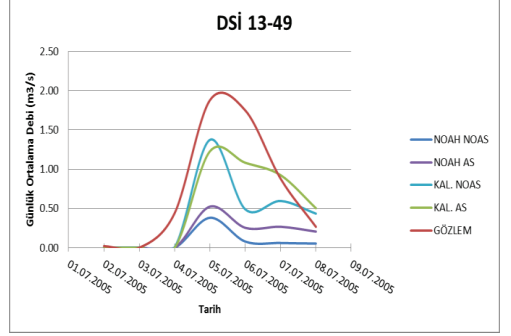
Kalibrasyon Sonuçları

Bu bölümde kalibrasyon sonuçları hidrografları verilmiş olup uydu yağışı yüksek olan bazı olaylarda normal ve kalibrasyon uygulanmış uydu yağış (MPE ve KAL. MPE) hidrografları da gösterilmiştir. Kalibrasyonda kullanılmayan akım verileri kalibre edilmiş parametrelerin güvenilirliğinin değerlendirmesine yardımcı olur.

Şekil 11 ve Şekil 12 de ki grafikler incelendiğinde Bartın havzasında 8. Olay için asimilasyonlu yağışlar kullanıldığında kalibrasyon ile (KAL. AS ve KAL. NOAS) yüksek hacimsel iyileştirmeler gözlemlenmiştir. Kalibrasyonlu ve kalibrasyonsuz (NOAH NOAS ve NOAH AS) pik değerlerinin gözlem pikiyle uyduğu olayda DSİ 13-39 için KAL. AS hidrografı küçük bir hacim farkıyla gözlem hidrografını başarılı bir şekilde temsil ettiği görülmüştür. Aynı istasyon için KAL. NOAS hidrografı gözlem trendini takip etmekte olup KAL. AS hidrografından daha yüksek akım tahmini yapmıştır. DSİ 13-49 için kalibrasyon değerleri düşük tahmin durumunda kalmış olup KAL. AS azalan faz evresinde hacim kaybını azaltarak (daha yatay düşüş eğimi göstererek) gözleme daha yakın sonuç ortaya çıkartmıştır.

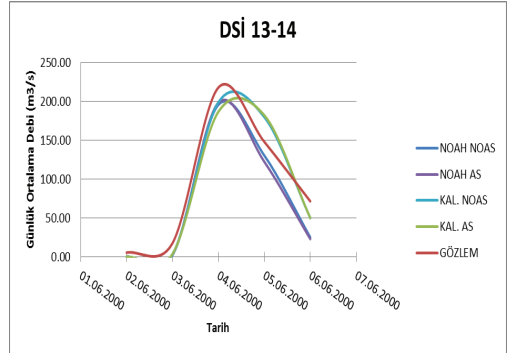


Şekil 11: Bartın Havzası 8. Olay için 13-39 gözlem ve simüle edilmiş hidrograf karşılaştırmaları.



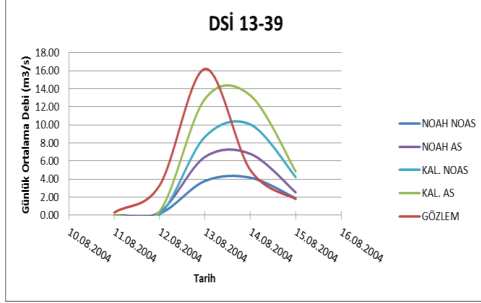
Şekil 12: Bartın Havzası 8. Olay için 13-49 gözlem ve simüle edilmiş hidrograf karşılaştırmaları.

Bartın Havzasında kalibre edilmiş parametreler kalibrasyon aşamasında kullanılmayan olayların hidrograflarıyla (bağımsız veri) da test edilmiştir. Örnek olarak, 1. Olay için Bartın havzasındaki 3. İstasyon olan DSİ 13-14 istasyonu kullanılmış olup Şekil 13 de karşılaştırmalı hidrograflar verilmiştir. Kalibrasyon öncesi de AS ve NOAS yağışlarının gözleme çok yakın olduğu istasyonda kalibrasyonun hacim artırma eğilimde olması yüzünden kalibre edilmiş hidrograflarda genişleme gözlemlenmiştir.



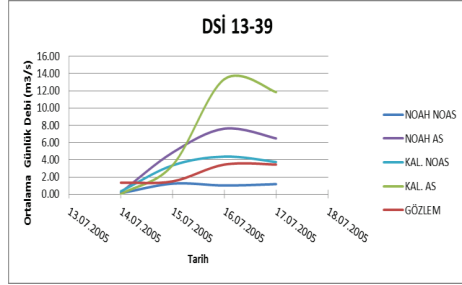
Şekil 13: 1. Olay DSİ 13-14 AGİ karşılaştırmalı hidrografları.

4. olay için DSİ 13-39 istasyonu Şekil 14 de gösterilmiştir. DSİ 13-39 için kalibrasyon kabul edilebilir düzeyde debi hacmini artırırken, gözleme uygun bir pik zaman değişimi göstermemiştir. Ayrıca, asimilasyonlu yağışlar ile hacimsel olarak daha iyi bir hidrograf elde edilmiştir.



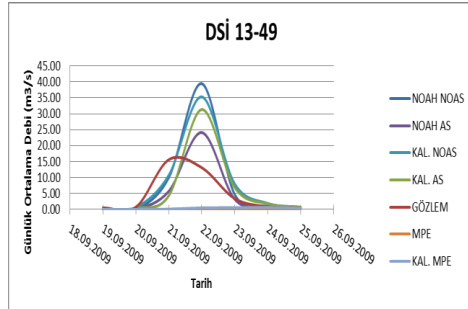
Şekil 14. 4. Olay DSİ 13-39 AGİ karşılaştırmalı hidrografları.

9. olay için DSİ 13-39 nolu AGİ seçilmiş olup hidrograflar Şekil 15 da gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde kalibrasyonsuz asimilasyonlu yağışın (NOAH AS) yüksek tahmin durumunda, asimilasyonsuz yağışın (NOAH NOAS) ise gözleme göre düşük tahmin durumunda kalmış olduğu görülmektedir. Bu durum asimilasyonlu modelin bu olay için ilgili zaman adımında daha fazla yağış üretmesi ile açıklanabilir. Kalibrasyonla hacim artışının iki durum içinde belirgin olduğu istasyonda pik noktası asimilasyonlu yağışlarda gözlemlerle eşleşirken, NOAH NOAS için ötelenerek doğru noktaya kalibre olduğu görülmektedir. Ayrıca, kalibrasyon asimilasyonlu hidrografın zamansal değişimini gözlemlerle daha uyumlu hale getirmiştir.



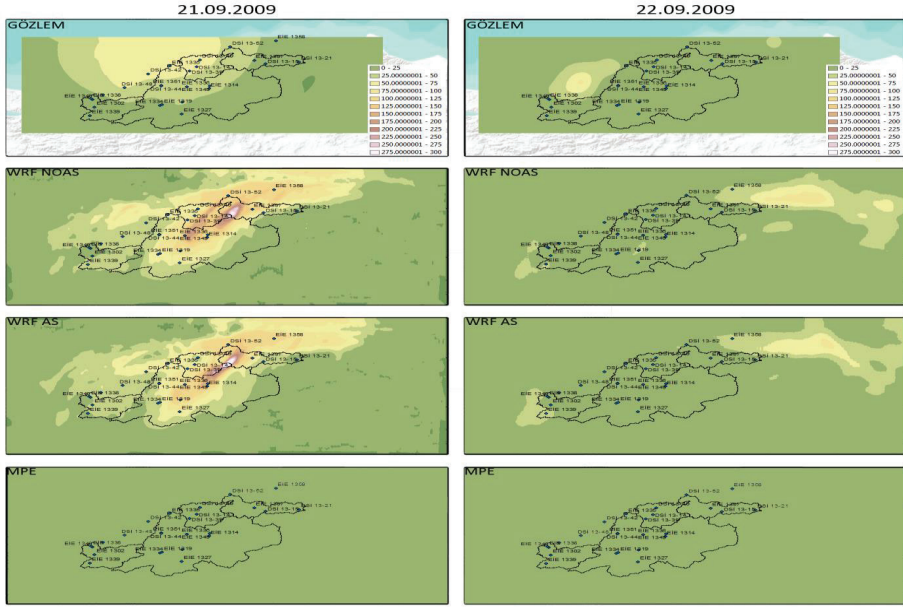
Şekil 15. 9. Olay DSİ 13-39 AGİ karşılaştırmalı hidrografları.

17. olay için DSİ 13-49 nolu AGİ seçilmiş ve Şekil 16 de gösterilmiştir. Gözlem pik zamanıyla model hidrograf piklerinin çakıştırılmadığı olayda asimilasyonlu yağış için hacim artışı belirgin gözlemlenmektedir. Fakat asimilasyon ile havzaya düşen yağış miktarı azaltılarak model (NOAH AS) gözlem hidrografına daha yakın bir hidrograf ortaya çıkarmıştır. Ancak bu olay için model yağışları zaten gözlemden daha yüksek akım hacmi verdiği için kalibrasyon istatistiksel olarak hata değerlerini artırmaktadır. Şekil 17 de 21-22 Eylül 2009 tarihleri için alansal yağış değerleri gösterilmiş ve yukarıda açıklanan durum (asimilasyonun yağışı azalttığı) DSİ 13-49 nolu istasyon çevresinde görülmektedir. İstasyon çevresinde 25-30 mm/gün yağış azalması vardır. MPE'nin yine çok belirgin şekilde düşük tahmin verdiği istasyonda kalibrasyonun MPE hacmini arttırmada minimal etki yarattığı gözlenmiştir.



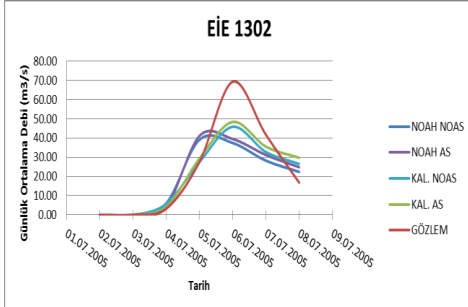
Şekil 16. 17. Olay DSİ 13-49 AGİ karşılaştırmalı hidrografları.

Bir taşkın tahmin sisteminin değerlendirilmesi: Nümerik hava tahmin modeli, veri asimilasyonu ve uydu yağışlarının kullanılması



Şekil 17. 17. Olay pik günler alansal yağış dağılımları.

8. olay için kalibre edilmiş parametreler Bartın Havzasından farklı olarak Düzce havzasındaki (Şekil 4 de ki 3 nolu havza) EİE 1302 nolu istasyondada değerlendirilmiş ve hidrograf grafikleri Şekil 19 da gösterilmiştir. Bu istasyonda kalibrasyon çok belirgin bir şekilde zamansal iyileşme göstermiştir. Hacimsel olarak da biraz artış gösteren hidrograflar hem AS hem NOAS için gözlem pik zamanıyla eşleşerek gözlem trendini başarılı bir şekilde takip ettiği görülmüştür.



Şekil 18. 8. Olay EİE 1302 AGİ karşılaştırmalı hidrografları.

Sonuçlar ve Tartışma

WRF atmosfer modeli ile kara yüzeyi ve hidrolojik model uygulamasını içeren bölgesel ölçekli hidrometeorolojik model sistemi Batı Karadeniz Havzasında görülen şiddetli yağış ve taşkın olaylarının simülasyonlarında kullanılmış ve model sisteminin bu olayları elde etmedeki performansı model içinde veri asimilasyonu yöntemi ve uydu yağış verisi kullanımı ile test edilmiştir. 25 adet hidrometeorolojik olay ile geniş bir olay örnekleme yapılmış ve dolayısıyla model sistemi için anlamlı bir performans testi uygulanmıştır.

Asimilasyonla WRF yağışları her bir analiz zaman aralığında daha az hata ve fark ve daha yüksek korelasyon sonuçları verirken en iyi istatistik sonuçları 3 saatlik yağışlar ile elde edilmiştir. Ayrıca WRF istatistikleri uydu yağışlarına göre daha iyi çıkarken uydu yağışındaki genel düşük yağış değerleri negatif taraflılıkla kendini göstermiştir. Asimilasyonla yağıştaki düzelme tüm veriler bazında yaklaşık

olarak %4 artmıştır. Her bir yağış eşik değeri için asimilasyonlu WRF modeli asimilasyonsuzlara göre daha yüksek başarı skorunu üretirken uydu yağışları WRF modeline göre daha başarısız bir durum göstermiştir.

Asimilasyon yağıştaki zamansal etkileri yersel etkilere göre daha iyi çözümlenmiştir. Genel olarak bu çalışmada yaz yağışları incelendiğinden yağışlar konvektif sistemler sonucu oluşmakta ve bu tip sistem yağışlarında yersel etkilere göre zamansal etkilerde zamansal etkilere göre çok daha yüksek çıkmaktadır. Asimilasyon ile yağıştaki iyileştirmeler genel olarak %5.13 ile 3-saatlik yağışlarda görülürken asimilasyonun WRF yağışlarına verdiği direkt katkı oranını incelediğimizde iyileştirme oranı %11.39'a çıkmaktadır. Ayrıca, hata ve fark istatistiklerine göre ilişki istatistikleri asimilasyon ile daha belirgin olmuştur ve dolayısıyla yağıştaki trend değişimleri yağış büyüklüklerine göre asimilasyon ile daha iyi çözümlenmiştir.

Hidrolojik model hidrograf hacmi ve hidrograf yapısını (pik değer, pik değere ulaşım zamanı) tutturacak şekilde iki aşamalı bir kalibrasyon yaklaşımı ile kalibre edilmiştir. Taşkın hidrografları WRF yağış girdisine çok hassas bir tepki vermiştir ve buna bağlı olarak tutarlılıkları olaydan olaya değişim göstermiştir. Eğer yağış girdisi (zamansal ve alansal) tutarlı ise oluşan hidrograflar akım büyüklüğünde sapma yapsa bile en azından açıklanabilir düzeyde iyi ilişki göstermiştir. Asimilasyon ile yağışta elde edilen iyileştirmeler hidrograf sonuçlarında yansımış ve birçok olayda asimilasyonlu yağışlar kullanılarak elde edilen hidrograflar gözlem hidrografları ile daha uyumlu çıkmıştır. Kalibrasyon ile özellikle Bartın havzasında taşkın hidrograflarında hacimsel ve yapısal iyileştirmeler elde edilmiştir. Tam yayımlı hidroljik model kullanımı havza bazlı kalibrasyona imkan vermekte ve bu durum özellikle kompleks geografik yerlerde önemli bir durum arz etmektedir.

Bu araştırma ile taşkın olaylarının önceden belirlenmesine yönelik bir erken uyarı sisteminin kurulabileceği gösterilmiştir. Bu kapsamda, WRF modelinin yağış ürünlerindeki zamansal ve mekansal tutarlılığı, dolayısı ile model içinde asimilasyon tekniklerinin kullanılması kritik bir öneme sahiptir. Tam yayımlı hidrolojik model kullanımı ile verilen bir noktadaki yağış tutarlılığına bağlı olarak noktasal bazda taşkın uyarısında bulunmak mümkündür. MGM'de halen operasyonel olarak kullanılan WRF-AS model sistemine Noah-Hidro modelinin yerleştirilerek bu sisteminin havza bazlı taşkın erken uyarılarında kullanılması bu çalışma sonuçları ile önerilebilir. WRF-Noah-Hidro model sisteminin çok daha dik yamaçlı topografik bir bölge olan ve yağışların kısa mesafelerde büyük değişim gösterdiği ve akışa hemen tepki verdiği Doğu Karadeniz Havzalarında da uygulanması ve sistemin oradaki performansının test edilmeside gereklidir.

Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK 1001 110Y036 numaralı proje kapsamında yapılmıştır.

Kaynaklar

- Allen M. R., and Ingram W. J., "Constraints on future changes in climate and the hydrologic cycle". *Nature*, 419, 224-232, 2002.
- Brito-Castillo L., Douglas A. V., Layva-Contreras A., and Lluich-Belda D., "The effect of large-scale circulation on precipitation and streamflow in the Gulf of California continental watershed". *Int. J. Climatology*, 23, 751-768, 2003.
- Chen F., and Dudhia J., "Coupling an advanced land surface-hydrology model with the Penn State-NCAR MM5 modeling system. Part I: Model implementation and sensitivity". *Mon. Wea. Rev.*, 129, 569-585, 2001.
- Colle B. A., Mass C. F., and Westrick K. W., "MM5 precipitation verification over the Pacific Northwest during the 1997-99 cool seasons". *Wea. Forecasting*, 15, 730-744, 2000.
- Gochis D. G., Leal J. C., Shuttleworth W. J., Watts C., and Garatuza-Payan J., "Preliminary Diagnostics from a New Event-Based Precipitation Monitoring System in Support of NAME", *J. Hydrometeor.*, 4, 974-981, 2003.

- Gochis D. G., Brito-Castillo L., Shuttleworth W. J., “Hydroclimatology of the North American Monsoon region in northwest Mexico.”, *J.Hydrology* 316, 53-70, 2006.
- Gochis D. J., Yu W., and Yates D. N., “The NCAR Distributed Hydrological Modeling 818 System (NDHMS): User’s Guide and Technical Description.”, NCAR Science and Technical 819 Note: Under Review. Tech. rep., NCAR, 2012.
- Held I. M., and Soden B. J., “Robust responses of the hydrological cycle to global warming”. *J. Climate*, 19, 5686-5699, 2006.
- Heinemann T., Lattenzio A., Roveda F., “The Eumetsat Multi Sensor Precipitation Estimate (MPE)”, Eumetsat, 2002.
- Julien P.Y., Saghafian B., and Ogden F. L., “Raster-based hydrological modeling of spatially-varied surface runoff. *Water Resour”. Bull., AWRA*, 31(3), 523-536, 1995.
- Lee S., Lee D., Chang D., “Impact of Horizontal Resolution and Cumulus Parameterization Scheme on the Simulation of Heavy Rainfall Events over the Korean Peninsula, *Advances in Atmospheric Sciences*”, Vol. 28, No. 1, Sayfa 1-15, 2004.
- Liu Y., Zhang D.-L., and Yau M. K., “A multiscale numerical study of hurricane Andrew (1992). Part I: Explicit simulation and verification. *Mon. Wea. Rev.*, 125, 3073–3093, 1997.
- Neelin J. D., Munnich M., Su H., Meyerson J. E., and Holloway C. E., “Tropical drying trends in global warming models and observations”. *PNAS*, 103, doi: 10.1073/pnas.0601798103, 2006.
- Skamarock W. C., Klemp J. B., Dudhia J., Gill D. O., Barker D. M., Wang W., and Powers J. G., “A description of the Advanced Research WRF Version 2.”, Tech. rep., NCAR, 2005.
- Trenberth K. E., “Atmospheric moisture residence times and cycling: Implications for rainfall rates and climate change”. *Climatic Change*, 39, 667-694, 1998.
- Trenberth K. E., “Conceptual framework for changes of extremes of the hydrological cycle with climate change.”, *Climatic Change*, 42, 327-339, 1999.
- Trenberth K. E., vd., “Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. In: *Climate Change 2007.*”, Cambridge University Press. Cambridge, U.K. and New York, NY, USA, 235-336, 2007.
- Yucel I., Shuttleworth W. J., Pinker R. T, Lu L., and Sorooshian S., “Impact of ingesting satellite-derived cloud cover into the Regional Atmospheric Modeling System.”, *Mon. Wea. Rev.*, 130, 610–628, 2002.
- Yucel I., Shuttleworth W. J., Gao X., and Sorooshian S., “Short-term performance of MM5 with cloud-cover assimilation from satellite observations.”, *Mon. Wea. Rev.*, 131, 1797–1810, 2003.

Calibration and evaluation of a flood forecasting system: Utility of numerical weather prediction model, data assimilation and satellite-based rainfall

Extended abstract

Influences of global warming and climate change have been getting more dominant with more catastrophic events observed around the world. With global warming, major changes in rain and water cycles are being observed and frequency of meteorological disasters such as heavy rainfalls is increasing continuously. With warming climate, drought and flood risks are getting higher consequently. As occurring and evidencing on several geographical regions on the earth, these types of extreme events are also being observed throughout regions more prone to flooding in Turkey. In semiarid environments like Turkey, many small and medium steep streams are ephemeral, which can cause unexpected and extensive flood damage.

For this research, use of a numerical weather prediction (NWP) model is intended to establish a possible forecasting system. In NWP model, by using data assimilation, it is aimed to have improvements in short-term weather predictions particularly in precipitation. By forming initial analysis fields of NWP model via three dimensional variational data assimilation system (3DVAR) it is intended to increase accuracy and decrease the bias between actual observations and model predictions.

To establish more consistency in hydrological processes, in addition to precipitation products obtained from NWP with and without data assimilation, high resolution satellite-derived precipitation data are also used in hydrological model for flood simulations. By assessing the accuracy of these precipitation products against observations the performance of these products in producing flood hydrographs is tested.

In this study, Weather Research and Forecasting (WRF) model as a NWP, coupled with a land surface model is used with and without data assimilation to produce precipitation and surface hydrometeorological variables for a number of rainfall/flood events observed in partially

mountainous Western Black Sea region in Turkey. Precipitation produced by this regional modeling system and MPE are inputted to the fully distributed and physically based hydrological model, NOAA-Hydro model, to generate flood hydrographs. With the implementation of combined system of atmosphere, land surface and hydrological processes in a regional scale, possible flooding events induced by extreme weather events are investigated.

Statistical precipitation analyses show that WRF model with 3DVAR improved precipitation up to 12% with respect to no-assimilation. MPE algorithm generally underestimates rainfall and it also showed lower performance than WRF model with and without data assimilation. Depending on reliability of precipitation inputs, NOAA-Hydro model produces reasonable flood hydrographs both in structure and volume. After model calibration is performed using assimilated precipitation inputs in Bartın Basin, NOAA-Hydro model reduced the average error in streamflow by 23.24% and 53.57% with calibration for testing events. With calibrated parameters, NOAA-Hydro model forced by WRF non-assimilated precipitation input also reduced the error in streamflow but with lower rates (16.67% and 40.72%). With a proper model calibration and reliable precipitation inputs, hydrologic modeling system is capable of simulating flood events.

Keywords: precipitation, streamflow, hydrology, flood, model