

İklimsel Haritaların Uluslararası Standartlarda Belirtilen Yöntemlere Göre Hazırlanması

Preparation of Climate Maps According to the Methods Specified in International Standards

Oğuzhan Top¹, Fatma Eda Adıgüzel¹, Merden Yeşil², Anıl Arıkan², Mete Uzar², Gökhan Yılmaz²

¹ELTEMTEK

oguzhan.top@eltemtek.com.tr

²Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ)

merden.yesil2@teias.gov.tr

Özet

Buz ve rüzgâr, iletkenin birim uzunluk başına düşen ağırlığını değiştirerek iletken üzerinde ek yükler oluşturmaktadır. Buz yükleri ve rüzgâr yükleri şeklinde isimlendirilen bu yükler, direkler ve iletkenler için son derece etkili olduklarından incelenmeleri büyük önem arz etmektedir. Bu çalışma içerisinde ELTEMTEK tarafından TEİAŞ önderliğinde geliştirilmesine devam eden İklimsel Haritaların Uluslararası Standartlarda Belirtilen Yöntemlere Göre Hazırlanması projesi çıktılarına yer verilmiştir. Proje tamamlandığında düşük ve yüksek çözünürlüklü buz yükü, rüzgâr yükü ve risk haritaları hazırlanmış olacaktır. İklimsel haritaların hazırlanması için WRF isimli son teknoloji orta ölçekli bir atmosferik modelleme sistemi kullanılmaktadır. Çalışmada WRF modelinin çalışma prensipleri açıklanmakta olup buz yükü ve rüzgâr yükü hesaplamaları da sunulmaktadır. Bununla birlikte TEİAŞ tarafından sağlanan arıza verileri doğrultusunda WRF modelinden alınan çıktılar değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: buz yükü, rüzgâr yükü, ıslak kar, kırağı buz, WRF, atmosferik modelleme

Abstract

Ice and wind create additional loads on the conductor by changing the weight per unit length of the conductor. These loads, which are named as ice loads and wind loads, are of great importance for their investigation as they are extremely effective for towers and conductors. In this study, the outputs of the project "Preparation of Climate Maps According to the Methods Specified in

International Standards", which continues to be developed by ELTEMTEK under the leadership of TEİAŞ, are included. When the project is completed, low and high resolution ice load, wind load and risk maps will be prepared. For the preparation of climatic maps, a state-of-the-art medium-sized atmospheric modeling system called WRF is used. In the study, the working principles of the WRF model are explained and ice load and wind load calculations are also presented. In addition, the outputs from the WRF model were evaluated in line with the failure data provided by TEİAŞ.

Keywords: ice load, wind load, wet snow, rime ice, WRF, atmospheric modeling.

1. Giriş

Buz ve rüzgâr iletim hatlarında çeşitli arızalara neden olabilecek yükler oluşturmaktadır. Bu sebeple buz yükü ve rüzgâr yükünün atmosferik modelleme yardımıyla harita üzerinde gösterilmesi önemlidir. Buz birikimi; kırağı buzlanma (Rime-bulut içi buzlanma), ıslak kar ile buzlanma (Wet snow) ve glaze buzlanma (donan yağmur) kaynaklı olabilmektedir. Bu çalışma içerisinde WRF modelinin çalışması için girdi olarak kullanılan meteorolojik ve coğrafi veriler belirtilmiş ve modelde kullanılan parametrisasyon şemaları açıklanmıştır. WRF4km ve WRF1km isimli iki simülasyon çalıştırılarak düşük ve yüksek çözünürlüklü çıktılar elde edilmiştir. Modelden elde edilen çıktılar kullanılarak TEİAŞ tarafından paylaşılan ekstrem arıza olayları için buz yükü ve rüzgâr yükü hesaplamaları yapılmıştır. Ardından model çıktıları ile ölçüm değerleri kıyaslanarak yorumlanmıştır.

Buzlanma modelindeki temel yaklaşım silindirik yaklaşımdır. Makkonen [1] veya ISO 12494 modeli

olarak da anılan silindirik buzlanma modelinin ana varsayımı, buzlanma olayı sırasında buz kovanının silindirik geometrisinin korunabilmesi için buzlanmanın radyal yönde birikmesidir. Gerçekte, buzlanma yalnızca iletkenin yukarı akış (açıkta kalan) tarafında meydana gelir, ancak iletkenin bükülmesinin yanı sıra iletken yüzeyinde buz kayması nedeniyle, gözlenen buzlanma genellikle silindirik şekilli olarak tanımlanır [2]. Silindirik buzlanma modelinin buz birikimi için temel denklemi aşağıdaki gibidir:

$$dM/dt = a1 * a2 * a3 * w * V * D \quad (1)$$

Burada dM/dt buzlanma oranını ifade etmek üzere; w , havadaki buzlanma partiküllerinin kütle konsantrasyonudur (kg/m^3). $a1$, $a2$ ve $a3$ sırasıyla; çarpışma, yapışma ve büyüme verimlilik katsayılarıdır. D buzlu silindirin toplam çapı iken V cisme dik olan parçacıkların hızıdır [m/s].

2. WRF Modeli

WRF Hava Tahmin ve Araştırma Modeli (Weather Research and Forecasting Model) hem operasyonel tahminlerde hem de atmosferik araştırmalarda kullanılan, son teknoloji bir orta ölçekli sayısal hava tahmin sistemidir [3]. Çalışmada kullanılan model versiyonu, V4.1.2 [4]'dir. WRF modelinin geliştirilmesi, ABD'deki güçlü bir bilimsel ve idari topluluk tarafından desteklenmektedir. Kaynak kodları halka açıktır.

2.1. Parametreleştirmeler

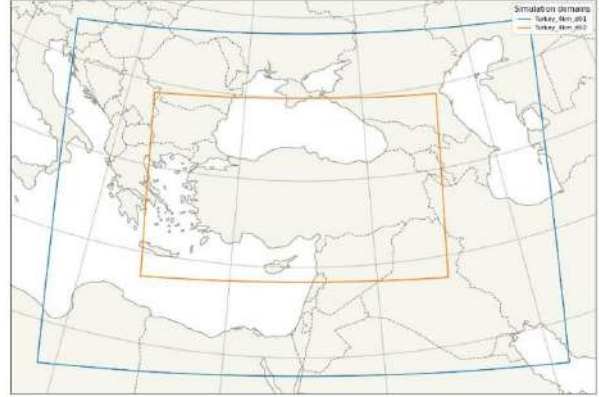
Parametreleştirmeler, model tarafından açıkça tanımlanamayacak kadar karmaşık süreçlerin basitleştirilmiş açıklamalarıdır. Bu tür süreçlerin örnekleri; türbülanslı hareketler, bulut oluşumları ve radyasyon süreçleridir. WRF model sisteminde birçok farklı parametreleştirme şeması uygulanmıştır. Bazı şemalar genellikle belirli fenomenleri tanımlama ihtiyaçlarına göre şekillendirilirken, diğerleri genel koşullar için daha uygundur. Bu nedenle, daha karmaşık şemaların daha basit şemalardan daha iyi sonuçlar vermesi her zaman geçerli değildir. Mevcut analiz için en önemli parametreleştirme şemaları Tablo 1'de listelenmiştir [5].

Tablo 1. WRF geçmiş tahmin simülasyonları için seçilen anahtar parametreleştirme şemalarının listesi

Süreç	Parametizasyon Şeması
Gezegen Sınır Tabakası	Mellor- Yamada- Nakanishi-Niino (MYNN)
Yüzey Katmanı	MYNN Yüzey Katmanı
Arazi Yüzeyi	NOAH Arazi Yüzeyi Modeli
Bulut Mikro fizik	Thompson Aerosol-Aware Şeması
Radyasyon	RRTMG Kısa ve Uzun dalga Şemaları

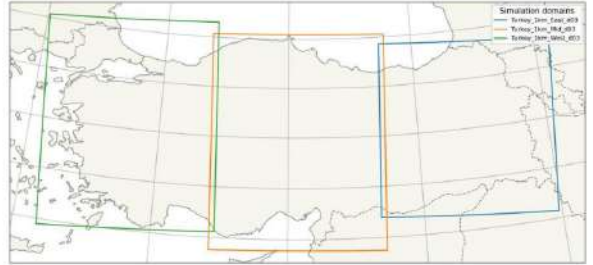
2.2. Model Alanları

Çalışma içerisinde düşük çözünürlüklü WRF4 ve yüksek çözünürlüklü WRF1km farklı alanlar üzerinde simüle edilmiştir. WRF4km isimli simülasyon dışarıda $16km*16km$ içeride ise $4km*4km$ olmak üzere çevrelenen 2 domain alanından oluşmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Planlanan WRF4km geçmiş tahmin simülasyonunun model alanı

WRF1km için kurulan simülasyon ise dışta $15km*15km$, ortada $5km*5km$ ve içte $1km*1km$ olacak şekilde iç içe 3 domain alanından oluşmaktadır. Yüksek çözünürlükte detayları net belirtebilmek adına $1km*1km$ ölçeği, Türkiye'yi Batı, Orta ve Doğu olmak üzere 3 parçaya simüle etmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Planlanan WRF1km geçmiş tahmin simülasyonlarının model alanları (yalnızca en içteki)

2.3. Giriş Verileri

Simülasyon sonuçlarının doğruluğu modele girilen verilerin doğruluğu ile ilişkilidir. Atmosferik model için en önemli girdi verileri meteorolojik ve coğrafi verilerdir. Meteorolojik veriler Avrupa Orta Menzilli Hava Tahmin Merkezi'nden (ECMWF) alınan ERA5 reanaliz verileridir ve yaklaşık $30 km$ 'lik bir uzamsal çözünürlükle mevcuttur. Veriler 1 saatlik zaman aralığına sahiptir. Çalışmada kullanılan coğrafi veriler ise ABD Jeolojik Araştırması (USGS) veri kümesinden alınmıştır. Veriler, 5 yumuşak geçiş uygulanarak WRF ızgara çözünürlüğüne dönüştürülmüştür [4]. WRF sadece atmosferi modelleyen bir sistem olduğundan Deniz Yüzeyi Sıcaklığı (SST) değerini modelleyememektedir. Bu

sebeple SST değerleri veri setinden çekilerek 24 saatlik periyotlar ile modele girilmiştir.

3. Rüzgâr, Buz ve Kombine Yüklerin Hesaplanması

Rüzgâr, buzlanma ve kombinasyon nedeniyle iletim hatlarındaki yükleri açıklayan değişkenler, WRF modelinin standart çıktısında bulunmamaktadır ve ek hesaplama ile işlenmesi gerekmektedir.

3.1. Rüzgâr Yükü Hesaplanması

Yerden verilen yükseklikte m/s cinsinden rüzgâr hızı, test simülasyonlarından türetilir ve alanın her bir grid hücresindeki maksimum rüzgâr hızına dayalı bir rüzgâr haritası çizilmiştir. Yerden 10 m yükseklikteki rüzgâr hızı, doğrulama için hava istasyonlarının bulunduğu yerde çıkarılırken, yerden 20 m yükseklikteki maksimum rüzgarlar, iletim hattı iletkenlerinin yüksekliğindeki rüzgâr alanını temsil etmek için kullanılmıştır. Bu raporda rüzgâr hız (m/s) cinsinden sunulmuştur, ancak dinamik rüzgâr basıncı q_w (N/m^2) aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$q_w = 0.5\rho airV^2 \quad (2)$$

Burada ρair hava yoğunluğu (deniz seviyesinde $1,225 \text{ kg/m}^3$) ve V yatay rüzgâr hızıdır (m/s). Yatay rüzgâr yükü (Q_w), şekil faktörünün 1.0'a eşit olduğu varsayılarak, dinamik rüzgâr basıncının iletken çapı ile çarpılmasıyla elde edilmektedir [5].

3.2. Kırağı Buz Yükü Hesaplanması

Kırağı tipi buzlanma bulut içi buzlanma olarak da ifade edilmektedir. Bu tür buzlanma yağış olmadan da gerçekleşmektedir. Esas olarak havanın hızına ve nemine bağlıdır. Kırağı buz yükü birikimi silindirik yaklaşıma dayalı olarak hesaplanır. Bu raporda kırağı için kullanılan model, donan/çiseleyen yağmurun neden olduğu glaze buzunun etkisini de içermektedir.

$$\frac{dM}{dt} = a1 * a2 * a3 * LWC * V * A \quad (3)$$

Burada dM/dt buzlanma oranını ifade etmek üzere; LWC sıvı su içeriğidir (g/m^3 başına ölçülür). $a1$, $a2$ ve $a3$ sırasıyla; çarpışma, yapışma ve büyüme verimlilik katsayılarıdır. A nesnenin kesit alanı iken (m^2) V parçacığın hız vektörüdür (m/s). $a1$ Kırağı buz yükü için 0.9 kabul edilmiştir.

$$a2 = 1/v \quad (4)$$

Burada v , rüzgâr hızıdır. $v < 1$ m/s olduğunda $a2=1$ kabul edilmektedir.

$$a3 = \frac{Q_f}{(F * L_f) * (1 - \lambda)} \quad (5)$$

Burada Q_f donma sırasında açığa çıkan gizli ısı, λ büyümenin (birikmenin)sıvı fraksiyonu, F suyun yüzeye olan akış yoğunluğu, L_f füzyonun gizli ısısıdır (cal/g) [6]. Önceki çalışmalarda $a1$ hesaplanırken MVD (medyan

hacim çapı) yaklaşımı dikkate alınırken bu yaklaşım kaynaklı oluşabilecek hataları önlemek adına bu proje içerisinde Tam Damlacık Çapı yaklaşımı kullanılarak $a1$ hesaplanmıştır. Çeşitli damlacık boyutu dağılımları ("Langmuir dağılımları" olarak anılır) Tablo 2'de gösterildiği gibi uygulanmıştır. Tablodaki sayılar, çeşitli aralıklardaki damlacık çapının MVD'ye oranını ifade etmektedir. [2].

Tablo 2. Langmuir damlacık boyutu dağılımları (Sayılar, farklı aralıklarda damlacık çapı oranını, harfler ise dağılımları ifade etmektedir)

LWC fraction	A	B	C	D	E	F	G	H	J
0.05	1.00	0.56	0.42	0.31	0.23	0.18	0.13	0.10	0.06
0.1	1.00	0.72	0.61	0.52	0.44	0.37	0.32	0.27	0.19
0.2	1.00	0.84	0.77	0.71	0.65	0.59	0.54	0.50	0.42
0.3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.2	1.00	1.17	1.26	1.37	1.48	1.60	1.73	1.88	2.20
0.1	1.00	1.32	1.51	1.74	2.00	2.30	2.64	3.03	4.00
0.05	1.00	1.49	1.81	2.22	2.71	3.31	4.04	4.93	7.34

3.3. Islak Kar Buz Yükü Hesaplanması

Islak kar, donma noktasının hemen üzerindeki sıcaklıklarda kar yağışı sırasında oluşur. Daha soğuk hava katmanından düşen kar parçacıkları, yere daha yakın olan sıcak havaya girdiklerinde erimeye başlar. Kar tanelerinin erimesinin meydana geldiği dikey mesafeye atmosferin eriyen tabakası denir ve eriyen tabakanın içinde bir yapı (örneğin bir enerji iletim hattı) bulunduğu ıslak kar birikmesi gerçekleşebilir. Islak kar buz yükü birikimde (1) nolu denklem kullanılmaktadır. Verimlilik kat sayıları ise aşağıdaki gibi hesaplanır [6]:

$$a1 = A - 0.028 - C(B - 0.0454) \quad (6)$$

$$İken; \quad A = 1.066K^{-0.00616} \exp(-1.103K^{-0.688}) \quad (7)$$

$$B = 3.641K^{-0.498} \exp(-1.497K^{-0.694}) \quad (8)$$

$$C = 0.00637(\varphi - 100)^{0.381} \quad (9)$$

$$K = \rho w MVD^2 / 9\mu D \quad (10)$$

$$\varphi = Re^2 / K \quad (11)$$

$$Re = \rho a MVDv / \mu \quad (12)$$

olacaktır. Burada; ρa havanın yoğunluğu, u Havanın viskozitesi ve MVD Medyan Hacim Çapı'dır (mm). Islak kar yükü birikimi için $a1$ değeri kırağı buz yükü için kullanılan denklemle temelde benzerlik gösterirken MVD sabit bir değer olarak 0.322 mm alınmıştır. SR yağışın donmuş fraksiyonu olmak üzere; $a2$; $0.5 < SR < 0.98$ için,

$$a2 = \frac{(1 - \cos(9 * SR - 4.5))}{2 * U^{0.4}} \quad (13)$$

Diğer durumlarda,

$a2 = 0$ kabul edilmiştir.

$$a_3 = 1 \quad (14)$$

a_3 büyüme verimlilik katsayısı ıslak kar yükü birikiminde 1 kabul edilmiştir [5].

3.4. Kombine Yük Hesaplanması

Kombine yük Q_{wI} [kg/m] buzlu iletkenler üzerindeki rüzgâr nedeniyle oluşan yatay yük olarak anılır. Simülasyonun her zaman adımında dinamik rüzgâr basıncının toplam buz çapı (iletken + buz) ile çarpılmasıyla elde edilmiştir. Rüzgâr ve buzlanma kombinasyonundan kaynaklanan yatay yük aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$Q_{wI} = C I q_w D \quad (15)$$

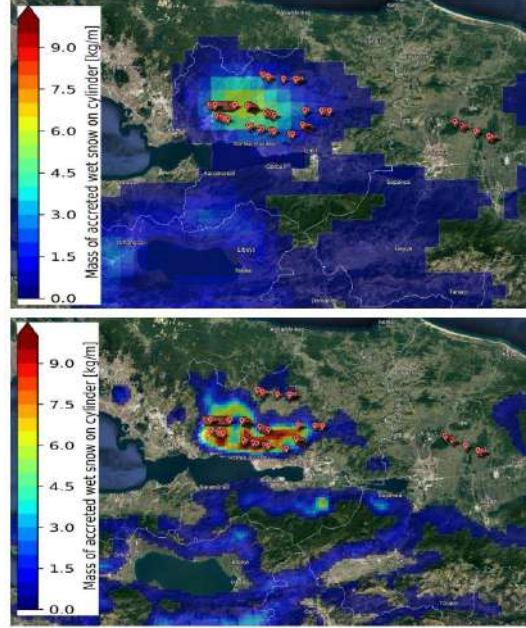
Burada, $C I$ buzlu iletkenin şekil faktörü (1 olarak kabul edilmiştir), q_w dinamik rüzgâr basıncı, D ise buz dahil iletken çapıdır [5].

4. Test Simülasyonlarının Sonuçları

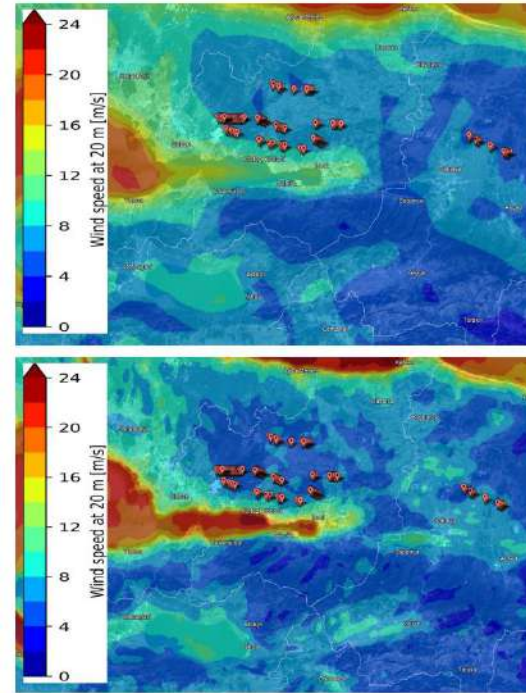
İklimsel Haritaların Uluslararası Standartlarda Belirtilen Yöntemlere Göre Hazırlanması Projesi kapsamında WRF modeli 40 yıllık geçmiş veri setini kullanarak bütün ülke için çalıştırılacak ve haritalandırılacaktır. Modelin simülasyonları tamamlaması WRF4km için 80-90 gün arasında iken WRF1km için 180-220 gün arasındadır. Çıktıların depolanması için gerekli alan ise WRF4km için yaklaşık 16TB iken WRF1 km için 4TB olarak varsayılmıştır [5]. Çalışmanın bu aşamasında WRF modeli gerçekleşen bazı ekstrem arızalar için simüle edilmiş ve değerlendirme yapılmıştır.

4.1. Marmara Bölgesi, 29 Aralık 2016 (Buzlanma ve Rüzgâr Olayı)

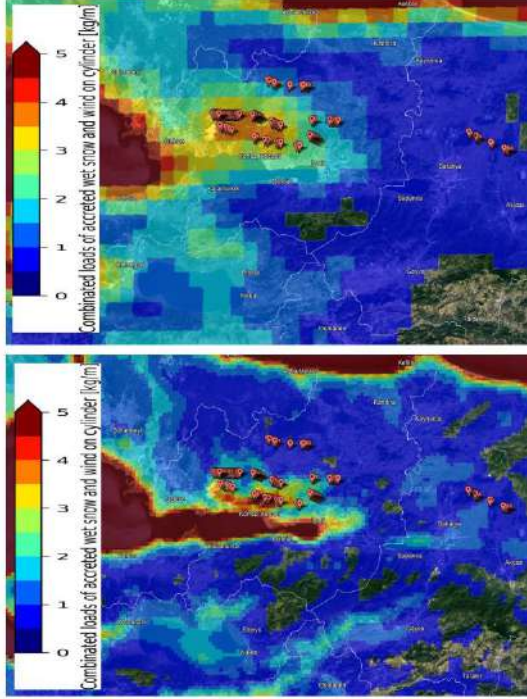
Şekil 3 WRF1km ve WRF4km çıkışına dayalı olarak 29 Aralık 2016'da Marmara bölgesinde ıslak kar nedeniyle maksimum buz kütlesi kütlesini ve arızaların kaydedildiği direklerin konumlarını göstermektedir. Rüzgâr ve kombine yükler için değerler Şekil 4 ve Şekil 5'te gösterilmiştir. WRF modeli, doğu kısımlardaki direkler hariç, arızaların kayıtlı olduğu bölgede yüksek miktarda buzlanma göstermektedir. Rüzgâr hızları karalarda deniz bölgesindeki rüzgâra kıyasla daha düşük tespit edilmiştir. Kombine ıslak kar ve rüzgâr yükleri WRF1km için hem buz birikiminin hem de rüzgâr hızlarının nispeten yüksek olduğu güneyde olayı simüle edebilmiştir. WRF4km ve WRF1km'den elde edilen sonuçlar genellikle tüm değişkenler için aynı modeli göstermektedir, ancak WRF1km'de buz yükleri, rüzgâr hızları ve kombine yükler daha yüksek olarak gözlemlenmiştir.



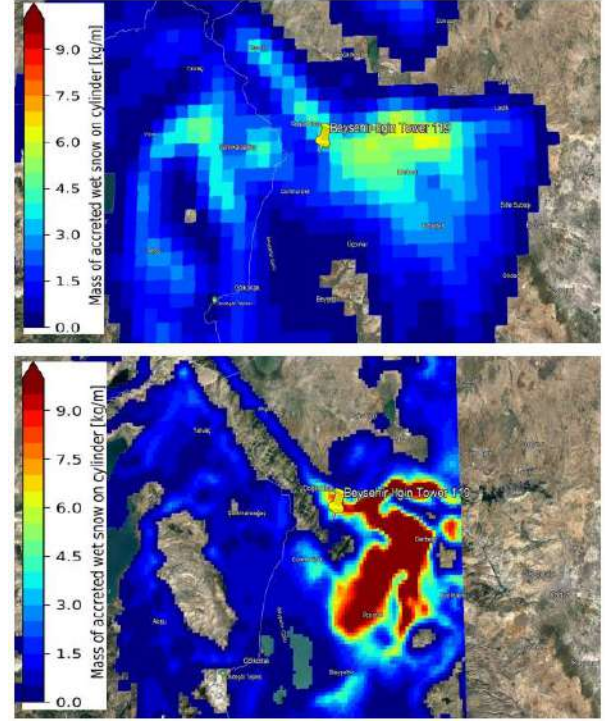
Şekil 3. 29 Aralık 2016 WRF4km (üst) ve WRF1km (alt) bazında biriken ıslak kar kütlesi (kg/m). Direk arızalarının kaydedildiği yerler belirtilmiştir (kırmızı)



Şekil 4. 29 Aralık 2016 WRF4km (üst) ve WRF1km (alt) bazında 20 m'de (m/s) rüzgâr hızları. Direk arızalarının kaydedildiği yerler belirtilmiştir (kırmızı).



Şekil 5. 29 Aralık 2016 WRF4km (üst) ve WRF1km (alt) bazında kombine ıslak kar ve rüzgâr (kg/m) yükleri. Direk arızalarının kaydedildiği yerler belirtilmiştir (kırmızı)



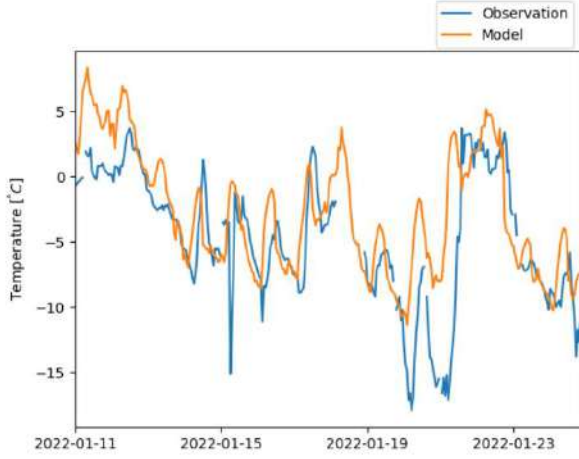
Şekil 6. 26-27 Ocak 2019 WRF4km (üst) ve WRF1km (alt) bazında biriken ıslak kar kütlesi (kg/m) 154 kV Beyşehir-Ilgın EİH 119 nolu direk arızasının yeri belirtilmiştir (sarı)

4.2. 154 kV Beyşehir-Ilgın EİH, 26-27 Ocak 2019 (Buzlanma Olayı)

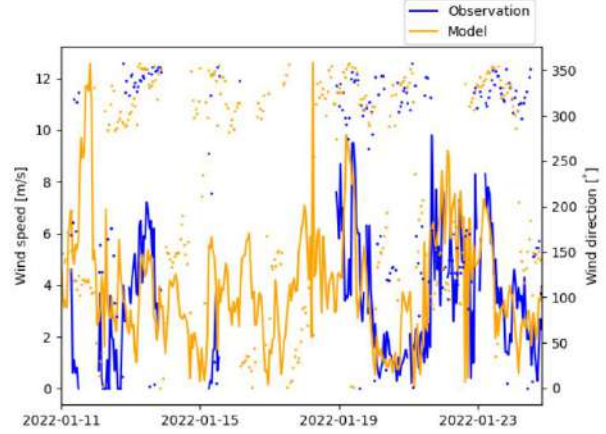
Şekil 6, WRF4km ve WRF1km çıkışına dayalı olarak 26-27 Ocak 2019 tarihlerinde 154 kV Beyşehir-Ilgın enerji iletim hattının yakınındaki bölgede ıslak kar nedeniyle maksimum buz birikimi kütlesini ve arızanın meydana geldiği direğin konumunu göstermektedir (154 kV Beyşehir-Ilgın EİH 119 nolu direği) WRF model sonuçları, direğin doğu ve güney doğusundaki bir bölgede yüksek miktarda buzlanma olduğunu göstermektedir. WRF1km'den gelen buz yükleri önemli ölçüde daha yüksektir ve WRF4km'den gelen buz yüklerinden daha geniş bir bölgeyi kapsamaktadır.

4.3. Ölçümler ile Doğrulama

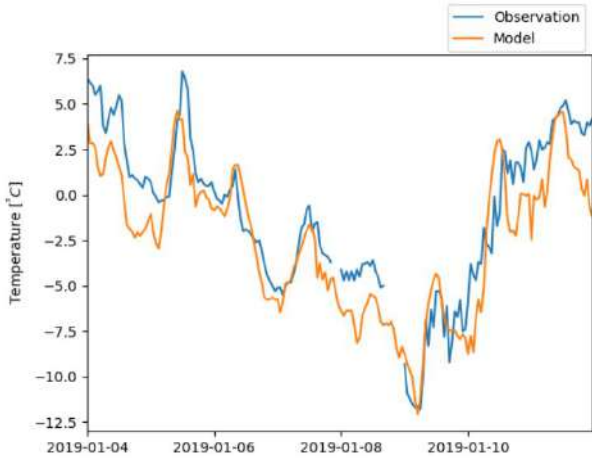
Çalışmanın bu bölümünde TEİAŞ tarafından sağlanan rüzgâr ve buzlanma arızaları ile ilgili meteorolojik ölçüm verileri WRF4km çıktı verileri ile karşılaştırılmıştır. Şekil 7, Konya bölgesi 11-24 Ocak 2022 tarihinde ve Şekil 8 154 kV Ardıçlı Res-Bağlar Res EİH 4-11 Ocak 2019 tarihleri arasında gözlemlenen 2m sıcaklık zaman serilerini göstermektedir. Turuncu çizgi model çıktılarını gösterirken mavi çizgi ise TEİAŞ'tan alınan ölçüm verilerini göstermektedir. Konya'da WRF4km, gözlemlenen çok düşük sıcaklıklar için sıcaklıkları gerçekleştiren yüksek tahmin etme eğilimindeyken, 154 kV Ardıçlı Res- Bağlar Res EİH arıza lokasyonundaki en düşük sıcaklıklar WRF4km ile iyi bir şekilde temsil edilmiştir. Sıcaklık için ortalama mutlak hata, Konya'da 3.1 °C ve 154 kV Ardıçlı Res-Bağlar Res EİH'nda 1.8 °C olarak hesaplanmıştır.



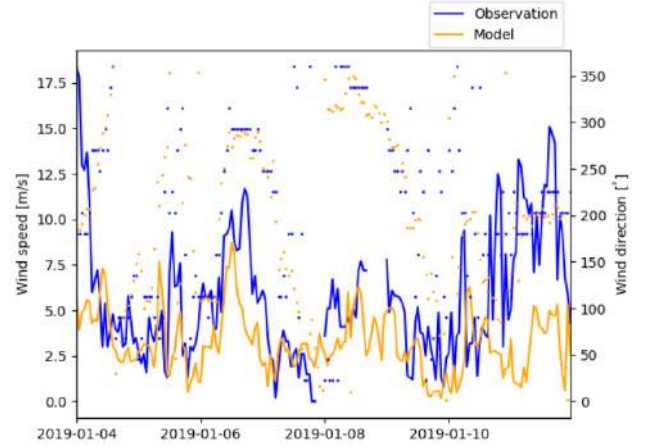
Şekil 7. Konya bölgesi ölçüm istasyonlarından ve ilgili istasyonun konumuna en yakın grid noktasındaki WRF 4km simülasyonundan alınan (turuncu) gözlemlenen (mavi) 2m'deki sıcaklık



Şekil 9. Konya bölgesi ölçüm istasyonlarından alınan gözlem verileri (mavi); WRF 4km simülasyonu verileri (turuncu) iken 10m'de rüzgâr hızı (düz çizgiler) ve yönünü (noktalar) gösterir



Şekil 8. 154 kV Ardıçlı Res-Bağlar Res EİH'na yakın ölçüm istasyonlarından ve ilgili istasyonun konumuna en yakın grid noktasındaki WRF 4km simülasyonundan alınan (turuncu) gözlemlenen (mavi) 2m'deki sıcaklık



Şekil 10. 154 kV Ardıçlı Res-Bağlar Res EİH'na yakın ölçüm istasyonlarından alınan gözlem verileri (mavi); WRF 4km simülasyonu verileri (turuncu) iken 10m'de rüzgâr hızı (düz çizgiler) ve yönünü (noktalar) gösterir

Şekil 9, 10 m'de gözlemlenen ve modellenen rüzgâr hızı ve yönünün karşılık gelen zaman serisini Konya ili için, Şekil 10 ise 154 kV Ardıçlı Res-Bağlar Res EİH için göstermektedir. Genel olarak, WRF verileri, gözlemlenen verilerle uyumludur. Rüzgâr için, her iki lokasyonda da gözlemler ile WRF4km arasında genellikle iyi bir uyum vardır. 154 kV Ardıçlı Res-Bağlar Res EİH'nda WRF modeli, rüzgâr güney-güneybatıdan geldiğinde hızını daha düşük hesaplama eğilimindedir. Bu yöne bağlı özelliklerin, WRF4km tarafından iyi temsil edilmeyen güneydeki yüksek bir bölge ile ilgili olabileceği düşünülmektedir. Rüzgâr için ortalama mutlak hata, 1,9 m/s ve 154 kV Ardıçlı Res-Bağlar Res EİH'nda 3,1 m/s'dir. WRF4km'de 154 kV Ardıçlı Res-Bağlar Res EİH'nda daha büyük rüzgâr hatasının olması eğbeli arazi olması ile açıklanabilmektedir.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, Türkiye için WRF ön tahmin simülasyonlarının hazırlanması ve kurulumu sırasında, modelin başarılı performansını sağlamak için çeşitli yönleri araştırılmıştır. Bunlar hem teknik hem pratik hem de akademik konuları içermektedir. WRF4km ve WRF1km için model alanları tasarlanmış ve WRF1km için üç simülasyon alanı oluşturulmuştur. Modelde kullanılacak coğrafi girdi verileri ve meteorolojik girdi verileri araştırılmıştır. Simülasyonları gerçekleştirmek için hesaplama kaynakları ve sonradan işlenmiş WRF verilerini depolamak için gereken disk alanı tahmini olarak belirtilmiştir. WRF4km ve WRF1km kurulumları, buzlanma ve/veya rüzgâr nedeniyle arızalarının kaydedildiği çeşitli olaylar için test edilmiştir. Buz, rüzgâr ve kombine yükler hesaplanmış, görselleştirilmiş ve bildirilen arıza konumlarıyla karşılaştırılmıştır. WRF'den gelen sıcaklık ve rüzgâr değerleri, TEİAŞ

tarafından sağlanan meteorolojik veriler kullanılarak doğrulanmıştır. Çalışma sonuçları değerlendirildiğinde WRF test simülasyonlarının performansları iyi seviyede olduğu gözlemlenmiştir. Genel olarak, buz yükleri, rüzgâr ve kombine yüklerin haritaları, arızalarının konumları ile tutarlıdır. WRF1km, yerel arazi özelliklerinin daha iyi temsil edilmesi ve hem rüzgâr hızı hem de buz yüklerinde yerel maksimum değerlerin temsil edilmesi nedeniyle daha yüksek değerler göstermektedir. Ayrıca, modellenen sıcaklıklar ve rüzgâr değerlerinin, ölçümlerle oldukça uyumlu olduğu gözlemlenmektedir.

6. Kaynaklar

- [1] Makkonen, L., 1984. *Modeling of Ice Accretion on Wires*. Doi: [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1984\)023<0929:MOIAOW>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1984)023<0929:MOIAOW>2.0.CO;2)
- [2] Norconsult, 2022. Climate maps for Turkey, *1a-Initial Validation Studies*,9-10.
- [3] WRF, 2020. [Online]. Doi: <https://www.mmm.ucar.edu/weather-research-and-forecasting-model>.
- [4] C. Skamarock, B. Klemp, J. Dudhia, O. Gill, Z. Liu, J. Berner, W. Wang, G. Powers, G. Duda, D. Barker and X. Huang, A Description of the Advanced Research WRF Model Version 4, 2019.
- [5] Norconsult, 2022. Climate maps for Turkey, *1b – WRF model setup*.
- [6] Thompson G., Nygaard B.E., Makkonen L. and Dierer S., 2009. Using the Weather Research and Forecasting (WRF) Model to Predict Ground/Structural Icing.