

VAN GÖLÜ VE ÇEVRESİ İÇİN WRF-LAKE MODÜLÜNÜN TEST EDİLMESİ

Emirhan Cemek¹, Halil Karakaya¹, Duygu Aktaş Çubuk², Yezdan Yılmaz²¹İstanbul Teknik Üniversitesi Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü²Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Sayısal Hava Tahmini Şube Müdürlüğü

cemek17@itu.edu.tr, halilkarakayaitu@gmail.com, daktas@mgm.gov.tr, yeyilmaz@mgm.gov.tr

Özet

Sayısal hava tahmin modelleri, meteorolojik değişkenlerin tahmin edilmesi, çeşitli hava olaylarının daha iyi anlaşılması vb. konularda fayda sağladığından dolayı; atmosfer bilimlerinde önem teşkil eden araçlardır. Göllerin atmosferik süreçlere etkisi, modelleme çalışmalarında dikkat edilmesi gereken önemli bir husustur. Göl üzerinde birçok değişken (pürüzlülük, albedo, vb.) karaya göre farklılık göstereceğinden dolayı, göl bölgelerinde yapılacak atmosferik model çalışmalarında doğru parametrelerin seçilmesi, modelin başarısını artıracak yönde olacaktır. WRF (Weather Research and Forecasting Model), dünyada birçok ülkenin meteoroloji ofisi tarafından operasyonel olarak kullanılan bir bölgesel hava tahmin modelidir. WRF modelinin güncel versiyonunda (Versiyon 4), göllerin derin katmanlarındaki ve yüzeyindeki sıcaklıkların hesaplanmasında kullanılan bir göl modülü bulunmaktadır. Bu modül 1 boyutlu bir termal difüzyon denklemi kullanarak gölün katmanları arasındaki termal enerji transferlerini hesaplamaktadır. Bu çalışmada WRF-Lake modülünün, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün operasyonel WRF simülasyonlarına sağlayabileceği olası katkının araştırılması amaçlanmıştır. Çalışma alanı olarak Van Gölü ve çevresi seçilmiş olup, başlangıç ve sınır koşulları ECMWF HRES model verisinden sağlanmıştır. Model konfigürasyonu MGM operasyonel WRF simülasyonlarına uygun olarak seçilmiştir. Model sonuçlarının doğrulanması MGM istasyonlarındaki ölçümler ve ERA-5 yeniden analiz edilmiş veri seti kullanılarak yapılmıştır. Sonuçlar, ECMWF Forecast ürününde sıcak periyotta bulunan tutarsız göl yüzeyi sıcaklıkları sebebiyle "sst_update" yönteminin başarısız model sonuçlarına sebep olduğunu göstermektedir. WRF-Lake modülünün mevcut konfigürasyonunun soğuk periyotta operasyonel simülasyonlara katkı sağlamadığı, gerçeğinden çok düşük göl yüzeyi sıcaklıkları tahmin ettiği görülmüştür. Göl modülü, "sst_update" yönteminin kullanılmadığı sıcak periyotta kullanılabilirken, soğuk dönemde kullanılamaz durumdadır. WRF-Lake modülünün operasyonel MGM simülasyonlarında kullanılabilmesi için, modülün Türkiye için kalibrasyonu gelecek çalışmalarda ele alınmalıdır.

Anahtar kelimeler: Sayısal Hava Tahmini, Van Gölü, WRF-Lake**TESTING THE WRF-LAKE MODULE FOR LAKE VAN AND ITS SURROUNDINGS****Abstract**

Numerical weather prediction models are valuable tools in atmospheric sciences, as they aid in the prediction of meteorological variables, the better understanding of various weather phenomena, and other related aspects. The effect of lakes on atmospheric processes is an important issue that should be taken into consideration in modeling studies. Since many variables on the lake (roughness, albedo, etc.) will differ compared to the land, choosing the right parameters in atmospheric model studies to be carried out in lake regions will increase the success of the model. WRF (Weather Research and Forecasting Model) is a regional weather forecast model used operationally by the meteorological offices of many countries around the world. The current version of the WRF model (Version 4) includes a lake module used to calculate temperatures in the deep layers and on the surface of lakes. This module calculates thermal energy transfers between layers of the lake using a 1-dimensional thermal diffusion equation. In this study, it is aimed to investigate the possible contribution of the WRF-Lake module to the operational WRF simulations of the General Directorate of Meteorology. Lake Van and its surroundings were chosen as the study area, and initial and boundary conditions were provided from ECMWF HRES model data. The model configuration was chosen in accordance with MGM operational WRF simulations. Validation of the model results was done using measurements at MGM stations and the ERA-5 reanalyzed data set. The results show that the "sst_update" method causes unsuccessful model results due to inconsistent lake surface temperatures in the warm period in the ECMWF Forecast product. It has been observed that the current configuration of the WRF-Lake module does not contribute to operational simulations in the cold period and predicts lake surface temperatures that are much lower than reality. While the lake module can be used in the hot period when the "sst_update" method cannot be used, it is unusable in the cold period. In order for the WRF-Lake module to be used in operational MGM simulations, the calibration of the module for Türkiye should be addressed in future studies.

Keywords: Numerical Weather Prediction, Lake Van, WRF-Lake

Sorumlu Yazar: Emirhan Cemek

Geliş Tarihi: 28 Mart 2024

Kabul Tarihi: 8 Haziran 2024

Yayın Tarihi: 3 Temmuz 2024

Atf Şekli: Cemek, E., Karakaya, H., Çubuk, D.A., Yılmaz, Y. (2024). Van Gölü ve Çevresi İçin WRF-Lake Modülünün Test Edilmesi, *Atmosfer ve İklim Dergisi*, 1(1), 27-38.

Makale Tipi: Araştırma Makalesi

e-ISSN: 3023-8560

GİRİŞ

Hava tahmini; tarımsal faaliyetlerin sürdürülmesi, güvenlik önlemlerinin alınması, enerji üretimi, ulaşım sektörünün işleyişi vb. faktörlere doğrudan etki ettiği için, bu tahminlerin zamanında ve güvenilir hazırlanması gerekmektedir. Bu tahminlerin hazırlanmasında, sayısal hava tahmin modellerinden yararlanır. Sayısal hava tahmini çalışmalarında, su yüzeylerinin ayrı değerlendirilmesi ve model parametrelerinin ayarlanması, tahmin başarısını artıracak yönde olacaktır. Ekoloji, iklim, hidroloji, turizm vb. konularda büyük bir etken olan göllerde, pürüzlülük, albedo vb. değişkenler karaya göre büyük farklılık gösterdiğinden dolayı, bölgesel çalışmalarda göllerin ayrı değerlendirilmesi, sayısal hava tahmin modellerinde önem arz etmektedir. Bu sebeple, atmosferik modellerde göl yüzeyi sıcaklıklarının çözümlenmesi; diğer meteorolojik süreçlerin tanımlanması için de kritik bir etkidir. WRF atmosferik çalışmalarda ve çeşitli meteorolojik kurumlar tarafından operasyonel olarak kullanılan bir sayısal hava tahmin modelidir. NCAR (National Center for Atmospheric Research) Mesoscale and Microscale Laboratory tarafından geliştirilen ARW (Advanced Research WRF) ve NCEP'in (National Centers for Environmental Prediction) geliştirmekte olduğu NMM (Nonhydrostatic Mesoscale Model) olarak adlandırılan 2 adet temel versiyonu vardır. ARW versiyonu dünyada geniş ölçüde kullanılmaktadır ve birçok alandaki araştırmalar (parametrizasyon, iklim, veri asimilasyonu vb.) için tercih edilmektedir. Modelde farklı fizik paketi seçenekleri bulunmaktadır. Bunlardan biri de CLM (Community Land Model) 4.5 versiyonundan Gu ve arkadaşlarının (2015) yaptığı değişikliklerle WRF modeline entegre edilen göl modelidir (Skamarock vd., 2021). Türkiye Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM), WRF modelini günlük operasyonel olarak çalıştırmaktadır. Ancak bu simülasyonlarda göl modülü kullanılmamaktadır. Bu çalışmada, modülün MGM WRF simülasyonlarına sağlayabileceği olası katkının belirlenmesi amaçlanmıştır. Başlangıç ve sınır koşullarının sağlandığı veri seti olarak, ECMWF HRES kullanılmıştır. ECMWF verisinde bulunan Van Gölü sınırlarının WPS programındaki sınırlar ile uyuşmamasından kaynaklanan hataların giderilmesi için, metgrid programındaki interpolasyon seçenekleri değiştirilmiştir. Hava sıcaklığına göre belirlenen sıcak ve soğuk periyotlardan seçilen toplam 30 günlük simülasyonlar; 3 farklı model konfigürasyonu ile tamamlandıktan sonra, ERA5 yeniden analiz edilmiş veri setinin değerleriyle ve MGM'nin işletmekte olduğu meteoroloji istasyonlarının verileriyle karşılaştırılarak model sonuçlarının doğruluğunun teyit edilmesi amaçlanmıştır. Çalışma alanı olarak Türkiye'nin en büyük gölü olan Van Gölü seçilmiştir. Çalışmanın bulgularının, Türkiye'deki göl bulunan bölgelerde yapılacak olan atmosferik modelleme çalışmalarına katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Göl Modeli (WRF-Lake)

WRF 4.1.5. sürümünde bulunan göl modeli, CLM 4.5 (Community Land Model) versiyonunda (Oleson vd., 2013) entegre şekilde bulunan LISSS (Lake, Ice, Snow and Sediment Simulator) modelinden (Subin vd., 2012); Gu vd. lerinin (2015) yaptığı değişikliklerle alınmıştır. Model, düşeyde 20-25 adet katman içerir. Bu katmanlar 5 adete kadar göl buzundaki kar katmanları, 10 adet su katmanları ve gölün tabanında 10 adet toprak katmanlarıdır. Göl modülü WPS'den (WRF Preprocessing System) elde edilen göl noktaları ve göl derinliği değerleriyle kullanılabildiği gibi, kullanıcının kendi tanımladığı göl noktaları ve göl derinliği ile de kullanılabilir. Göl şeması, kara yüzeyi şemasından bağımsız çalışır ve bu sayede tüm kara yüzeyi şemalarıyla birlikte kullanmak mümkündür (Skamarock vd., 2021). Göl modelinde, su katmanları arasındaki termal transferler, 1 boyutlu düzensiz termal difüzyon denklemi ile çözülür:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\{K_m + K_{ed}\} \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \frac{1}{c} \frac{d\Phi}{dz} \quad (1)$$

Eşitlik 1’de, z yüzeyden itibaren derinliği, K_m moleküler difüzyon katsayısını (m^2s^{-1}), K_{ed} eddy difüzyon katsayısını (m^2s^{-1}), T su sıcaklığını ($^{\circ}C$), c suyun hacimsel ısı kapasitesini ($J.kg^{-1}K^{-1}$), Φ ise z derinliğine kadar nüfuz eden net solar radyasyonu (Wm^{-2}) temsil etmektedir (Hostetler ve Bartlein, 1990). Göl modeli hakkındaki çalışmalar ve gelişmeler (Gu vd., 2015), (Xiao vd., 2016), (Xu vd., 2016), (Ma vd., 2019), (Wu vd., 2020), (Guo vd., 2022) çalışmalarında bulunabilir.

Çalışma Alanı ve Model Seçenekleri

Türkiye’de 100’den fazla göl bulunmaktadır ve bu göllerin yüzölçümleri toplamı yaklaşık 9500 km^2 dir (Hoşgören, 1994). Bu göllerden en büyüğü olan Van Gölü, Türkiye’nin en büyük gölü olması ve literatürde WRF-Lake ile yapılan bir çalışması bulunmadığından dolayı bu çalışmada temel alınacak göl olarak belirlenmiştir. Van İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü internet adresinden Van Gölü hakkında temin edilen bilgiler Tablo 1’de verilmiştir. Çalışma kapsamında WRF modeli ile yapılacak simülasyonlar sonucunda WRF-Lake modülünün başarısı, Van Gölü ve çevresi için test edilmiştir.

Tablo 1. Van Gölü özellikleri (Van İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, t.y.)

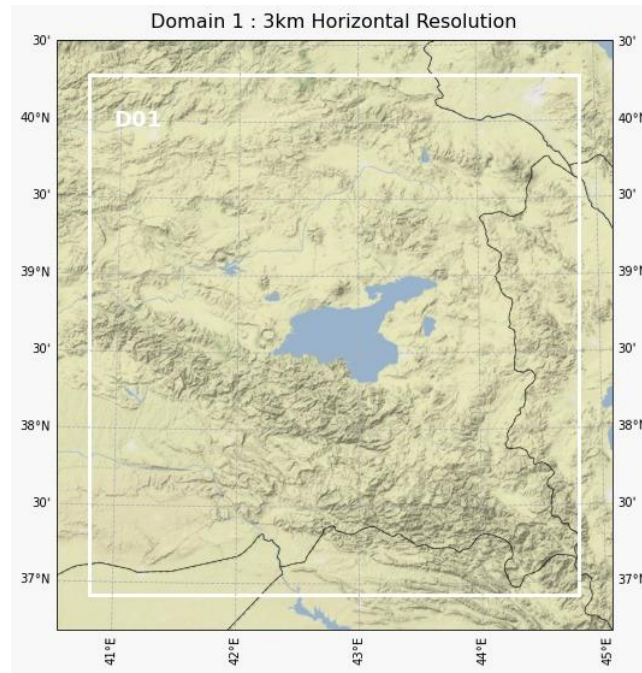
Van Gölü	
Konum	Van, Bitlis
Göl Türü	Tuzlu, Sodalı
Uzunluk	120 km
Genişlik	80 km
Yüzölçümü	3713 km^2
Ortalama Derinlik	171 m
En Büyük Derinlik	451 m
Yüzey Rakımı	1646 m

Simülasyon alanı $38,62^{\circ}$ K enlemi ve $42,797^{\circ}$ D boylamında merkezlenmiş olup, 3 km. aralıklı olacak şekilde batı-doğu doğrultusunda 118, kuzey-güney doğrultusunda ise 125 grid içermektedir. İç içe alanlar (nested domain) kullanılmamıştır. Simülasyon alanı Şekil 1’de verilmiştir. Modelde kullanılan fizik seçenekleri (Tablo 2) MGM’nin operasyonel simülasyonlarına uygunluğu göz önünde bulundurularak seçilmiştir.

Senaryolarda sıcak ve soğuk dönem olarak MGM’nin önerdiği 15 günlük aralıklar kullanılmıştır. Bu senaryolar Tablo 3’te verilmiştir. Model, operasyonel kullanıma benzer olması açısından, her bir senaryo için 15 günlük tek bir simülasyon yerine, günlük olarak 15 ayrı simülasyon ile çalıştırılmıştır.

Tablo 2. Model konfigürasyonu

Model Konfigürasyonu	
WRF Sürümü	4.1.5
Yatay Çözünürlük	3 kilometre
Düşey Çözünürlük	61 seviye (eta)
Zaman Adımı	18 saniye
Mikrofizik	WRF Single-moment 6-class Scheme
Sınır Tabaka	Mellor–Yamada–Janjic Scheme (MYJ)
Kümürlüs Parametrizasyonu	Kapalı
Kısa Dalga Boylu Radyasyon	Dudhia Shortwave Scheme
Uzun Dalga Boylu Radyasyon	RRTM Longwave Scheme
Kara Yüzeyi Şeması	Unified Noah Land Surface Model
Yüzey Tabaka	Eta Similarity Scheme
Kentsel Yüzey Fiziki	Kapalı



Şekil 1. Simülasyonlarda kullanılan çalışma alanı

Tablo 3. Çalışmada kullanılan senaryolar

Senaryo	Tarih	Özellik
S1	04.07.2021 00 UTC - 19.07.2021 00 UTC	Sıcak Periyot
S2	05.02.2022 00 UTC - 20.02.2022 00 UTC	Soğuk Periyot

Göl modelinin başarısının test edilebilmesi için simülasyonlar her tarih için 3 farklı model konfigürasyonu ile yapılmıştır. Kontrol simülasyonu (R1), modelde göl yüzeyi sıcaklıklarının simülasyon boyunca başlangıç koşulundaki değerler olarak alındığı simülasyondur. WRF modeli, varsayılan olarak deniz yüzeyi sıcaklıklarını (SST) tahmin etmemektedir. Yani R1 simülasyonu varsayılan konfigürasyon olmaktadır.

Ancak uzun süreli simülasyonlarda, zamanla değişen SST veri setinin kullanılması fayda sağlamaktadır. Modelin fizik seçeneklerinde “sst_update” adlı seçeneğin aktifleştirilmesi; modelin, verilen SST veri setini okuyarak bu değerleri zamana bağlı olarak güncellemesini sağlar. İkinci simülasyon (R2), “sst_update” seçeneğinin aktifleştirildiği, göl yüzeyi sıcaklıklarının saatlik olarak sınır koşulları göz önünde bulundurularak güncellendiği durumdur. Son simülasyon türünde (R3), göl yüzeyi sıcaklıkları göl modeli tarafından hesaplanmıştır. Simülasyon çeşitleri Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 4. Çalışmada kullanılan simülasyon çeşitleri

Simülasyon	Konfigürasyon
R1	SST güncelleme kapalı, göl modeli kapalı
R2	SST güncelleme açık, göl modeli kapalı
R3	Göl modeli açık

Başlangıç ve sınır koşulları için, ECMWF Operasyonel Atmosferik Model arşivinden temin edilen $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ (~9 km) çözünürlüklü Analysis (Analiz) ve Forecast (Tahmin) ürünleri saatlik olarak kullanılmıştır. Her günün ilk zaman adımı (00 UTC) Analiz ürünü, diğer zaman adımları (01-24 UTC) Tahmin ürünü olacak şekilde temin edilmiştir.

Gözlem Verileri ve Hata Hesabı

Model sonuçlarının doğruluğunun tespit edilmesi için 2 adet veri türü kullanılmıştır. Alansal analizler için yaklaşık 27 kilometre çözünürlüğe sahip olan ERA5 yeniden analiz edilmiş veri seti kullanılmıştır. Noktasal analiz için de MGM tarafından işletilmekte olan gözlem istasyonlarının verileri kullanılarak simülasyon sonuçlarının doğruluğu test edilmiştir. Kara istasyonlarının biri göle yakın, diğeri de gölün doğusunda göle uzak olacak şekilde seçilmiştir. Van ve Bitlis illerinde bulunan toplam 4 adet göl üzerindeki meteoroloji istasyonlarının verileri de göl yüzeyi sıcaklıklarının değerlendirilmesi için kullanılmıştır. Kullanılan MGM istasyonlarının konumları Şekil 2’de istasyon numaraları ve adları da Tablo 5’te verilmiştir. 2 metre yüksekliğindeki sıcaklık, göl yüzeyi sıcaklığı, yağış ve 2 metrede yükseklikteki bağıl nem değişkenleri değerlendirilmiştir. Hata hesaplamalarında Ortalama Hata (Mean Error) ve Tahmin Hatasının Standart Sapması (RMSE) kullanılmıştır.

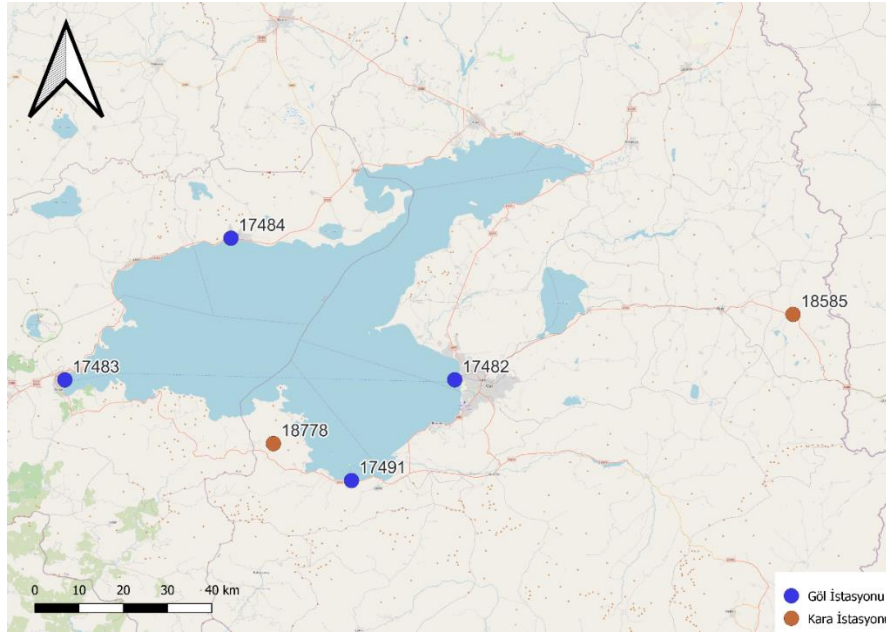
$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i - x \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - x)^2}{n}} \quad (3)$$

Ortalama hata ve tahmin hatasının standart sapması formülleri sırasıyla Eşitlik 2 ve Eşitlik 3’te verilmiştir. Bu eşitliklerde x_i model sonucunu, x gözlem değerini ve n ise gözlem sayısını temsil etmektedir.

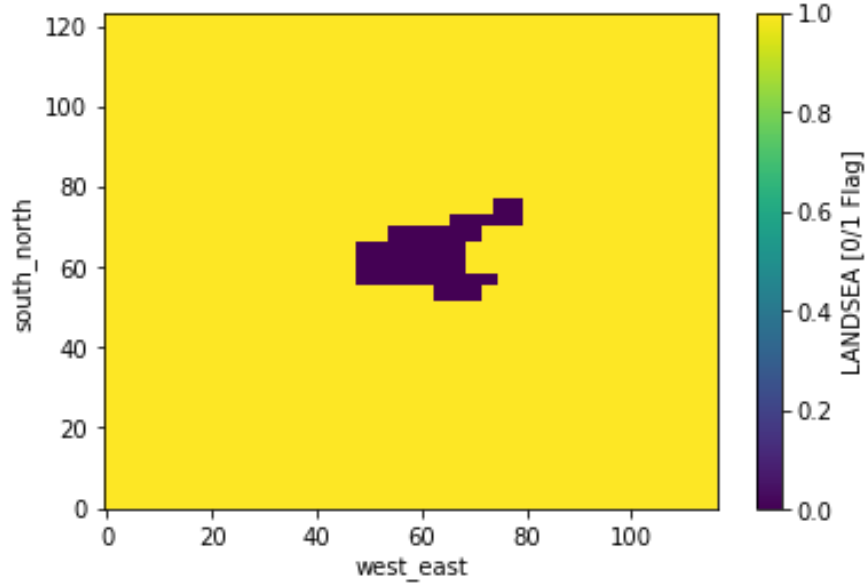
Tablo 5. Çalışmada kullanılan MGM istasyonlarının adları ve numaraları

İstasyon Kodu	İstasyon Adı	İstasyon Türü
18585	Van/Saray	Kara İstasyonu
18778	Gevaş/Aydınocak Köyü	Kara İstasyonu
17484	Adilcevaz Liman	Göl İstasyonu
17483	Tatvan Liman	Göl İstasyonu
17491	Gevaş Akdamar Feneri	Göl İstasyonu
17482	Van Liman	Göl İstasyonu

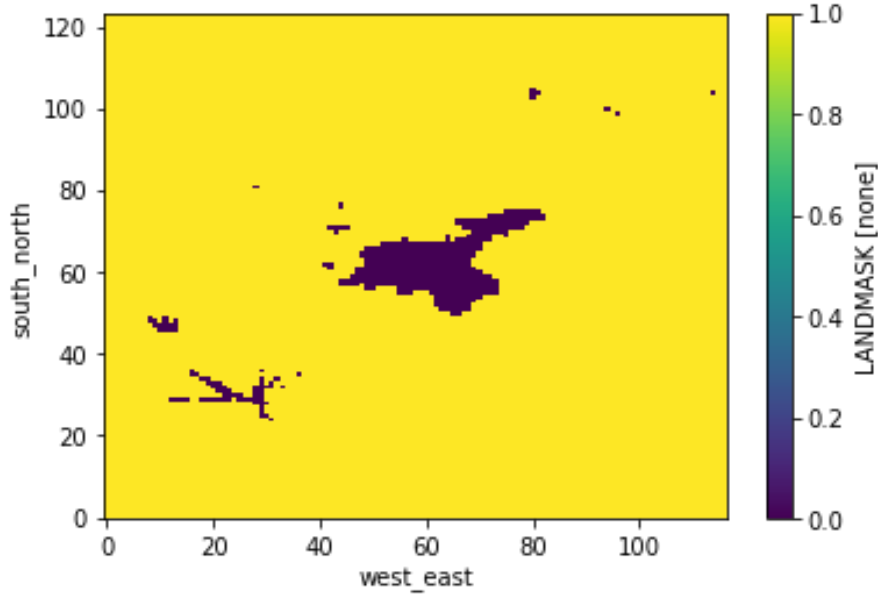

Şekil 2. Çalışmada kullanılan MGM istasyonlarının alansal dağılımı

İnterpolasyon Hatalarının Giderilmesi

Metgrid programı, meteorolojik değişkenlerin simülasyon alanına yatay olarak interpolate edilmesini sağlar. Bazı meteorolojik değişkenler, maskeli interpolasyon yapılmasını gerektirmektedir. Örneğin SST değişkeninde karanın maskelenmesi ve sadece su noktalarından alınan değerler ile interpolasyon yapılması gereklidir. Her bir meteorolojik değişken için metgrid interpolasyon seçeneklerinin bulunduğu "METGRID.TBL" dosyası, nadiren düzenlenmesi gereken bir dosya olmasına karşın, bu çalışmada Van Gölü yüzeyi sıcaklıklarının interpolasyonunda hatalar tespit edildiği için bazı düzenlemeler yapılmıştır. Bu hatalar, karada deniz yüzeyi sıcaklığı bulunması, SST değişkeninin gölün gerçek sınırlarının dışına taşması vb. hatalardır. Bu hatalar, Şekil 3 ve Şekil 4'te görüldüğü üzere ECMWF verisinde bulunan Van Gölü sınırlarının WPS programındaki sınırlar ile uyuşmamasından kaynaklanmaktadır. Sorunun çözümü için varsayılan SST interpolasyon yöntemleri olan "Sixteen-point overlapping parabolic interpolation" ve "Four-point bi-linear interpolation" yerine bu iki interpolasyon yönteminin çalışmadığı durumda metgrid programının başvurması için "Weighted four-point average interpolation", "Weighted sixteen-point average interpolation" ve "Breadth-first search interpolation" yöntemleri eklenmiştir. Ayrıca interpolasyon için kullanılacak SST değerlerinin ECMWF verisindeki gölün içinde bulunan noktalardan alınması ve WPS programındaki göl sınırları içerisine interpolate edilmesinin sağlanması adına, METGRID.TBL dosyasında ilgili kod satırları değiştirilmiştir.



Şekil 3. ECMWF verisindeki Van Gölü sınırları



Şekil 4. WPS programındaki Van Gölü sınırları

BULGULAR

Alansal analizde sıcaklık, nem ve yağış değişkenleri incelenirken 38° - 39.5° K enlemlerinin ve 42° - 44° D boylamlarının sınırladığı bölgede alansal ortalama alınmıştır. Göl yüzeyi sıcaklığı değişkeni için de göl sınırları kapsamında alansal ortalama uygulanmıştır. Noktasal analiz için, istasyona en yakın grid noktasının değeri dikkate alınmıştır. Zaman serilerinde birbirine yakın değerler grafiklerin anlaşılabilirliğini düşürdüğü için, simülasyonların RMSE değerleri tablo olarak verilmiş olup, gerekli görülen yerlerde zaman serisi ve şekillere yer verilmiştir.

Alansal Analiz

Sıcak ve soğuk dönem simülasyonları ERA5 veri setiyle alansal ortalama alınarak karşılaştırıldığında, R2 simülasyonunun her iki mevsimde de daha başarılı olduğu söylenebilir. Sıcak dönem RMSE değerlerine

bakıldığında (Tablo 6) simülasyonlar arasındaki hataların göl yüzeyi sıcaklığı haricinde birbirine yakın olduğu görülmektedir. Sıcak dönemde kesin bir üstünlük gösteren simülasyon çeşidi yoktur ancak soğuk dönem senaryosunda R2 simülasyonunun en düşük RMSE değerlerine sahip olması (Tablo 7), “sst_update” yönteminin iyi sonuç verdiğini göstermektedir. İki senaryoda da simülasyonlar arasındaki en büyük farklar göl yüzeyi sıcaklığı değerlerinde görülmüştür. R2 simülasyonu 2 senaryoda da oldukça başarılıdır. Bu başarı, ERA5 verisi üretilirken ECMWF modellerinin kullanılıyor olması sebebiyle yanıltıcı olabilir. Çünkü R2 simülasyonunda göl yüzeyi sıcaklıkları ECMWF SST verisine göre güncelleneceğinden dolayı sonuçlar taraflı çıkabilir. Bu sebeple istasyonlar da kullanılarak noktasal analiz yapılmıştır.

Tablo 6. Sıcak periyot için ERA5 veri setine göre hata hesabı (RMSE)

Simülasyon/Değişken	Sıcaklık	Göl Yüzeyi Sıcaklığı	Bağıl Nem	Yağış
R1	2,254	3,092	6,230	0,196
R2	2,135	1,453	6,100	0,211
R3	2,266	3,154	5,908	0,213

Tablo 7. Soğuk periyot için ERA5 veri setine göre hata hesabı (RMSE)

Simülasyon/Değişken	Sıcaklık	Göl Yüzeyi Sıcaklığı	Bağıl Nem	Yağış
R1	2,811	2,376	12,002	1,351
R2	2,474	0,552	11,891	1,240
R3	2,940	3,309	11,908	1,320

Noktasal Analiz

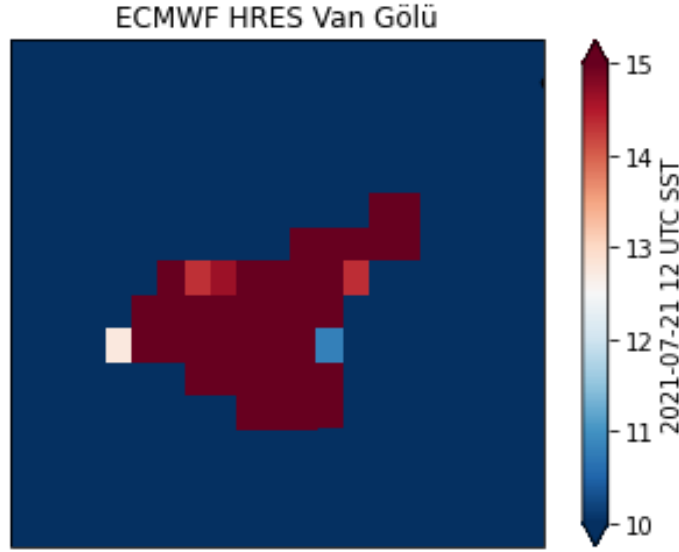
Model sonuçları istasyon verileriyle karşılaştırıldığında, mevsimlere göre doğruluk oranlarının farklılık gösterdiği görülmüştür. Sıcak periyot senaryosu (Tablo 8) sıcaklık değişkenindeki RMSE değerleri birbirine yakın olsa da, göl modülünün kullanıldığı R3 simülasyonunun daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Bağıl nem ve yağış değişkenlerinde ise ilk 2 simülasyon türü daha başarılı olmuştur ve göl modülünün kullanıldığı simülasyon başarısızdır. Sıcak dönem senaryosu göl yüzeyi sıcaklıkları incelendiğinde en başarılı simülasyonun R1 simülasyonu olduğu görülmektedir.

Tablo 8. Sıcak periyot için MGM istasyonlarına göre hata hesabı (RMSE)

Simülasyon/Değişken	Sıcaklık		Göl Yüzeyi Sıcaklığı				Bağıl Nem		Yağış	
	İstasyon Numarası									
	18585	18778	17484	17483	17491	17482	18585	18778	18585	18778
R1	1,661	3,499	1,992	1,231	2,43	3,58	8,466	32,085	4,785	3,55
R2	1,687	3,535	6,671	17,903	2,468	14,88	8,611	30,882	4,356	4,023
R3	1,657	3,498	1,729	1,511	2,662	3,718	8,567	32,218	6,122	4,558

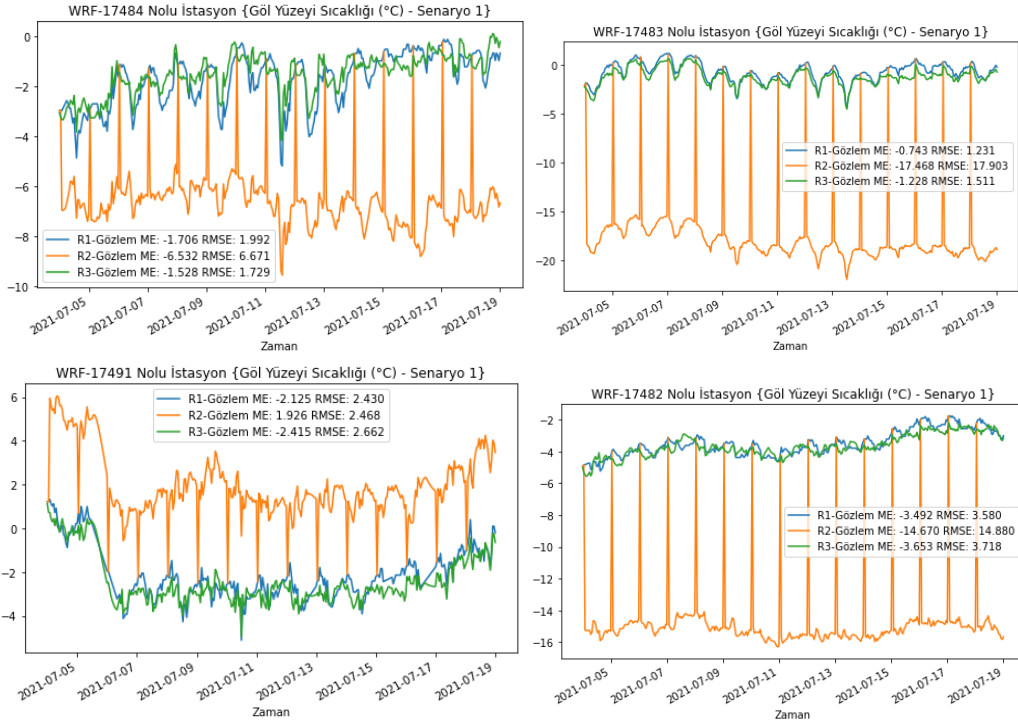
Dikkat çeken bir unsur ise, R2 simülasyonunda sıcak periyot senaryosunda gözlenen yüksek RMSE değerleridir. 17491 numaralı göl istasyonu hariç diğer göl istasyonlarında R2 simülasyonunun çok başarısız değerler tahmin ettiği görülmektedir. Yapılan incelemeler sonucunda bu durumun ECMWF Tahmin verisinde bulunan tutarsızlıklardan kaynaklandığı belirlenmiştir. Analiz verisinde Van Gölü yüzeyi sıcaklıkları doğru temsil edilse de Tahmin verisinde gölün kenarlarında olması gerekenden çok düşük sıcaklık değerleri bulunmaktadır. Şekil 5’te verilen 12 Temmuz günü 12 UTC ECMWF Tahmin ürününün göl yüzeyi sıcaklık alanı incelendiğinde, gölün kenarlarındaki soğuk grid noktalarını görmek mümkündür. Şekilde 20°C ve üzeri sıcaklıklar koyu kırmızı renkle

belirtilmiştir. Gölün kenarlarında sıcaklıkların 8°C'ye kadar düştüğü görülmektedir. Bu durum diğer günlerde de devam etmektedir. Yani temmuz ayı için ECMWF Tahmin verisinde Van Gölü yüzeyi sıcaklıklarının iyi çözümlenmediği sonucuna varılır. Bu yüzden “sst_update” yöntemi hatalı değerler üretmektedir. R1 simülasyonunda Analiz ürünündeki göl yüzeyi sıcaklığı sabit olarak alındığından dolayı, Tahmin verisindeki tutarsızlıklar sonuçlara etki etmemektedir. Şekil 6'da görüldüğü üzere, yalnızca Analiz ürünündeki göl yüzeyi sıcaklıkları tutarlı olduğundan dolayı, R2 simülasyonu her gün yalnızca bir kere doğru sıcaklık değerine yaklaşmaktadır. 17483 istasyonunda ortalama hata (mean error) değeri -17,468 olan R2 simülasyonu, gerçek göl yüzeyi sıcaklığından günde yaklaşık 17,5°C uzaklaşmaktadır. Bu durum, ECMWF Tahmin verisinin temmuz ayında “sst_update” yöntemi için uygun olmadığını göstermektedir.

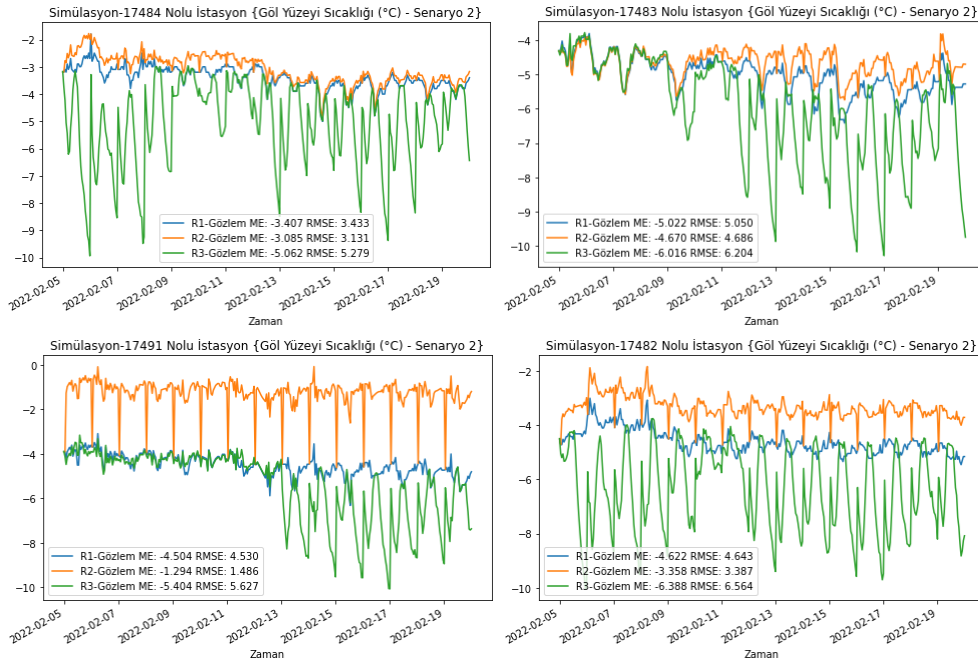


Şekil 5. Temmuz ayı ECMWF Tahmin verisindeki Van Gölü yüzeyi sıcaklığı (°C)

Soğuk periyotta en başarılı simülasyon R2 olmuştur (Tablo 9). Kış mevsiminde ECMWF Tahmin verisi Temmuz ayına kıyasla daha iyi çözümlenmektedir. Bu sebeple göl yüzeyi sıcaklıkları olağandışı değerler almamaktadır. Soğuk dönem senaryosunda “sst_update” yöntemi en başarılı göl yüzeyi sıcaklığı değerlerini elde etmektedir. Göl modülünün soğuk dönemde göl yüzeyi sıcaklıklarını temsil etmede başarısız olduğu görülmektedir. Şekil 7'de görüldüğü üzere, göl modeli normalden çok daha soğuk göl yüzeyi sıcaklıkları tahmin etmiştir.



Şekil 6. Model sonuçlarının senaryo 1 için göl yüzeyi istasyon sıcaklıklarıyla karşılaştırılması



Şekil 7. Model sonuçlarının senaryo 2 için göl yüzeyi istasyon sıcaklıklarıyla karşılaştırılması

Tablo 9. Soğuk periyot için MGM istasyonlarına göre hata hesabı (RMSE)

Simülasyon/ Değişken	Sıcaklık		Göl Yüzeyi Sıcaklığı				Bağıl Nem		Yağış	
	İstasyon Numarası									
	18585	18778	17484	17483	17491	17482	18585	18778	18585	18778
R1	2,759	4,732	3,433	5,050	4,530	4,643	12,976	21,827	0,947	2,184
R2	2,774	4,628	3,131	4,686	1,486	3,387	13,004	20,119	0,909	2,322
R3	2,754	4,762	5,279	6,204	5,627	6,564	12,967	23,097	0,929	2,128

TARTIŞMA VE SONUÇLAR

WRF-Lake modülünün MGM'nin WRF simülasyonlarına sağlayabileceği olası katkının araştırılması için WRF 4.1.5 versiyonu kullanılarak, 15 günlük 2 farklı periyotta toplam 30 günlük simülasyon 3 farklı konfigürasyonla yapılmıştır. Simülasyonlarda model seçenekleri MGM operasyonel WRF simülasyonlarına uygun olarak seçilmiştir. Model sonuçlarının doğruluğunun alansal olarak teyit edilmesi için ERA5 yeniden analiz edilmiş veri seti, noktasal teyit için de MGM tarafından işletilen 2 adet kara ve 4 adet göl istasyonu kullanılmıştır. ECMWF HRES verisi ve WPS programındaki Van Gölü sınırlarının uyuşmaması sebebiyle “metgrid” interpolasyon seçenekleri değiştirilmiştir. Model sonuçları ERA5 yeniden analiz edilmiş veri setiyle karşılaştırıldığında, “sst_update” olarak adlandırılan, göl yüzeyi sıcaklıklarının başlangıç ve sınır koşullarındaki SST verisine göre güncellendiği yöntemin ERA5 veri setine daha yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Diğer değişkenlerde 3 simülasyonun da hata değerleri birbirine yakın olmasına karşın, göl yüzeyi sıcaklıklarında R2 simülasyonunun başarısı daha belirgindir. Ancak, ERA5 verisi üretilirken ECMWF model verileri de kullanıldığından dolayı, sonuçlarda taraflılık olması beklenebilir. Bu sebeple MGM istasyonları kullanılarak noktasal analize başvurulmuştur. Sıcak periyot senaryosunda ECMWF göl yüzeyi sıcaklığının iyi çözümlenmemesi sebebiyle R2 simülasyonunda hata değerlerinin çok yüksek çıktığı görülmüştür. Verideki tutarsızlıklar çözülmediği sürece R2 konfigürasyonu ile model başarısız olacaktır. Bu sorunun çözümü için, WRF modeli haricinde uygulanacak bir interpolasyon şeması kullanarak ECMWF verisindeki gölün kenarlarındaki hatalı SST değerlerinin düzeltilmesi hedeflenebilir. Bir diğer seçenek ise “metgrid” interpolasyon seçeneklerinin değiştirilmesidir ancak ECMWF verisindeki göl sınırlarının WPS programındaki sınırlarla uyuşmaması, kullanılabilir interpolasyon seçeneklerini kısıtlamaktadır. Bu çalışmada yapılan denemeler sonucunda belirlenen en uygun metgrid interpolasyon seçenekleri kullanılmıştır. Eğer ECMWF verisindeki problemler çözülemiyorsa, bu çalışmanın bulguları incelendiğinde; modelin “sst_update” yöntemi kapalıyken çalıştırılması veya göl modülünün kullanılmasının, daha başarılı sonuçlar elde edilmesini sağlayacağı görülmektedir. Son bir seçenek ise WRF modelinde bulunan “avg_tsfc.exe” programının kullanılması olabilir. Bu program, göller model verisinde hiç yoksa veya yeterince iyi çözümlenmemişse, hava sıcaklığı alanını kullanarak göl için yüzey sıcaklığı elde etmektedir. Sıcaklık alanı sürekli bir değişken olduğu için gölün kenarlarında tutarsız değerler bulunmayacaktır. Bu sayede sıcaklık alanından elde edilen göl yüzeyi sıcaklıkları, ECMWF verisinde bulunan tutarsız Van Gölü yüzeyi sıcaklıklarına bir alternatif olabilir. Soğuk dönem senaryosunda en başarılı simülasyonun R2 olduğu görülmüştür. Göl yüzeyi sıcaklıklarında tüm istasyonlarda en başarılı sonuçlar bu simülasyonda elde edilmiştir. Bu durum da yaz mevsiminde ECMWF verisinde olan tutarsızlıkların kış mevsiminde görülmediğini göstermektedir. Göl modeli kış mevsiminde gerçek değerlerden çok düşük sıcaklık değerleri tahmin etmektedir. Bu durum, kış mevsiminde Van Gölü için göl modelinin kalibrasyonunun yeterli olmadığını göstermektedir. Literatürde de bahsedildiği üzere göl modelinin 50 metre ve daha derin göllerde hatalı türbülanslı karışım hesaplamaları yapabildiği görülmektedir. Van Gölü de bu kategoriye girdiği için eddy difüzivitesi katsayılarının parametrisasyonu ile daha iyi sonuçlar elde edilebilir. Bu kalibrasyonun yapılması için gölün farklı derinliklerinde ölçülmüş sıcaklık profilleri gereklidir. Ayrıca göl yüzeyindeki radyasyon dengesinin hatalı hesaplanması, absorpsiyon katsayılarının uygun olmaması vb. sebepler de göl modelinin başarısızlığına yol açmış olabilir. Aynı zamanda gölün kirlilik durumu vb. özellikler göl yüzeyinin albedosunun ve pürüzlülük katsayılarının değişmesine sebep olacaktır, bu yüzden bu değerlerin sabit alınması model sonuçlarını gerçek değerlerden

uzaklaştıracaktır. WRF modelinin konfigürasyonunda kullanılan “namelist.input” dosyasında, göl modelinin parametrisasyonu için yeterli sayıda seçenek bulunmamaktadır. Bu yüzden gelecekteki çalışmalarda göl modelinin kodu düzenlenerek Türkiye için parametrisasyon çalışmaları yapılmalıdır. Şu anki durumuyla göl modeli, yaz döneminde kullanılması için uygundur ancak kış mevsiminde MGM operasyonel simülasyonlarına katkı sağlamayacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma kapsamında yapılan analizlerde HPCF (High Performance Computing Facility) sistemi kullanılan ECMWF'e (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) teşekkürlerimizi sunarız. Şekil 2'de kullanılan harita verileri, OpenStreetMap'e katkıda bulunanlar tarafından telif hakkına sahiptir ve <https://www.openstreetmap.org> adresinden temin edilebilir.

KAYNAKLAR

- Gu, H., Jin, J., Wu, Y., Ek, M. B. ve Subin, Z. M. (2015). Calibration and validation of lake surface temperature simulations with the coupled WRF-lake model. *Climatic Change*, 129(3–4), 471–483. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0978-y>
- Guo, S., Wang, F., Zhu, D., Ni, G. ve Chen, Y. (2022). Evaluation of the WRF-Lake Model in the Large Dimictic Reservoir: Comparisons with Field Data and Another Water Temperature Model. *Journal of Hydrometeorology*, 23(8), 1227–1244. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-21-0220.1>
- Hoşgören, M. (1994). Türkiye'nin Gölleri. *Türk Coğrafya Dergisi*, 29, 19–51.
- Hostetler, S. W. ve Bartlein, P. J. (1990). Simulation of lake evaporation with application to modeling lake level variations of Harney-Malheur Lake, Oregon. *Water Resources Research*, 26(10), 2603–2612. <https://doi.org/10.1029/WR026i010p02603>
- Ma, Y., Yang, Y., Qiu, C. ve Wang, C. (2019). Evaluation of the WRF-Lake Model over Two Major Freshwater Lakes in China. *Journal of Meteorological Research*, 33(2), 219–235. <https://doi.org/10.1007/s13351-019-8070-9>
- Oleson, K. W., Lead, D. M. L., Bonan, G. B., Drewniak, B., Huang, M., Koven, C. D., Levis, S., Li, F., Riley, W. J., Subin, Z. M., Swenson, S. C., Thornton, P. E., Bozbiyik, A., Fisher, R., Heald, C. L., Kluzek, E., Lamarque, J.-F., Lawrence, P. J., Leung, L. R., ... Yang, Z.-L. (2013). Technical description of version 4.5 of the Community Land Model (CLM). <https://doi.org/10.5065/D6RR1W7M>
- Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Liu, Z., Berner, J., Wang, W., Powers, J. G., Duda, M. G., Barker, D. M., & Huang, X.-Y. (2021). A Description of the Advanced Research WRF Model Version 4.3. <https://doi.org/10.5065/1DFH-6P97>
- Subin, Z. M., Riley, W. J. ve Mironov, D. (2012). An improved lake model for climate simulations: Model structure, evaluation, and sensitivity analyses in CESM1. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 4(1). <https://doi.org/10.1029/2011MS000072>
- Van İl Kültür Ve Turizm Müdürlüğü. (t.y.). Van Gölü. <https://van.ktb.gov.tr/TR-88276/van-golu.html> adresinden alındı.
- Wu, Y., Huang, A., Lazhu, Yang, X., Qiu, B., Wen, L., Zhang, Z., Fu, Z., Zhu, X., Zhang, X., Cai, S. ve Tang, Y. (2020). Improvements of the coupled WRF-Lake model over Lake Nam Co, Central Tibetan Plateau. *Climate Dynamics*, 55(9–10), 2703–2724. <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05402-3>
- Xiao, C., Lofgren, B. M., Wang, J. ve Chu, P. Y. (2016). Improving the lake scheme within a coupled WRF-lake model in the Laurentian Great Lakes. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 8(4), 1969–1985. <https://doi.org/10.1002/2016MS000717>
- Xu, L., Liu, H., Du, Q. ve Wang, L. (2016). Evaluation of the WRF-lake model over a highland freshwater lake in southwest China. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121(23). <https://doi.org/10.1002/2016JD025396>