EĞİRDİR GÖLÜ SU KAYNAKLARININ İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE ARZ YÖNETİM SENARYOLARI ALTINDA DEĞERLENDİRİLMESİ

Bagashar Yerjan [1], Cem Polat ÇETİNKAYA [2],

[1]Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi, bagashar.yerjan@gmail.com

[2]İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, cem.cetinkaya@deu.edu.tr

ÖZET

Dünyada tatlı su kaynaklarının iklim değişikliği ve antropojenik etkilerle hem nitel, hem de nicel açıdan bozunumu, göl kütle dengesi—göllerdeki su hareketleri veya hidrolojisi— ile ilgili araştırmalar, çevre ve iyileştirme projeleri açısından giderek daha büyük bir önem kazanmaktadır. Göl hidrolojisi kıtasal hidrolojinin başlıca çalışma alanlarından biridir. Göller, dünya ekosistemlerinde önemli bir role sahip olup, ekolojik dengenin sağlanmasında, mikro-iklim ve ekosistem servislerinde kritik roller oynarlar. Coğrafi arazi örtüsünün unsurları olarak göller, nehirlerden ve denizlerden büyük ölçüde farklılık gösteren özel bir su kütlesi grubunu oluşturur. Göller, yüzey ve yer altı suları arasında bir bağlantı sağlar ve bu bağlamda doğal su depoları olarak hizmet ederler.

Söz konusu çalışmada, son yıllarda su kaynakları üzerindeki baskının hızla arttığı, Isparta il sınırları içinde bulunan Eğirdir Gölü'nün mevcut ve iklim değişikliği etkileri altında gelecek dönemlerdeki su kaynakları, çeşitli arz yönetim senaryo simülasyonları kapsamında incelenmiştir. HEC-HMS yazılımı kullanılarak oluşturulan göl hidrolojik modeli çerçevesinde 2010-2020 yılları arası aylık veriler kullanılmıştır. İklim değişikliği etkilerinin incelenmesi için "İklim Değişikliği, Tarım ve Gıda Güvenliği" araştırma programı (CCAFS) veri portalı RCP8.5 iklim değişikliği senaryosu 2050 yılı verileri göz önüne alınmıştır. Göl hidrolojik modelinin mevcut durum ve gelecek iklim değişikliği senaryosu sonucu göl akımları, oluşturulan göl su bütçesi işletme modeline girdi sağlamıştır. Buna ek olarak, göl su bütçesi işletme modelinde arz yönetim senaryoları olarak, mevcut arzın %100, %50 ve %0 karşılanması durumları araştırılmıştır.

Model sonuçları, gölün mevcut durumda son 10 yılın en düşük su seviyesinde olduğunu göstermektedir. 2050 yılı sonuçları ise göl hacminin mevcut duruma göre azalacağını öngörmektedir. Mevcut tarımsal su arzının karşılanmaması durumunda ise göl hacmindeki azalmanın minimum seviyede kalacağı hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, gölün su kaynaklarının etkin kullanımı ve gölün sürdürülebilirliği için tarımsal su tasarrufunun, kuru tarım gibi alternatif tarım ve havza dışı muhtemel su kaynaklarının değerlendirilmesinin önemini vurgulamaktadır.

Anahtar kelimeler: *Hidrolojik modelleme, RCP8.5, HEC-HMS, Su bütçesi modeli.*

GİRİŞ

Göller, atmosferik su, yüzeysel akış ve yeraltı suyu gibi hidrolojik sistemin tüm bileşenleriyle etkileşim içindedir. Bu bileşenlerin göllere veya göllerden akış oluşturması, bir gölün su bütçesini oluşturur. Matematiksel olarak su bütçesi kavramı basit görünse de pratikte, göllere gelen ve göllerden çıkan su akışları doğru bir şekilde ölçülmesi zor olan parametrelerdir. Bunun nedeni, çeşitli hidrolojik süreçlerin karmaşıklığı ve bu süreçleri ölçme yeteneğimizin sınırlı olmasıdır (Winter, 1995). Tüm su bütçesi bileşenlerinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi ise, bölgesel su kaynaklarının yönetimi ve geliştirilmesi, ekstrem olayların öngörülerek önlemlerinin alınması ve yüzey suyu ile yeraltı suyu

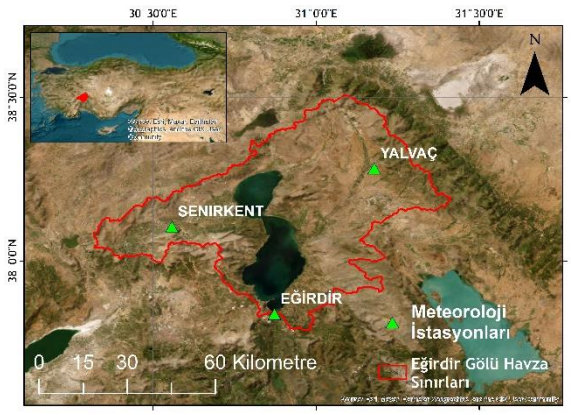
kaynaklarının optimize edilmesi için son derece önemlidir (Kansoh, Abd-El-Mooty, ve Abd-El-Baky, 2020). Hidrolojik modeller ile desteklenen su bütçesi modellerinin dünyada (Dinka, Loiskandl, ve Ndambuki, 2014) ve ülkemizde (Davraz vd., 2014; Varol vd.,2018; Şanlı vd., 2022) bir çok örneği bulunmaktadır. Bununla beraber, literatürde göl su bütçelerinin iklim değişikliği ve arz yönetimi gibi etkenleri göz önüne aldığı senaryo simülasyonlarının araştırılmasında yeni çalışmalar için bir açık söz konusudur. Söz konusu çalışma HEC-HMS paket programını kullanarak, Eğirdir Gölü Havzası için bir hidrolojik model oluşturmuş, iklim değişikliği ve arz yönetiminde değerlendirilebilecek olası senaryoların göl su bütçesi üzerindeki tekil ve bütünleşik etkilerini araştırmıştır.

Bu çalışmanın sonuçları, havzadaki paydaşlar ve karar vericiler için önemli bir karar verme aracı olarak hizmet etmektedir. Bulgular, kuraklık eylem planlarına, su kaynakları yönetimine ve havza içindeki tarımsal planlamaya uygulanabilir. Eğirdir Gölü'nün korunması ve sürdürülebilir kullanımı için geliştirilen stratejiler, benzer ekolojik ve ekonomik özelliklere sahip diğer su kütleleri için de bir örnek teşkil edebilir.

ÇALIŞMA ALANI VE YÖNTEM

Çalışma Alanı

Çalışma kapsamında Isparta'da bulunan Eğirdir Gölü çalışma alanı olarak seçilmiştir. (Şekil 1). Eğirdir Gölü, Türkiye'nin güneybatısında Göller Bölgesi'nde yer almakta olup, coğrafi olarak 37° 50' 41"–38° 16' 55" N enlemleri ve 30° 57' 43"–30° 44' 39" E boylamları arasında konumlanmıştır. Türkiye'nin en önemli tatlı su kaynaklarından biri olan Eğirdir Gölü, 4 milyar m³ kapasiteye ve 457 km² yüzey alanına sahiptir. Tektonik bir yapıya sahip olan göl, kuzey-güney yönünde uzanmakta ve rift tektoniği sonucu oluşmuştur. Göl, 50 km uzunluğunda, kıyı hattı 150 km, maksimum genişliği 16 km, minimum genişliği 3 km, maksimum derinliği 13-14 m, ortalama derinliği ise 8-9 m'dir. Göl seviyesi ise denizden 918,96 metre yükseklikte bulunmaktadır (Koçyiğit, 1983).

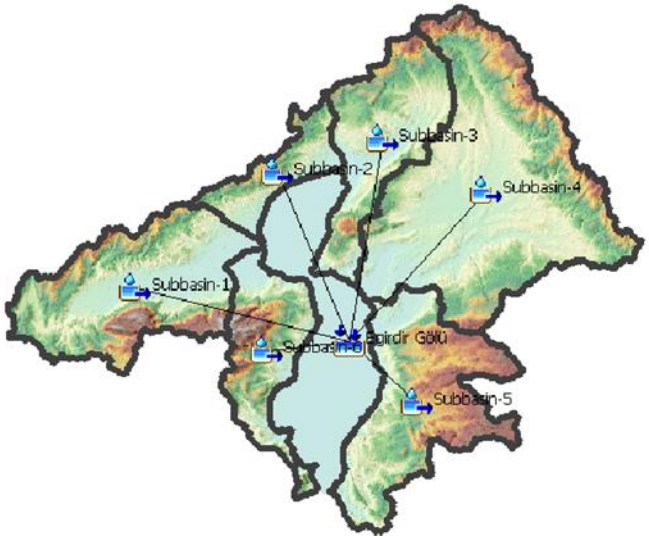


Şekil 1. Eğirdir Gölü, havza sınırları ve hidrolojik modelde kullanılan meteoroloji istasyonları

Yöntem

Çalışmada, meteoroloji verileri, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) Yalvaç, Senirkent ve Eğirdir istasyonlarından, göl su seviyesi-hacim verileri ise Devlet Su İşleri (DSİ) kurumundan temin edilmiştir. Kullanılan verilerle HEC-HMS paket programı üzerinde 2010-2020 yılları arasında aylık verilere dayalı bir hidrolojik model oluşturulmuştur. Söz konusu modelin oluşturulmasında öncelikle göl havzası ArcGIS paket programı yardımıyla hidrolojik alt havzalarına bölünerek, modelin havza temsiliyeti artırılmıştır (Şekil 2). Ardından meteoroloji istasyonları verileri Thiessen poligonu yöntemi ile ilgili althavzalara bölünerek, althavza bazında yağış verileri oluşturulmuştur. Benzer şekilde althavza hidrolojik toprak gruplarının belirlenmesinde Thiessen poligonu yöntemi ve NASA kaynaklı DAAC

(Distributed Active Archive Center) Merkezi verilerinden yararlanılmıştır. Althavzaların buharlaşma verilerinin belirlenmesinde ise istasyon bağıl nem, sıcaklık ve rüzgâr verileri Ampirik Meyer yöntemi kapsamında değerlendirilmiştir.



Şekil 2. HEC-HMS Havza Modeli

Ampirik Meyer Buharlaşma Yöntemi

Hidrolojik modelin çıktıları öngörülen yağışları tanımlarken, Meyer yöntemi buharlaşma oranlarını tahmin etmek için kullanılmıştır. Meyer yönteminin buharlaşmayı hesaplamak için kullandığı ampirik formül aşağıdaki gibidir:

$$E = (1 + \frac{U_9}{16}) \times 0{,}50(e_w - e_a \times H)/100 \quad (1)$$

burada H, bağıl nemi (%), e_w, su sıcaklığındaki doygun buhar basıncını (N/m^2), e_a, gerçek buhar basıncını (N/m^2) ve U_9, 9 m yükseklikteki rüzgâr hızını (km/s) göstermekte olup ve aşağıdaki denklemden hesaplanabilir:

$$U_{h_i} = U_2 \left(\frac{h_i}{h}\right)^{1/7} \quad (2)$$

burada U_{hi}, km/saat cinsinden incelenen yükseklikteki rüzgar hızını; U_2, 2 m yükseklikte ölçülen km/saat cinsinden rüzgar hızını; h_i, m cinsinden incelenen yüksekliği ve h, ölçümün standart yüksekliğini göstermektedir. Su sıcaklığındaki doygun buhar basıncı e_w ise Arden Buck eşitliği ile bulunabilir:

$$e_w = 611e^{\frac{17{,}27T}{237{,}3+T}} \quad (3)$$

burada T, °C cinsinden sıcaklıktır.

HEC-HMS Hidrolojik Modeli

HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System) ABD Kara Kuvvetleri Mühendisler Birliği tarafından, çeşitli hidrolojik simülasyonlar oluşturmak için geliştirilmiş bir paket programdır. Söz konusu program ile kapsamı küçük kentlerden doğal havza ölçeğine yüzeysel akışı, sel ve kuraklık hidrolojisi, su potansiyelinin belirlenmesi, kentsel drenaj, akış tahmini, gelecekteki kentleşmenin etkisi, baraj dolusavak tasarımı, sel hasarlarının azaltılması, taşkın alanı düzenlemeleri, sulak alan hidrolojisi ve sistemlerin işletimi gibi birçok konuda araştırma yapılabilir (Feldman, 2000).

Hidrolojik havza modelinin başarılı bir şekilde kurulması, havza topolojisinin doğru bir şekilde tanımlanmasına, veri kalitesine ve model parametrelerinin doğru kalibrasyonuna bağlıdır. Model kalibrasyonunun amacı, gözlemlenen akış hacimleri, akış zirveleri ve hidrograf zamanlamalarını gözlemlenen verilerle uyumlu hale getirmektir. HEC-HMS olay bazlı ve sürekli modellemelerin yapılabilmesine olanak sağlamaktadır. Söz konusu çalışmada ise sürekli modelleme yapılarak 2010-2020 yılları arası aylık bir model kurulmuştur.

Hidrolojik model parametreleri, model verilerinin 2010-2014 ve 2015-2020 dönemlerine bölünerek gözlenmiş göl seviyeleri ile manuel kalibrasyon ve validasyon süreçleri sonrasında belirlenmiştir. Kalibrasyon ve validasyon süreçleri sonrasında "yeterli" seviyede bulunan model istatistiklerinin (Moriasi vd., 2007) ardından modelin iklim değişikliği etkileri altındaki sonuçları araştırılmıştır.

İklim değişikliği etkilerinin araştırılmasında sıklıkla kullanılan RCP8.5 senaryosu yağış ve sıcaklık verileri kullanılmıştır. Söz konusu veriler Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS) programı veri portalından temin edilmiştir (CCAFS, 2024). 2050 yılı için tahmin edilen yağış ve sıcaklık verileri HEC-HMS programına girdi sağlamış ve göl hidrolojik sisteminin tepkileri belirlenmiştir.

Su Bütçesi Modeli

Göl havzasındaki mevcut ve muhtemel gelecek iklim değişikliği etkilerinin incelendiği hidrolojik model sonuçlarının göl su bütçesine olan etkilerinin belirlenmesi adına MS Office Excel programında bir göl su bütçesi hesap modeli oluşturulmuştur. Söz konusu modelde hidrolojik model çıktısı olan akış değerleri, meteorolojik istasyon yağış verileri, Meyer formülüne göre hesaplanan buharlaşma ve DSİ tarafından raporlanan sulama suyu kullanım miktarları aşağıdaki formülde verildiği üzere değerlendirilmiştir.

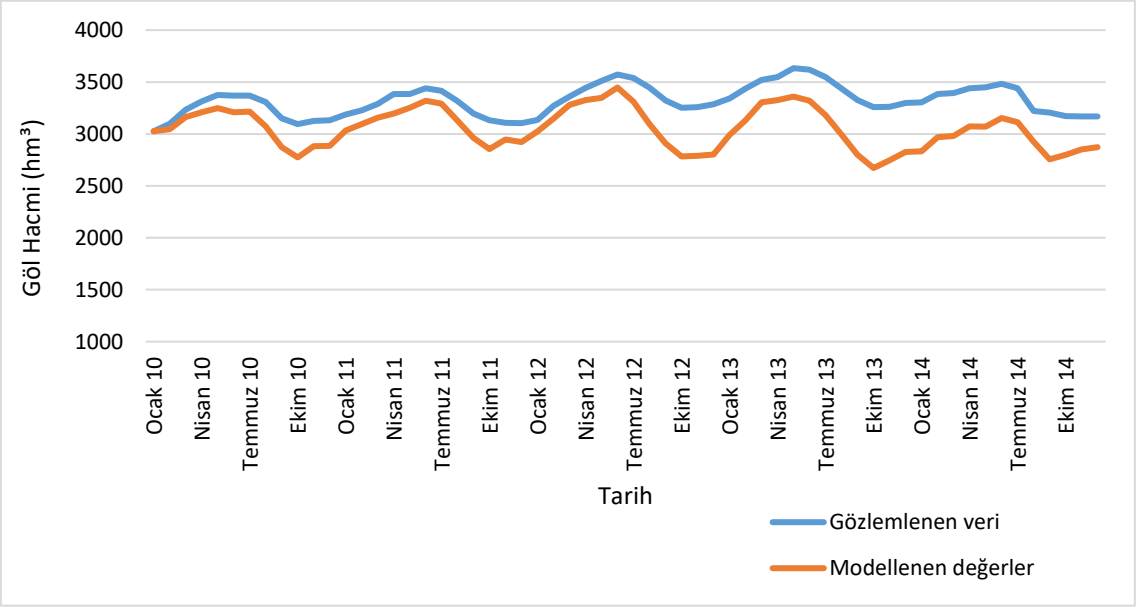
$$S_t = S_{t-1} + SF_t + P_t - E_t - D_t \quad (4)$$

burada, S_t, t ayında gölde depolanan su hacmi (hm^3), S_{t-1}, t ayından bir önceki ayda gölde depolanan su hacmi (hm^3), SF_t, t ayında göle gerçekleşen toplam yüzeysel akış hacmi (hm^3), P_t, t ayında göl yüzeyine gerçekleşen toplam yağış hacmi (hm^3), E_t, t ayında göl yüzeyinden buharlaşan toplam hacim (hm^3), D_t, t ayında gölden sulama amaçlı yapılan toplam su çekim hacmidir (hm^3).

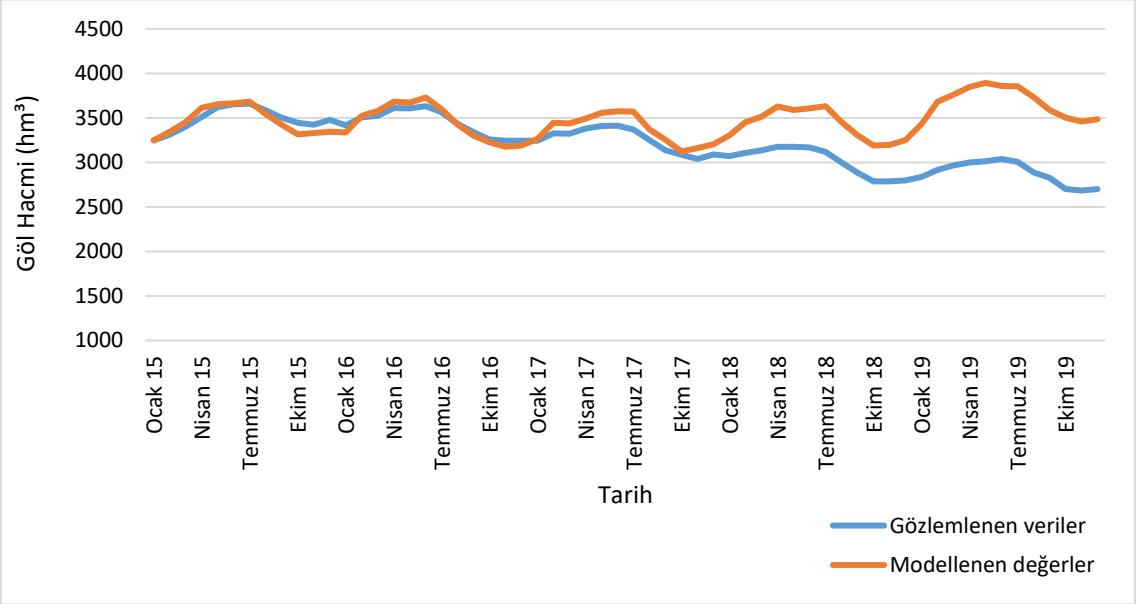
Ek olarak, göl su kaynaklarının sürdürülebilir tasarrufu adına farklı arz yönetim senaryoları da çalışma kapsamında araştırılmıştır. Bu çerçevede mevcut hidrolojik koşullar ve iklim değişikliği durumlarında göl su bütçesinde önemli bir yer tutan sulama suyu taleplerinin %100, %50 ve %0 şeklinde tahsis edilmesi durumunda göl su kaynaklarının durumu belirlenmiştir. Araştırılan arz yönetim senaryoları mevcut durumu, yarı-kuru tarım ve tam kuru tarım seçeneklerini sırasıyla temsil etmektedir. Su bütçesi simülasyonları ile mevcut durum, iklim değişikliği etkileri ve arz yönetim senaryo sonuçları hesaplanarak göl su kaynaklarına etkileri değerlendirilmiştir.

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Hidrolojik model kalibrasyonu için oluşturulan su bütçesi modelinde hidrolojik model çıktısı olan yüzeysel akışlar girdi olarak kullanılarak göl hacmi hesaplanmış ve gözlenen değerler ile karşılaştırması yapılarak manuel bir kalibrasyon yapılmıştır (Şekil 3). Bu süreç sonucunda "yeterli" bulunan kalibrasyon istatistiklerine göre kalibrasyon dönemi parametreleri validasyon dönemi için tekrar çalıştırılarak yine "yeterli" model istatistikleri elde edilmiştir (Şekil 4).



Şekil 3 Kalibrasyon döneminde gözlemlenen veriler ve modellenen değerler

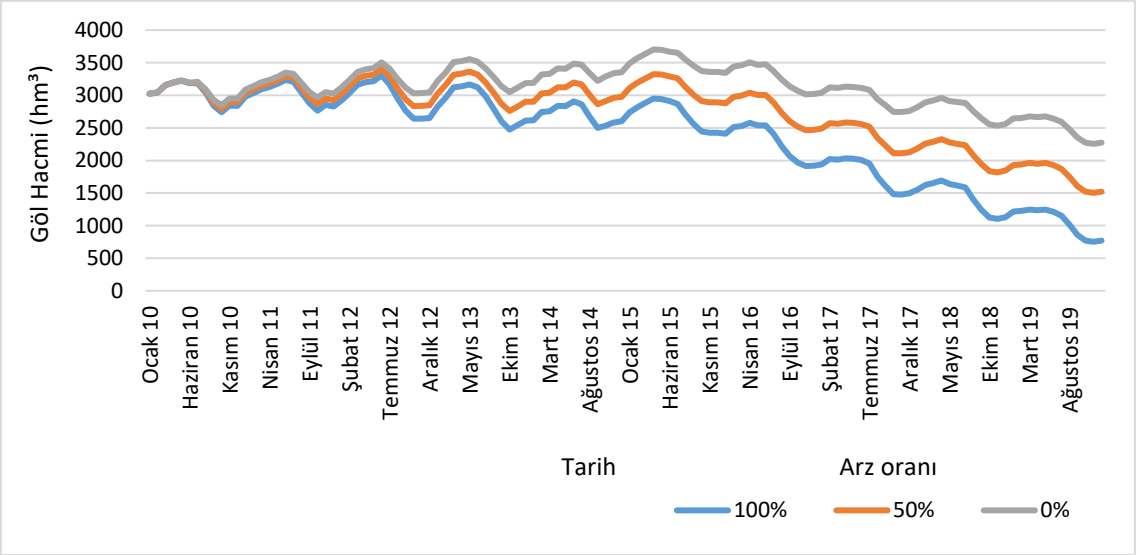


Şekil 4 Validasyon döneminde gözlemlenen veriler ve modellenen değerler

Kalibrasyon ve validasyon sonuçları incelendiğinde gözlemlenen göl hacminin kalibrasyon döneminde yıllar içinde hafif bir artış eğiliminde olduğu ve ancak validasyon dönemine girildiğinde bu

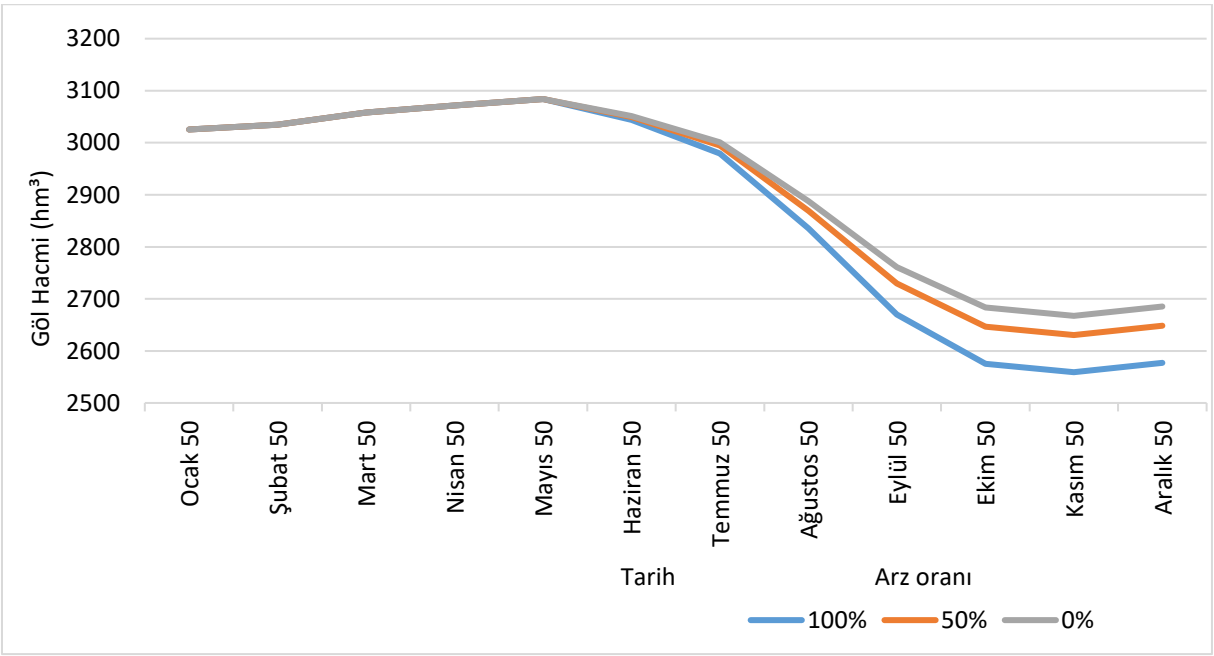
eğilimin oldukça hızlı bir düşüş eğilimine dönüştüğü görülmektedir. Söz konusu düşüş göl halkının da yakından hissettiği, göl seviye ve alanında da gözle görülür azalma ile de doğrulanmaktadır.

Su bütçesi modelinin mevcut durum sonuçları incelendiğinde ise herhangi bir müdahale gerçekleştirilmediğinde, yani sulama talebinin %100 karşılandığı durum ile %50 karşılandığı ve %0 karşılandığı durumlar arasında simülasyon sonunda 750 hm^3 seviyelerinde farkların oluştuğu belirlenmiştir (Şekil 5).



Şekil 5 2010-2020 dönemi su bütçesi arz yönetim senaryoları sonucu göl hacimleri

Son olarak, 2050 yılında iklim değişikliği etkilerinin ve arz yönetim senaryolarının göl su bütçesine etkileri araştırılmıştır. Sonuçlara göre %100 ila %50 su arzı arasında 71 hm^3, %50 ila %0 su arzı arasında ise 37 hm^3'lük hacim farkı olması beklenmektedir (Şekil 6).



Şekil 6 2050 dönemi su bütçesi arz yönetim senaryoları sonucu göl hacimleri

Sunulan çalışmada, Türkiye'nin önemli tatlı su göllerinden Eğirdir Gölü'nün su kaynaklarının mevcut koşullar ve gelecek iklim değişikliği etkileri altında farklı arz yönetim senaryoları ile irdelenmiştir. Mevcut durum koşullarına ait veriler iki döneme bölünerek HEC-HMS programında hidrolojik modelin kalibrasyon ve validasyon dönemleri belirlenmiş, gerçekleştirilen manuel kalibrasyon ve validasyon ile göl havzası modeli oluşturulmuştur. Mevcut durumda göl hacminin azalma eğimi ortaya konarak gelecek dönemlerde iklim değişikliğinin artan baskıları altındaki muhtemel su kaynaklarının geleceği RCP8.5 senaryosu ile araştırılmıştır.

İklim değişikliği etkileri altında göl hacminde tespit edilen hızlı azalma eğilimi, Eğirdir Gölü su kaynaklarının sürdürülebilir tasarrufunu vurgular niteliktedir. Bu çerçevede geliştirilen arz yönetim senaryoları gölün su kaynaklarının en önemli tüketicilerinden biri olan tarım sektöründe izlenebilecek muhtemel müdahaleleri simüle etmek amacıyla oluşturulmuştur. Söz konusu senaryolarda mevcutta talep edilen sulama suyunun tamamının (%100) karşılanması, yani mevcut durumun yanında, talep edilen suyun yarı seviyeye düşürülmesi (%50) ve sulama talebinin tamamen ortadan kaldırılması (%0) karşılanması durumları araştırılmıştır. Esasında bu senaryolarda bölgede yapılan sulu tarımın, susuz tarıma geçirilme senaryoları simüle edilmiştir. Sulama suyu taleplerinin azalması veya tamamen ortadan kaldırılması su bütçesi çalışmalarının da ortaya koyduğu üzere Eğirdir Gölü su potansiyeli üzerindeki baskıyı hafifletmeye yardımcı olmuştur.

Eğirdir Gölü gibi bölge ekolojisi, ekonomisi, turizmi ve sosyal yapısı açısından önemli bir gölün sürdürülebilir bir şekilde kaynaklarından yararlanmak adına yapılan bu çalışma sonucunda göl su kaynakları üzerindeki baskının mevcut durumda devam etmesinin göle, fauna ve florasına ve çevre halkına zarar vereceği aşikardır. Bu başlıca zararlar arasında göl biyoçeşitliliğin azalması, su kaynaklarının azalmasına bağlı tarımsal gelir kaybı, turizmin azalmasına bağlı turizm gelirlerinin kaybı, su kalitesinin düşmesine bağlı insan sağlığında bozulmalar ve sosyal problemler sıralanabilir.

Sonuç olarak yapılan çalışma, Eğirdir Gölü ve benzeri durumda olan göllerin su kaynaklarının mevcut ve farklı senaryo durumlarındaki muhtemel su kaynaklarının değerlendirilmesinde, olası problemlerin yaşanmadan önce çözülmesinde, eylem planları, kuraklık ve sel yönetim planları ve politika geliştirme süreçlerinde karar vericiler, devlet kurumları, sivil toplum kuruluşları ve göl havzası paydaşları için önemli bir araç niteliğindedir.

REFERANSLAR

CCAFS (2024) Global Climate Model (GCM) Downscaled Data Portal. http:// www. ccafs- clima te. org/. Erişim tarihi Ağustos, 2024

Davraz, A., Şener, E., Şener, Ş., & Varol, S., 2014. Water Balance of the Eğirdir Lake and the Influence of Budget Components, Isparta, Turkey. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 18(2), 27-36.

Dinka, M. O., Loiskandl, W., & Ndambuki, J. M., 2014. Hydrologic modelling for Lake Basaka: development and application of a conceptual water budget model. Environmental monitoring and assessment, 186, 5363-5379.

Feldman, A.D., 2000. Hydrologic Modeling System HEC-HMS, Technical Reference Manual. U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, HEC, Davis, CA, USA

Kansoh, R., Abd-El-Mooty, M., & Abd-El-Baky, R., 2020. Computing the water budget components for lakes by using meteorological data. Civil Engineering Journal, 6(7), 1255-1265.

Koçyiğit, A., 1983. Tectonics of the Hoyran Lake (Isparta Angle) Around, Bulletin of Turkey Geology Corporation, 26, 1-10.

Moriasi, D., Arnold, J., Van Liew, M., Bingner, R., Harmel, R., Veith, T., 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. Trans ASABE 50(3):885–900.

Şanlı, A. S., Kesgin, E., Tan, R. İ., Agaccioglu, H., Demir, İ., & Sinan, İ., 2022. Effect of lake-water budget management preferences on optimum operating conditions and neighboring basins interacting: case of Lake Beyşehir (Turkey). Sustainable Water Resources Management, 8, 1-18.

Varol, S., Davraz, A., Şener, Ş., Şener, E., Aksever, F., Kırkan, B., & Tokgözlü, A., 2018. Application of a conceptual water budget model for Salda Lake,(Burdur/Turkey). Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 6(1), 29-37.

Winter, T.C., 1995. Hydrological Processes and the Water Budget of Lakes. In: Lerman, A., Imboden, D.M., Gat, J.R. (eds) Physics and Chemistry of Lakes. Springer, Berlin, Heidelberg.