

PhD Research Article / Doktora Çalışması Araştırma Makalesi
IMPLEMENTATION OF AQUATOX, PAMOLARE AND WASP MODELS TO MOGAN LAKE

Yakup KARAASLAN*¹, Ferruh ERTÜRK², Atilla AKKOYUNLU³

¹Çevre ve Orman Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Söğütözü -ANKARA

²Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Yıldız-İSTANBUL

³Boğaziçi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bebek-İSTANBUL

Received/Geliş: 09.12.2009 Accepted/Kabul: 03.06.2010

ABSTRACT

In this study, the effects of Physical and chemical parameters to Mogan Lake have been investigated. In this study, AQUATOX, WASP and sub-models of PAMOLARE have been used. The reason for the preference of Mogan Lake is the abundance of historical data in chemical, biological, physical and hydrological aspects. Parameters for the four selected stations at Mogan Lake were measured by the Environmental Reference Laboratory throughout the year 2002 on a monthly basis. Besides, chemical and physical data for all the creeks discharging into Mogan Lake were also measured by the Environmental Reference Laboratory for the same year on a monthly basis. All these data has been used as input parameters for Aquatox, Wasp and Pamolare Models.

The simulation results of Pamolare, Wasp and Aquatox Models were compared in this study. 1-Layer, 2-layer and structurally dynamic sub-models of Pamolare 3 and Pamolare 2, which is Structurally Dynamic Model for shallow lakes, have been tested for the first time. Two-year simulations have been performed for TN, TP, Chlorophyll a and Zooplankton parameters by using Pamolare 3 and in addition to those parameters for Phytoplankton, Organic Substances and Nitrogen and phosphorus in sediment by using Pamolare 2. The simulation results have been compared with actual measured data of Mogan Lake for the years 2004 and 2005 and found to be highly incompatible. One-year simulations of Suspended Solids, Dissolved Oxygen, Chlorophyll a, Total Nitrogen and Total Phosphorus have been made by using Water Quality Analyses Simulation Program (WASP). When those results were compared with the actual data in Mogan Lake, TN and TP are partly compatible and the other parameters are not compatible. During the comparison of the Water Quality Models, good simulation results have been obtained particularly for Suspended Solids, pH and Temperature in the studies in which Aquatox Model is used. Moreover, the values obtained for Total Nitrogen and Dissolved Oxygen are considerably close to the actual values. A continuous increasing tendency has been observed for the simulation of total phosphorus parameter as in the WASP model.

Keywords: Water quality model, simulation, calibration.

AQUATOX, PAMOLARE VE WASP MODELLERİNİN MOGAN GÖLÜNE UYGULANMALARI

ÖZET

Bu çalışmada Kimyasal ve fiziksel parametrelerin Mogan Gölüne etkileri incelenmiştir. Çalışmada Aquatox ve Wasp Modelleri ile Pamolare Modelinin Alt modelleri kullanılmıştır. Mogan Gölü geçmişe dönük birçok fiziksel, kimyasal, biyolojik ve hidrolojik dataya sahip olduğu için tercih edilmiştir. Özellikle 2002 yılı için Mogan Gölünde seçilen 4 adet istasyon için parametreler bir yıl boyunca aylık bazda Çevre Referans Laboratuvarı tarafından ölçülmüştür. Ayrıca Mogan Gölüne dökülen tüm derelerin fiziksel ve kimyasal dataları aynı yıl için aylık bazda ölçülmüştür. Tüm bu datalar Pamolare, Wasp ve Aquatox Modelleri için giriş parametresi olarak kullanılmıştır.

Çalışmanın devamında Pamolare, Wasp ve Aquatox Modellerinin simülasyon neticelerinin karşılaştırmaları yapılmıştır. Pamolare 3 Modelinin tek tabakalı, iki tabakalı ve yapısal olarak dinamik alt modelleri ile Pamolare 2-Sığ Göller İçin Yapısal Olarak Dinamik Modeli öncelikle denenmiştir. Pamolare 3 Modeli ile TN, TP, Klorofil a ve Zooplankton parametreleri için, Pamolare 2 Modeli ile bu parametrelere ilave olarak Organik Madde, Fitoplankton ve sedimandaki azot ve fosfor için iki yıllık simülasyonlar yapılmıştır. Simülasyon neticeleri 2004 ve 2005 yılı Mogan Gölü gerçek ölçüm değerleri ile karşılaştırılmıştır. Simülasyon sonuçları gerçek değerler ile karşılaştırıldığında oldukça uyumsuz çıkmıştır. Su Kalite Analizi Simülasyon (Benzeşim) Programı (WASP) Modeli ile Askıda Katı Madde, Çözünmüş Oksijen, Klorofil a, Toplam Azot ve Toplam Fosfor'un bir yıllık simülasyonları yapılmıştır. Mogan Gölünde ölçülen gerçek değerler ile karşılaştırıldığında TN ve TP kısmen uyumlu, diğer parametreler ise oldukça uyumsuz çıkmıştır. Su kalitesi modellerinin karşılaştırılması yapılırken Aquatox Modeli ile yapılan çalışmada; özellikle Sıcaklık, Askıda Katı Madde ve pH parametreleri için çok iyi tahminler elde edilmiştir. Toplam Azot ve Çözünmüş Oksijen parametreleri için ise gerçek değerlere yakın neticeler elde edilmiştir. Toplam Fosfor parametresi simülasyonunda ise WASP Modelinde olduğu gibi sürekli bir artış eğilimi görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: Su kalitesi modeli, simülasyon, kalibrasyon.

*Corresponding Author/Sorumlu Yazar: e-mail/e-ileti: ykaraaslan@cevreorman.gov.tr, tel: (312) 207 66 91

1. GİRİŞ

Endüstriyel gelişmelerden beri çeşitli yüzyıllar boyunca insan aktiviteleri yapılarında ve onların çevresel fonksiyonlarında çok güçlü değişimlere sebebiyet vermiştir. İnsan nüfusunun büyümesi ve yerleşimleri sucul ve karasal ekosistemi yer talebini büyütüştür. Kara yüzeyinin üçte biri veya yarısına kadar olan kısmı değişime uğramıştır. İnsanlar yer yüzeyini tarla açma ile, tarımsal ve ormancılık faaliyetleri, hayvansal atıklarla, şehirleşme ve değişmiş hidrolojik çevrimle değiştirmişlerdir. İlave olarak birçok doğal biyolojik toplulukların kompozisyonu değişmiştir. İnsanların aynı zamanda global biyokimyasal Azot(N), Karbon(C) ve Fosfor(P) çevrimlerine derin etkileri olmuştur[1].

Evsel atıksu ve tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan organik madde ve besin (azot, fosfor) tuzları girdileri, iç sularda doğal ekolojik özelliklerin çok aşırı değişimi ve yoğun plankton üretimine kadar varan problemlerinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Ötrofikasyon olarak adlandırılan su ortamındaki bu olumsuz gelişmeler, kentleşmenin ve sanayileşmenin yoğunlaştığı alanlarda su kütlesinin sıklık ve/veya sınırlı su döngüsü gibi morfolojik ve hidrolojik özellikleri, ötrofikasyon problemine karşı hassasiyetini arttırmaktadır.

Ancak özellikle nehirler dolayısıyla evsel ve endüstriyel atıklara kirlenen, coğrafik olarak kapalı sayılabilecek göllerde veya koylar gibi hassas bölgelerde, çoğu zaman ve bazen de ağır durumlarda belirgin ötrofikasyon gözlenmektedir. Ötrofik alanlarda Azot (nitrojen) tuzlarının ana kaynağı tarımsal alanlar ve atmosferik çöküntüdür. Fazla fosforun ana kaynağı ise bir kısmı noktasal kaynaklardan, arıtımsız deşarj edilen evsel ve endüstriyel atıklardan kaynaklanmaktadır. Fitoplankton patlamaları, su ortamındaki türlerinin çeşitliliğinin azalması, oksijen kıtlığı, ve insan sağlığını doğrudan etkileyebilecek hastalık taşıyan ya da toksik maddelere maruz kalmış su ürünü tüketimi gibi sorunlar da, ötrofikasyonun beraberinde getirdiği risklerden bazılarınıdır.

Ötrofikasyon, göl ve kıyı su ortamlarında planktonik yosun (algae) veya daha kompleks sucul bitki üretiminin artma eğilimi göstermesi, tür dağılımının sıra dışı değişimi, dolayısıyla su kalitesinin düşmesi, doğal su ortamındaki besin maddelerinin artması ve su kütlelerinin alt tabakalarında çözülmüş oksijen miktarının büyük oranda azalması sonucu oluşan kirlenme sürecidir[2]. Bunun varlığının tespiti ve ekolojik bozunmaya neden olan kirliliğin önlenmesine yönelik kaynaklarda gerekli idari ve teknolojik önlemlerin alınması ise su kaynaklarında sistemik ve detaylı araştırma ve izlemenin yapılması, ölçüm sonuçlarına dayanan su kalite ve ötrofikasyon modellerinin alıcı ortamlara uygulanması ve yük değişimine dayanan senaryoların ortaya konması ile mümkündür.

Su kaynakları yönetimi açısından günümüzde gelişen yaklaşım, kaynak yönetiminin havza bazında ve diğer doğal kaynaklarla “entegre” biçimde gerçekleştirilmesidir. Entegre havza yönetiminin temel amacı, havzanın sadece su miktarı değil, tüm yönleri ve kaynakları ile tanınması ve böylelikle daha tutarlı yönetim kararlarının verilmesidir. En önemli yönetim kararları modeller vasıtasıyla olmaktadır.

Modeller, biotaların yapısına göre maruz kaldığı etkilere karşı vereceği tepkilerin matematiksel denklemler yardımıyla ifade edilmeleri temeline dayanan araçlar olarak ifade edilmektedir. Modeller doğru maksatlarla kullanıldığında çevresel problemlerin çözümüne katkı sağlamakta ve bu sorunların çözümüne yönelik çalışmaları hızlandırmaktadır. Özellikle sucul ortamlara yönelik baskıların gelecek senaryolar ile sürdürülebilir kalkınmada göz önüne alınarak çeşitli çözüm planlarının yapılması ve bütün şartlar göz önüne alınarak en uygun çözümün yapılması mümkün olabilmektedir. Bu sayede modeller karar vericiler için önemli bir araç olarak kullanılmaktadır.

Su yöneticileri hangi faktörlerin sucul ortamları kötüleştirdiğini modeller vasıtasıyla öğrenebilmektedirler. Teklif edilen kirlilik önleme aksiyonlarının hedefleri tutturup tutturulmayacağı modeller vesilesiyle belirlenebilmektedir. Ayrıca alınacak önlemler ile su kalitesinin ve sucul ortam topluluklarının istenen seviyeye gelip gelmeyeceği tespit

edilebilmektedir. İleride herhangi bir plansız sonuçlanmaların olup olmayacağı ve bozulan sucul sistemlerin iyileştirilmesinin ne kadar zaman alacağı yine modeller vasıtasıyla tespit edilmektedir.

Bu çalışmada Mogan Gölü; bir çok Fiziksel, Kimyasal ve Biyolojik parametrelerin ölçüm sonuçlarının bulunması sebebiyle seçilmiştir. AQUATOX, PAMOLARE ve WASP modellerinin simülasyon neticeleri Mogan Gölü 2004-2005 yılı ölçüm değerleri ile karşılaştırılmış ve ölçüm neticelerine en yakın netice veren model bulunmuştur.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Mogan Gölü Havzası ve Özellikleri

Mogan Gölü, yazları genellikle kuruyan küçük dereler ile beslenmekte, göl suyu kuzey doğusundaki regülatör kontrolünde Eymir Gölü'ne akmaktadır. Gölün güneyindeki yaklaşık 750 hektarlık bir bataklık ve ıslak çayırılık alanlar birçok farklı hayvana, özellikle de kuş türlerine yaşama ortamı sağlamaktadır. Mogan ve Eymir gölleri Ankara yakınlarında bulunan sınırlı sayıda sulak alanlardan en büyük ve en önemli olanıdır. Mogan gölü etrafında geniş sazlıklar ve restoranlar bulunur. Eymir gölü ise ODTÜ sınırları içinde bulunmaktadır[3].

Mogan Gölü beton bir kanal vasıtasıyla Eymir Gölüne, oradan da İmrahor Deresi ile Ankara Çayı'na boşalmaktadır. Gölün uzunluğu 6 km., eni 900 m. Ortalama derinliği 3,5-4 m., göl alanı 5.4 km² ve hacmi 13-14 milyon m³'tür. Yağış alanı 941 km² olan göl havzasında yıllık ortalama yağış 403 mm., yıllık ortalama buharlaşma ise 1485 mm olarak ölçülmüştür Eymir ve Mogan Gölleri'nin toplam havzası yaklaşık 971 km², çevre uzunluğu ise 150 km.dir. Havzadaki en yüksek kot 1650 m., en düşük kot ise 950 m.dir. Genellikle dağlık bölgeler göllerin iki yanında yer almaktadır.

Göl alanı birçok akarsu kaynağı tarafından beslenmektedir. Bu akarsuların çoğu devamlı akımı olmayan kuru dereler olup, gölün kuzey ve batı kısımlarında yer almaktadır. Havzanın ana deresi konumundaki Çölova deresi devamlı akmamakta, havzanın ortasında bir yerde batmakta, daha sonra kuzeyde Mogan Gölü'nün güneyindeki bataklık alanda tekrar ortaya çıkmaktadır. Çok kurak yıllar dışında genellikle her mevsim debisi olan yan dereler Sukesen, Başpınar ve Yavrucak ile ana su yolu olan Çölova deresi olup, hepsi de Mogan Gölü'ne akmaktadır. Yüksek eğimlere sahip Sukesen ve Çölova deresinin üst kotları dışındaki derelerde su yolu eğimleri oldukça düzdür.

Mogan Gölü bölgesinde en yoğun yerleşim alanı gölün kuzey kıyısındaki Gölbaşı ilçesidir. Gölbaşı İlçe Merkezi ile Çankaya İlçesinin; 971 km²'lik havza sınırlarının içinde ise Bala ve Haymana ilçelerinin de idari alanları bulunmaktadır. Göl Havzasında toplam 30 adet yerleşim alanı bulunmakta olup, toplam nüfusu 62602 kişidir.

Havzada genellikle kuru tarım yapılmaktadır. Ürün deseni ağırlıklı olarak tahıl, sulanabilir arazilerde (özellikle Sukesen Deresi vadisinde) sınırlı ölçüde sebzedir. Havzanın bir bölümünde ise meralar yer almaktadır.

Havzada çeşitli türlerde sanayiler mevcut olup, tüm sanayiler Mogan Gölü kuşaklama kolektörüne bağlıdır. Ancak söz konusu sanayilerden Göle zaman zaman kontrolsüz deşarjlar olmaktadır.

Mogan Gölüne, erozyon, kar erimesi ve drenajla göl içine giren maddeler dip sedimanlarının oluşmasına ve söz konusu göldeki derinliğin, dolayısıyla hacmin azalmasına sebep olmuştur. Uzun yıllardır devam eden sediman birikimi, atıksu deşarjı ve araziden yağmur sularıyla göle giren besi maddeleri göldeki biyolojik gelişmeleri hızlandırmıştır. Gölede yer yer bataklıklaşma, su içi yüksek bitkilerinde de aşırı artış ve yayılım başlamış, göldeki sığlaşma hız kazanmıştır. Göledeki sediman ve besin maddelerinin artışı ile bataklıklaşma ve ötrofikasyon hakim şekle dönüşmüştür. Ayrıca Mogan Gölü etrafına kuşaklama kolektörleri yapılmasına rağmen zaman zaman söz konusu kaçak deşarjlar olmaktadır. Göledeki kirlenmenin diğer önemli bir nedeni tarım alanlarından gelen yayılı kirleticilerdir.

Mogan Gölüne giren akımlar hava sıcaklığı, hava nemi, rüzgar hızı, rüzgar yönü, buharlaşma, ve yağış, dataları mevcut olup, bu çalışmada kullanılmıştır.

2.2. Çalışmada Kullanılan Pamolare, Wasp ve Aquatox Modelleri

Pamolare; S.E Jorgenson, H.Tsuno ve T.Hidaka tarafından UNEP, DTIE ve ITEC/ILEC adına yapılmış bir ekosistem simulasyon modelidir. Pamolare modeli üç modelden oluşmuştur. Bunlar **Vollenweider plot, 1-tabakalı model** (4 durum değişkeni ve bir sayının korelasyonu) ve **2-tabakalı model dir**. Ayrıca bir de **Pamolare 2** isimli sığ göller için geliştirilmiş bir modülü bulunmaktadır[4].

Pamolare Modelinde sistem kütle dengesine dayanmakta olup, tüm parametreler için diferansiyel denklemler mevcuttur. Örnek olarak su kolonundaki azot için difaransiyel denklem aşağıda verilmiştir.

$$DN_{wat}/dt = ((N_{load}-Denit) + N_{rel} * N_{Sed})/z - (1/W_{res}) * N_{wat} * a - (1/z) * SedRate * N_{wat}$$

N_{Wat} :Toplam azot mg/l

N_{sed} :Sedimanttaki azot g/m²

N_{load} :Göle azot girişi (g/m²/year)

N_{rel} :Sedimanttan azot çıkış hızı

N_{bound} :Sedimentdaki sabit azot oranı

z :Gölün derinliği m.

W_{res} :Ortalama bekleme süresi

$SedRate$:Ortalama sedimentasyon hızı (m/yıl)

a :Termoklin oluşumundan dolayı çıkan nütrientin düzeltme faktörü

Pamolare Modelinde çoğu parametreler için yukarıdaki gibi kütle dengesine dayanan diferansiyel denklemler mevcuttur. Ayrıca bazı parametreler için hem kabuller yapılmış hemde bazı formülasyonlar kullanılmıştır.

Pamolare Modelinde özellikle Azot ve Fosfor parametreleri için sedimandan su kolonuna salınımı da esas almıştır. Mogan Gölünde fosfor ve azot değeri sırasıyla 10 gr P/m² ve 50 gr N/m² alınmıştır. Ayrıca Pamolar'de tüm yükler sedimentasyon hızı ve denitrifikasyon hızı da hesaplanarak modele girdi olarak alınmıştır.

Aquatox Modeli biyolojik ve kimyasal olarak kötüleşen sulara uygulanmaktadır. Su yöneticileri hangi faktörlerin sucul ortamları kötüleştirdiğini bu model yardımıyla öğrenmektedirler. Teklif edilen kirlilik önleme aksiyonlarının hedefleri tutturup tutturulmayacağı bu model vesilesiyle belirlenebilmektedir. Ayrıca alınacak önlemler ile su kalitesinin ve sucul ortam topluluklarının istenen seviyeye gelip gelmeyeceği tespit edilebilmektedir. İlerde herhangi bir plansız sonuçlanmaların olup olmayacağı ve bozulan sucul sistemlerin iyileştirilmesinin ne kadar zaman alacağı yine bu model yardımıyla öğrenilmektedir[5].

Aquatox ile aşağıdaki parametreler modellenmektedir;

NNütrientler ve toksik madde konsantrasyonları

- Bimoslar

Bitkiler, omurgasız canlılar ve balıklar

- Klorofil a

Fitoplankton, Perihapton ve Yosunlar

- Toplam katı maddeler, Seki derinliği,

-Çözünmüş oksijen,

- Biyolojik oksijen talebi,
- Biyoakümülyasyon faktörü,
- Organik toksikantların yarılanma ömrü

Aquatox modeli ile sucul organizmalara zarar verilmeden ekolojik risk değerlendirmesi yapılabilmektedir. Balıkların yok olmasına sebep olabilecek alt toksik madde dozları belirlenebilmektedir. Yiyecek zinciri dağılımının olup olmayacağı bu çerçevede zooplanktonların faydalı balıklar tarafından tüketip tüketmeyeceği veya alg patlamasının olup olmayacağı belirlenebilmektedir. Biyoakümülyasyon faktörü hesaplanabilmektedir.

Aquatox modeli ile özellikle toksik maddeler için uygulan kirlilik azaltma programlarından sonra omurgasızlar ve balıkların iyileşme zamanı tahmin edilebilmektedir. Sistemin yaygın türlere ve çok az önlemlere karşı nasıl cevap vereceği potansiyel olarak değerlendirilmektedir. Örnek olarak bölgeye ait türlerin yok olup olmayacağı, ekosistemin değişip değişmeyeceği, biosidlerin yarı ömürlerinin veya potansiyel etkilerinin ne olacağı hususunda cevap verebilmektedir.

Aquatox sucul yaşam ile kirleticilerin bağlantılarını içeren bir simülasyon modelidir. Bütünleşmiş tahminleri ve ekolojik etkileri içermektedir. Misal olarak nütrientlerin ve ötrofikasyonun etkileri, organiklerin ekotoksik ve besin zincirlerinin etkileri verilebilmektedir. Nütrientlerin, organik toksiklerin, sıcaklığın, askıda katı maddelerin ve debinin çoklu baskı etkileri tahmin edilmektedir. Örnek olarak bölgeye ait türlerin yok olup olmayacağı, ekosistemin değişip değişmeyeceği, biosidlerin yarı ömürlerinin veya potansiyel etkilerinin ne olacağı hususunda cevap verebilmektedir.

Suni göllere, barajlara, derelere, nehirlerle ve iç sulara uygulanmaktadır. Tamamıyla karışık termal veya tuzlu doymuş sular, kolaylıkla modellenmektedir[6]. Aquatox Modelinde yine kütle denklemine dayanan diferansiyel denklemler kullanılarak hesaplama yapılmaktadır. Bu doğrultuda sucul ortamdaki tüm bileşenler göz önüne alınmaktadır. Örnek olarak toksik organik maddeler için uçuculuk, % 50 öldürücü konsantrasyonlarında dahil tüm fiziksel ve kimyasal özellikler dikkate alınmaktadır. Bu doğrultuda çözünmüş oksijen için Modelde kullanılan diferansiyel denklem aşağıda verilmiştir.

$$\frac{dOxygen}{dt} = Loading + Re\ aeration + Photosynthesis - BOD - NitroDemand - Washout + -TurbDiff$$

$dOxygen/dt$ = Çözünmüş oksijenin konsantrasyonundaki değişim (g/m^3d),

Loading = Akışla gelen yükleme (g/m^3d),

Reaeration = Oksijenin atmosferle değişimi (g/m^3d),

Photosynthesized = Fotosentez ile üretilen oksijen (g/m^3d),

BOD = Biyolojik oksijen ihtiyacı (g/m^3d),

NitroDemand = Nitrifikasyon ile oksijen alımı (g/m^3d),

Photosynthesis = Fotosentez hızı (g/m^3d),

Washout = Sucul ortama akışa bağlı olarak meydana gelen kayıp (g/m^3d),

TurbDiff = Turbilant difüzyonuna bağlı olarak epilimnion ve hipolimnion arasındaki transfer (g/m^3d),

Su Kalite Analizi Simülasyon (Benzeşim) Programı (WASP 6), Di Toro ve diğerleri 1983; Connolly ve WinField, 1984; Ambrose, R.B ve diğerleri 1988 tarafından meydana getirilen orijinal WASP modeline ait gelişmiş bir üst modeldir. Bu model, kullanıcılara, doğal ve insan kaynaklı kirlenmelerin ardından gelişen su kalitesindeki oynamaları yorumlama ve geleceğe

yönelik tahminler yapabilmek için çeşitli kirletici yönetimi yapılabilmesine yardımcı olur. WASP, su kolonu ile altında yer alan dip canlıları da dahil olan su sistemleri için bir dinamik bileşenli modelleme programıdır. Adveksiyon, dispersiyon, nokta ve yayımlı kütle yüklemeleri ile sınır değişimlerine ait değişken zamanlı süreçler temel program içinde kullanılmaktadır.

WASP, su kaynakları ile bunların temasta bulunduğu katı faz arasındaki kalite değişimi dinamiğini ortaya koyan, karışım hücreleri yaklaşımı ile çalışan, 1, 2 ve 3 boyutlu olarak kullanılabilen bir su kalite modelidir. Aynı anda, çözülmüş ya da askıda çok sayıda kirletici için kullanılabilir. Advektif, dispersif ve difüzyif kirletici hareketlerini modelleyebilmektedir. Hidrodinamik ve sediman taşınım modelleri ile birlikte kullanılarak, akım, hız, sıcaklık, tuzluluk ve sediman akılarının kalite üzerindeki etkisini ortaya koymak için kullanılabilir. Biyokimyasal oksijen ihtiyacı, çözülmüş oksijen dinamiği, azot-fosfor dinamiği, ötrofikasyon, bakteriyel kirlenme, organik kirlenme ve ağır metal kirliliği gibi farklı kirlenme süreçlerini eş zamanlı olarak modelleme yeteneğine sahip bulunmaktadır.

WASP Modeli kütle korunumu üzerine kurulmuş bir su kalite modelidir. Her bir su kalite bileşenine ait kütle değişik taşınım süreçlerine bağlı olarak hesaplanmaktadır. Model, akarsu ortamına giren, çıkan tüm bileşenler için advektif ve dispersif taşınımı ile fiziksel, kimyasal ve biyolojik dönüşümleri dikkate alarak kütle denkliği hesabı yapmaktadır. Herhangi bir sucul ortam içerisinde herhangi bir noktada kütle denkliği:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \left[-\frac{\partial(U_x C)}{\partial x} - \frac{\partial(U_y C)}{\partial y} - \frac{\partial(U_z C)}{\partial z} \right] + \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(E_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(E_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(E_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) \right] + S_L$$

şeklinde ifade edilebilir.

Bu eşitlikte,

C: Su kalite bileşeni konsantrasyonu (mg/l ya da gr/m³),

t: Zaman

U_x, U_y, U_z akım yolu boyunca, yanal ve dikey advektif hız bileşenleri (m/g)

E_x, E_y, E_z: Boyuna, enine ve düşey dispersiyon katsayıları (m²/g)

S_L: noktasal ya da alansal beslenme miktarı (gr/m³g)

S_B: Sınırlardan yükleme miktarı (akış yolu boyunca, bentik ve atmosferik) (gr/m³g)

S_K: Kinetik dönüşüm miktarı, katkı ise pozitif, kayıp ise negatif) (gr/m³g)

WASP içerisinde bu eşitlik, sonlu farklar yaklaşımı ile sayısal hale dönüştürülmüştür. Eşitlik ile her bir sucul ortam segmenti içerisinde kütle denkliği:

Kütle Birikimi = Giren Kütle – Çıkan Kütle + Segment içinde Katkı – Segment içinde Kayıp şeklinde hesaplanmaktadır.

2.3. Çalışmada Kullanılan Fiziksel, Kimyasal ve Biyolojik Parametreler ve Bu Parametrelerin Modellere Girilmesi

Mogan ve Eymir Gölleri ve Gölleri Besleyen Su Kaynaklarının kirlilik kapsamlı izleme çalışması, Çevre ve Orman Bakanlığına bağlı Özel Çevre Koruma Kurumu Başkanlığı ile koordineli olarak Çevre Referans Laboratuvarınca 2001, 2002, 2004, 2005 ve 2006 yıllarında yapılmış ve yapılmaya devam edilmektedir.

Mogan Gölü'nü besleyen derelerden 10 örnekleme noktası, göletlerden 3 ve Mogan Gölü'nden 4 her iki göle ait birer çıkış noktası olmak üzere toplam 17 örnekleme noktası seçilmiştir.

Özellikle ölçülmüş tüm kimyasal parametreler mg/L dir. Aquatox, Pamolare ve WASP'da kimyasal parametreler mg/L olarak girilmektedir. Gölde biyolojik parametreler birey/m³ olarak ölçülmüştür. Bunun için biyolojik parametrelerin g/m³ (g/m²)'e dönüştürülmesi

gerekmektedir. Bu çalışmada fitoplanktonların gr/m^3 'e dönüştürmek için Mullin vd.(1966) tarafından geliştirilen aşağıda verilen formülasyonu kullanılmıştır[7].

$$\text{Fitoplankton (mg/L)} = ((\text{birey})/\text{mL}) * 2e-4$$

Bu formül yardımı ile Mogan Gölünde bireysel olarak ölçülen fitoplankton dataları mg/L'ye dönüştürülmüştür.

Zooplanktonlar ve Daphinaların mg/L'ye çevrilmesi için Aquatox yazarları tarafından kullanılan aşağıda verilmiştir.

$$\text{Daphina veya zooplankton (mg/L)} = 0.0006 * (\text{birey})/5$$

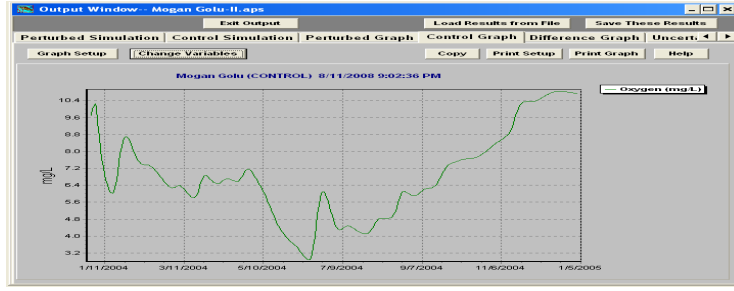
Tüm bu dönüşümler yapıldıktan sonra Aquatox, Pamolare ve WASP Modellerine girdi oluşturulmuştur. Aquatox Modelinde yer alan parametreler için hem gölde hem de derlerden ölçülen ölçüm neticeleri, hem giriş konsantrasyonu hem de dinamik yükleme olarak giriş yapılmıştır. Bazı parametrelerin konsantrasyonu derelerdeki ölçüm neticelerinin ortalamasından yüksek olduğu için Mogan gölündeki ölçüm neticeleri hem giriş konsantrasyonunda hem de dinamik yüklemede kullanılmıştır. Toplam Amonyum, Nitrat, Toplam Çözülebilir Fosfor ve Askıda Katı Madde parametrelerinin Mogan Gölüne dökülen derelerdeki ölçüm değerleri Mogan Gölündeki ölçüm değerlerinden çok yüksek olduğu için giriş değerleri olarak söz konusu derelerin ortalamaları alınmıştır. Organik madde yükü olarak Göldeki ölçüm değerleri derelerdeki ölçüm değerlerinden çok yüksek olduğu için derelerdeki toplam değerler güvenli tarafta kalmak için girdi olarak alınmıştır. Sıcaklık, Çözünmüş Oksijen, pH ve Biyolojik parametreler için Göldeki ölçüm değerleri alınmıştır. Hidrolojik parametre olarak Mogan Gölü derelerinde ölçülen parametreler alınmıştır. Tüm girdi değerleri için 2002 yılı ölçüm neticeleri alınmıştır. Aquatox Modelinde ayrışma katsayıları için Mogan Gölü gibi ötrofik olan, Amerika'da bulunan Clear Lake de kullanılan katsayılar kullanılmıştır. Aquatoxda kullanılan organik madde suda ve sedimanda olmak üzere sekiz kısımda modellenmiştir.

Pamolare Modelinde data girişi yapılırken genelde Aquatox Modeli için meydana getirilen datalar kullanılmıştır. Ayrıca sedimantasyon hızı, su ortamındaki ve sedimandaki azot ve fosfor konsantrasyonu ve sedimandan azot ve fosfor salınımı Pamolare Modelinin teknik dokümanında verilen formülasyonlardan yararlanılarak hesaplanmış ve Modele girdi teşkil edilmiştir. Tüm parametreler için ayrışma katsayıları yine Pamolare Modelinin teknik dokümanından yararlanılarak Pamolare Modelinin alt modüllerine girilmiştir.

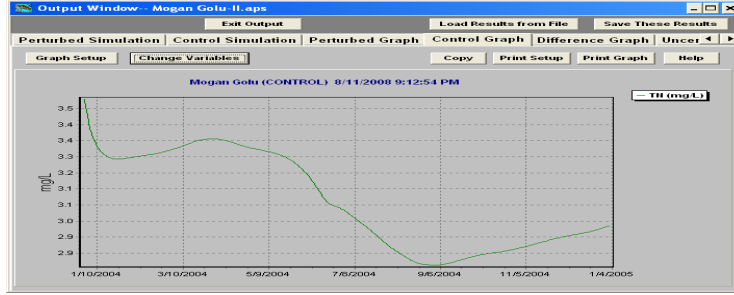
Su Kalite Analizi Simülasyon (Benzeşim) Programı (WASP) Modeli içinde Aquatox ve pamolare modelinde olduğu gibi Mogan Gölü 2002 yılı ölçüm sonuçları kullanılmıştır. Mogan Gölü tek segment olarak kabul edilmiştir. Tüm parametreler aylık bazda girilmiştir. Tüm parametrelerde ayrışma katsayısı olarak yine WASP modelinde uygulamaları olan katsayılar kullanılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

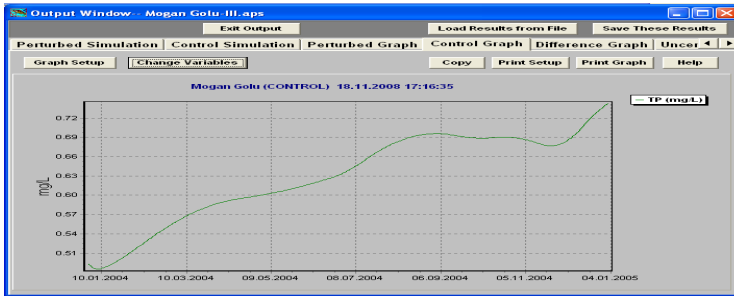
Aquatox Modelinde kalibrasyon ve verifikasyon yapılmadan önce bazı parametrelerin simülasyon grafikleri 2004-2005 yılları için Şekil 3.1-Şekil 3.3 arasında gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Çözünmüş Oksijenin 2004-2005 yılı için simülasyon grafiği

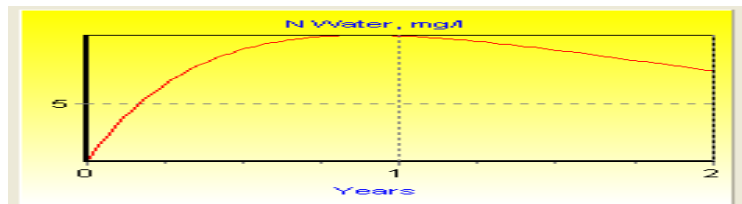


Şekil 3.2. Toplam Azotunun 2004-2005 yılı için simülasyon değişimi

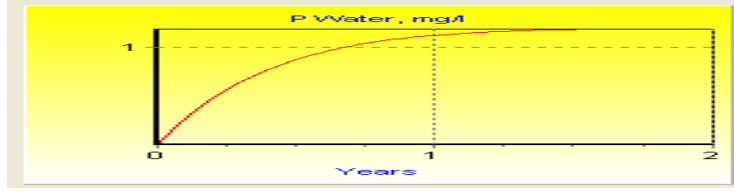


Şekil 3.3. Toplam Azotunun 2004-2005 yılı için simülasyon değişimi

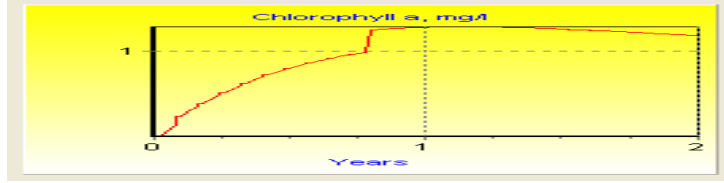
Pamolare ve alt modülleri tarafından yapılan simülasyon neticeleri Şekil 3.4-Şekil 3.11 arasında gösterilmiştir.



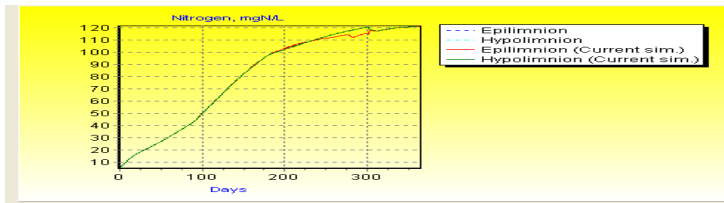
Şekil 3.4. Tek Tabakalı modelde Toplam Azotun değişimi



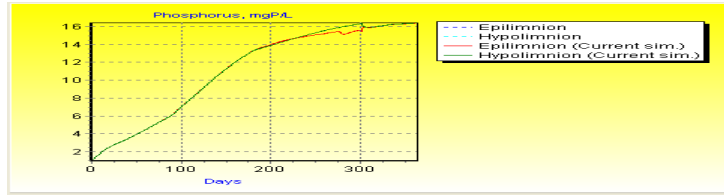
Şekil 3.5. Tek Tabakalı modelde Toplam Fosforun değişimi



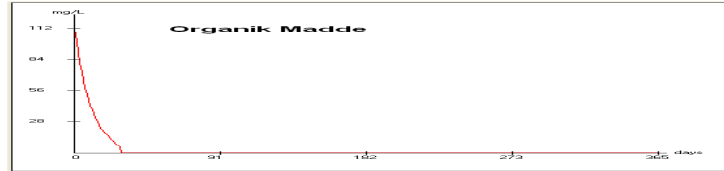
Şekil 3.6. Tek Tabakalı modelde Klorofil a'nın değişimi



Şekil 3.7. İki tabakalı modelde Toplam Azotun simülasyon grafiği

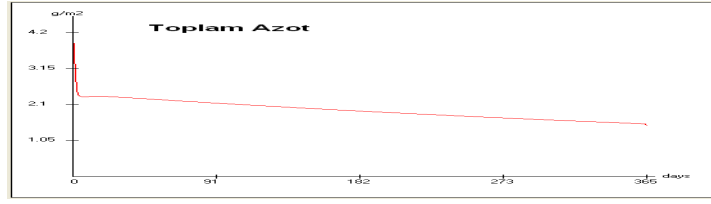


Şekil 3.8. İki tabakalı modelde Toplam Fosforun simülasyon grafiği



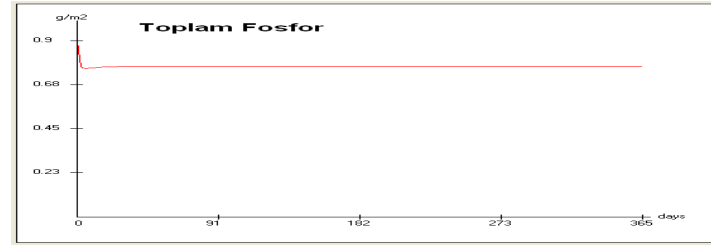
Şekil 3.9. Sığ göller için meydana getirilen Pamolare 2 modelinde

Organik Madde için elde edilen bir yıllık simülasyon sonucu



Şekil 3.10. Sığ göller için meydana getirilen Pamolare 2 modelinde

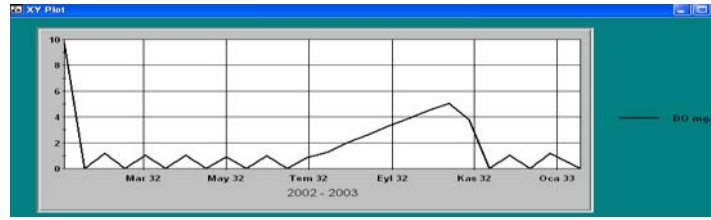
Toplam Azot için elde edilen bir yıllık simülasyon sonucu



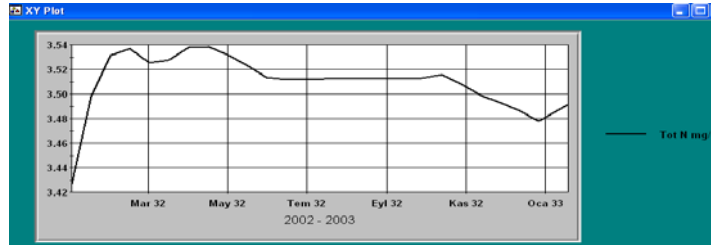
Şekil 3.11. Sığ göller için meydana getirilen Pamolare 2 modelinde

Toplam Fosfor için elde edilen bir yıllık simülasyon sonucu

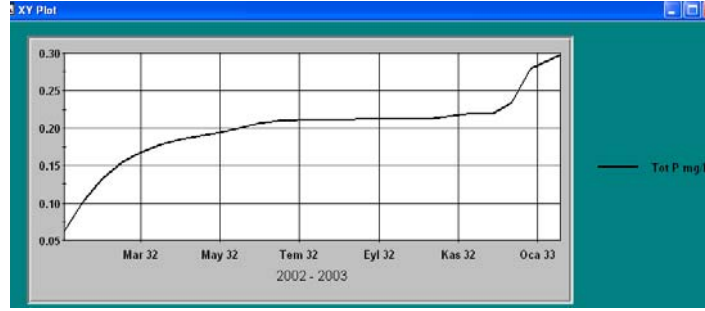
Su Kalite Analizi Simülasyon (Benzeşim) Programı (WASP) Modeli tarafından yapılan simülasyon neticeleri Şekil 3.12-Şekil 3.14 arasında gösterilmiştir.



Şekil 3.12. WASP modeli Çözülmüş Oksijen Simülasyon neticesi



Şekil 3.13. WASP modeli Toplam Azot Simülasyon neticesi



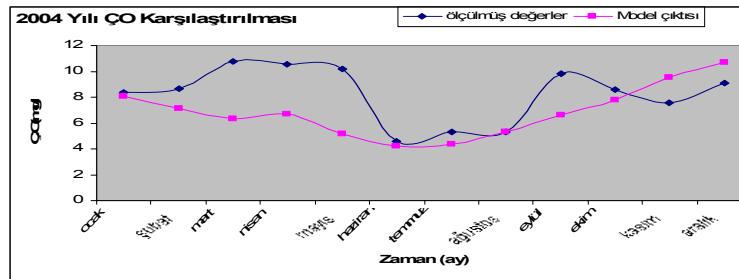
Şekil 3.14. WASP modeli Toplam Fosfor Simülasyon neticesi

Bu çalışmada Aquatox, Pamolare tek tabakalı, Pamolare çift tabakalı, Pamolare yapısal olarak dinamik, Pamolare sığ göller için yapısal olarak dinamik ve Su Kalite Analizi Simülasyon (Benzeşim) Programı (WASP) Modelleri Mogan Gölü su kalitesinin simülasyonu için kullanılmıştır.

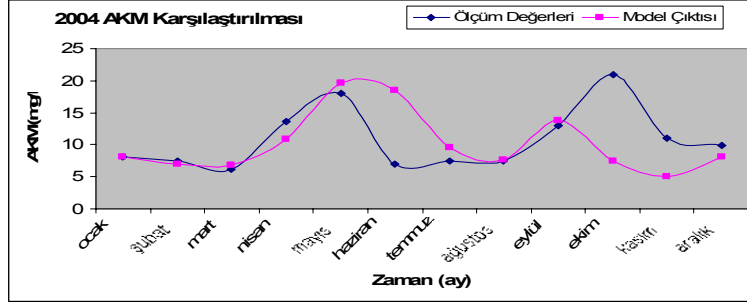
Mogan Gölünün simülasyonu neticesinde en iyi sonucu Aquatox modeli vermiştir. Aquatox modelinin 2004 ve 2005 yılı simülasyon neticelerinin karşılaştırmaları detaylı olarak Şekil 3.15-Şekil 3.20 arasında gösterilmiştir. Aşağıdaki şekillerden görüldüğü gibi Toplam fosfor parametreleri hariç kalibrasyon ve verifikasyondan önce gerçek değerler ile simülasyon neticeleri arasında son derece iyi bir uyum vardır. Bunun en önemli sebepleri; Aquatox Modelinin Mogan Gölü için girdi parametrelerinin fazla olması, ölçüm değeri olmayan parametreler için bazı formülasyonlar ile hesaplamaların yapılabilmesi, özellikle Mogan Gölü sedimanı için Aquatox Modelinde kullanılan formülasyonların kullanılması ve çalışmada aylık bazda değerler girilmesine rağmen bu değerlere karşı son derece hassas olmasından kaynaklanmaktadır.

Pamolare modeli ve versiyonlarının diğer iki model ile karşılaştırıldığında giriş parametreleri hem az hem de giriş değerleri yıllık ortalamaları içermektedir. Bu sebeplerden dolayı pamolare modeli ve versiyonları ile iyi sonuçlar alınamamıştır.

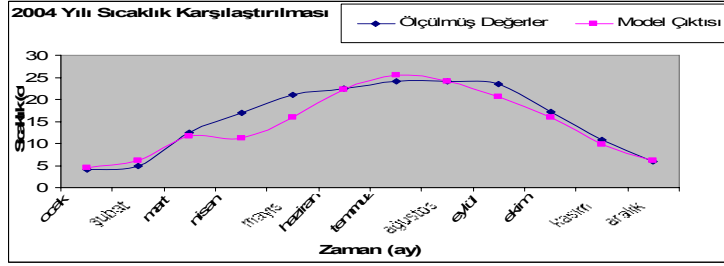
Su Kalite Analizi Simülasyon (Benzeşim) Programı (WASP) Modeli diğer modeller ile karşılaştırıldığında öncelikle daha çok girdi parametresine ve bu parametreler ile ilgili daha fazla girdi datasına ihtiyaç duymaktadır. Model meydana getirilirken Mogan Gölü tek segment olarak kabul edilmiştir. Misal olarak Çözünmüş Oksijen simülasyon grafiğine bakıldığında girdi dataları az olduğu için bazı yerlerde sıfır değerleri görülmüştür.



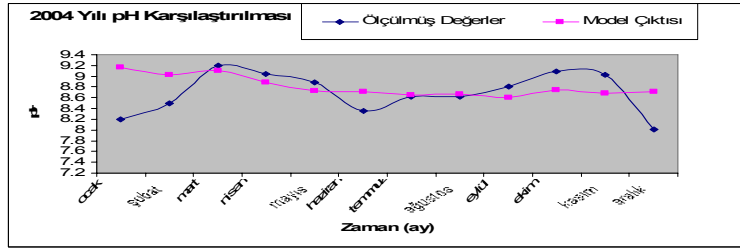
Şekil 3.15. 2004 Yılı Çözünmüş Oksijen İçin Ölçülmüş Değerler ve Model Çıktısının Karşılaştırılması



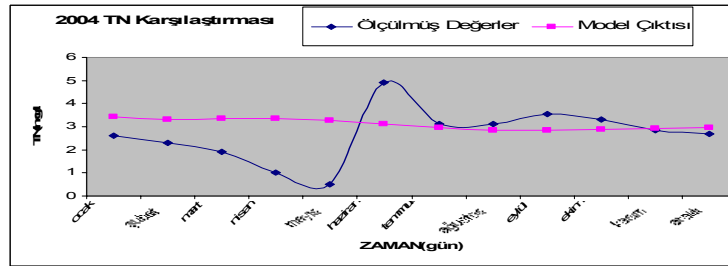
Şekil 3.16. 2004 Yılı Askıda Katı Maddeler İçin Ölçülmüş Değerler ve Model Çıktısının Karşılaştırılması



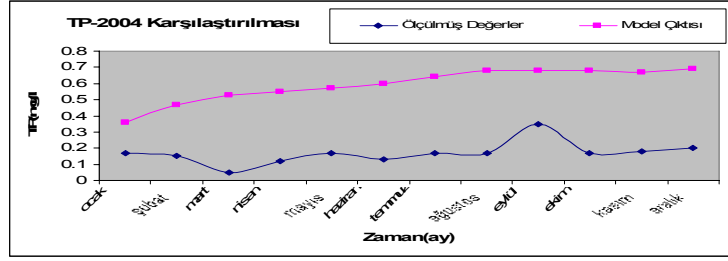
Şekil 3.17. 2004 Yılı Sıcaklık için ölçülmüş değerler ve model çıktısının karşılaştırılması



Şekil 3.18. 2004 Yılı pH için ölçülmüş değerler ve model çıktısının karşılaştırılması



Şekil 3.19. 2004 Yılı Toplam Azot için ölçülmüş değerler ve model çıktısının karşılaştırılması



Şekil 3.20. 2004 Yılı Toplam Fosfor için ölçülmüş değerler ve model çıktısının karşılaştırılması

4. SONUÇLAR

Çalışma safhasında Aquatox, WASP ve Pamolare modelinin alt modülleri kullanılmıştır. Girdi olarak 2002 yılındaki kimyasal, biyolojik ve hidrolojik parametreleri kullanılmıştır. 2004 yılı için tüm yıl simülasyonda kullanılmıştır.

Bu çalışma neticesinde Aquatox Modeli; Mogan Gölünde Organik Maddeleri sekiz kısma ayırarak modellemesi, özellikle Mogan Gölü çamurunun yoğunluğu bilindiği için sediman içindeki ayrışabilir ve ayrışmaya dirençli organik maddeleri doğru bir şekilde hesaplanması, Aquatox Modelinin giriş parametrelerine karşı çok az duyarlı olması, Karbondioksit önemli nütrientleri sınırlandırdığı için sucul ortamdaki bitkiler tarafından asimile edildiği ve aynı zamanda organizmalar tarafından solunarak üretildiği için Aquatox Modelinde giriş değeri olarak alınmış olması, Mogan Gölünde ölçülemeyen bazı parametreler için Aquatox'un teknik dokümanında ve literatürde verilen bazı formüllerin kullanılmış olması ve Mogan Gölünde ölçülen türlerin grup bazında değil de tür bazında modele girilmesi gibi nedenlerden dolayı diğer modellere göre daha iyi netice vermiştir.

Pamolare tek tabakalı, Pamolare çift tabakalı, Pamolare yapısal olarak dinamik ve Pamolare sıg göller için yapısal olarak dinamik modeller Mogan Gölüne uygulandığında iyi simülasyon neticeleri vermemesinin; Pamolare modeli ve versiyonlarının Aquatox Modeli ile karşılaştırıldığında girdi parametrelerinin az olması, Pamolare modeli ve versiyonlarında giriş değerlerinin yıllık ortalamaları içermesi ve Pamolare modeli ve versiyonlarında sucul türler girdi oluşturulurken türler bazında değil de gurup olarak girilmesi gibi nedenlerden kaynaklandığı öngörülmüştür.

Su Kalite Analizi Simülasyon (Benzeşim) Programı (WASP) Modelinin Mogan Gölüne uygulanmasında iyi netice vermemesinin nedenleri; WASP Modeli öncelikle çok fazla giriş parametresine ihtiyaç duyması, WASP Modeli aynı zamanda çok fazla ölçüm datasına ihtiyaç duyması ve WASP Modelinde bilinmeyen bazı parametreler için ampirik formüllerin kullanılmaması gibi nedenlerden kaynaklandığı öngörülmüştür.

Diğer taraftan Aquatox Modelinin diğer modellerden ayıran en önemli tarafı ekotoksikolji alt modülü içermesi ve bu sayede özellikle toksik organik maddelerin sucul ortamdaki bileşenlere etkisinin görülmesidir. Bu sayede sucul ortama etki eden maksimum giriş konsantrasyonu bulunarak sucul ortamdaki maksimum izin verilebilir konsantrasyon bulunmaktadır. Maksimum izin verilebilir konsantrasyon Çevresel Kalite Standardı ile aynı manaya gelmektedir. Diğer taraftan Aquatox Modeli ile kirlilik azaltma programlarının alıcı ortamlardaki etkisi görülebilmektedir.

Netice olarak Su kalitesi modelleri ile ileriye dönük tahminler yaparak sucul ortamların iyileşip, iyileşmediği hakkında karar verilebilmektedir. Yine sucul ortamlarda su kalitesinin iyileşmesi için hangi tedbirlerin alınması gerektiği modeller vasıtasıyla belirlenmektedir. Bu doğrultuda çalışmada en iyi netice veren Aquatox Modeli ile hem makro parametreler için ileriye dönük tahminler yapılmakta hem de mikro parametrelerin sucul ortam bileşenlerine etkileri

görülebilmektedir. Dolayısıyla Mogan Gölünde iyi netice veren Aquatox Modeli diğer sucul ortamlara da uygulanabilir olduğu kanaatine varılmıştır.

REFERENCES / KAYNAKLAR

- [1] Smith V.H., Tilman G.D. Nekola J.C., (1999), "Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems", *Environmental Pollution* (100) 179-196
- [2] Christensen, N., Paaby, H., and Holten- Andersen, J.,(1993), *Environmental and Society – The State of the Environment in Denmark*. Professional report no. 93, National Environmental Research Institute,
- [3] Çevre Kirliliğini Önleme ve Kontrol Genel Müdürlüğü, (2003), "Mogan – Eymir Gölleri ve Çevresi Su Kirliliği İnceleme Raporu", Çevre Referans Laboratuvarı, Ankara.
- [4] Planning and Management of Lakes and Reservoirs Models for Eutrophication Management, PAMOLARE Training Package Pilot Version 2.0, UNEP International Environmental Technology Centre (UNEP-DTIE-IETC), International Lake Environment Committee (ILEC).
- [5] A. Park, R., and S.Clough, J., (2004), "Modeling Environmental Fate and Ecological Effects in Aquatic Ecosystem" Volume 1: User's Manual, U.S. Environmental Protection Agency Office of Water Office of Science and Technology.
- [6] A. Park, R., and S.Clough, J., (2004), "Modeling Environmental Fate and Ecological Effects in Aquatic Ecosystem", Volume 2: Technical Documentation, U.S. Environmental Protection Agency Office of Water Office of Science and Technology.
- [7] Mullin, M., P. R. Sloan, ve R. W. Eppley., (1966)., "Relationship between carbon content, cell volume and area in phytoplankton". *Limnol. Oceanogr.* 11: 307–311.