

**ÇEVRESEL AÇIDAN DUYARLI BÖLGELERDE YATIRIM PLANLAMASINDA
NÜMERİK MODEL KULLANIMI : GÖCEK ÖRNEĞİ**

Dr. İnş. Müh. Tunç Gökçe
Şirket Müdürü
Artı Proje Ltd. Şti.

İnş. Müh. İpek Baga
Proje Mühendisi
Artı Proje Ltd. Şti.

İnş. Müh. Merih Özcan
Teknik Müdür
Artı Proje Ltd. Şti.

ÖZET

Göcek Özel Koruma Alanı, Akdeniz'in güney batısında, dik yamaçları ve hızla derinleşen denizi ile bölgenin tipik koylarından biridir. Her yıl pek çok yata hizmet veren mevcut yanaşma yerleri ve marinalara ilave olarak, Göcek'te içinde marina da içeren yeni bir turizm kompleksi planlanmaktadır. Marina faaliyetlerinin çevre koruma prensiplerine uygunluğu ve marinanın çevreye etkileri planlama aşamasında kapsamlı nümerik model çalışmalarıyla araştırılmıştır. Bu çalışmalar Göcek Koyu'nun yönetim planının hazırlanmasına ve yapılması planlanan turizm kompleksinin Çevre Etki Değerlendirmesi (ÇED) çalışmalarına kaynak sağlamıştır.

Çalışma kapsamında öncelikli olarak Göcek Koyu'nun Hidrodinamik modeli kurularak, bir yıl süreli akıntı ve gel-git ölçümlerine dayalı olarak kalibre edilmiştir. Daha sonra yürütülen kirlilik model çalışmalarında uzaktan algılama yöntemi ile üretilen kirlilik haritaları kullanılarak, atıksu deşarjının ve tekne kaynaklı kirliliğin etkilerinin değerlendirilmesinde önemli bilgiler sağlamıştır.

Modelleme çalışmaları Danimarka Hidrolik Enstitüsü tarafından geliştirilen MIKE21 programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Programın özellikle güçlü animasyon özelliği sayesinde Turizm Bakanı'ndan yerel halka ve yerel yöneticilere kadar geniş bir yelpazede hızlı ve etkin bilgilendirme sağlanabilmektedir.

1. AMAÇ

Göcek Koyu, Güney Batı Akdeniz'de doğal zenginlikleri ile dikkat çeken koylardan biridir. Gerek yakın çevresindeki turizm merkezleri gerek hala bozulmamış sayılabilecek nitelikteki kara ve deniz kaynakları ile yerli ve yabancı turizmin odak noktalarından biri olma özelliğini sürdürmektedir. Koy, korunaklı suları ve bahsedilen doğal zenginliği nedeniyle yatçıların ana uğrak yerlerinden biri konumundadır. Koy içinde Belediye'ye ve özel kuruluşlara ait çeşitli barınma alanları bulunmaktadır.

Göcek Koyu'nda planlanmakta olan yeni turizm kompleksi ile bölgede yeni bir marina gündeme gelmektedir. Göcek gibi Özel Çevre Koruma Alanı olarak ilan edilmiş olan çevresel açıdan duyarlı bölgelerde, deniz yapıları da içeren yatırımlara karar verilmesi aşamasında, doğal kaynakların yapılaşmadan ne kadar etkileneceğinin belirlenmesi gerekli olmaktadır.

Göcek'teki yeni marinanın çevre koruma prensiplerine uygunluğu ve marinanın çevreye etkileri planlama aşamasında kapsamlı nümerik model çalışmalarıyla araştırılmıştır. Çalışmada, koydaki mevcut hidrodinamik sistemler bilgisayar ortamında benzeştirilmiş, daha sonra yapılan Su Kalitesi Modellemesi ile de koy içindeki kirlilik durumu incelenmiştir. Modelleme çalışmaları gerek saha ölçümleri gerekse uzaktan algılama yöntemine dayalı ölçümlerle detaylandırılmıştır.

Göcek Koyu'nda doğal güzellikleri koruyarak, sürdürülebilir bir kalkınma elde etmek amacıyla, koy yönetim planı oluşturulmaktadır. Yürütülmüş olan nümerik modelleme çalışmalarının sonuçları bu koy yönetim planının oluşturulmasına büyük katkıda bulunmuştur.

Bildiride, nümerik model tekniklerinin çevresel açıdan duyarlı bölgelerdeki problemlere uygulanması aşamasında göz önünde bulundurulması gereken hususlara dikkat çekilmektedir. Ayrıca, nümerik model çalışmasının yerel yöneticilere kirlilik tehditinin boyutlarının anlatılması için önemli bir araç olduğunun altı çizilmektedir.

2. ÇALIŞMA YÖNTEMİ

Göcek Koyu için yürütülen modelleme çalışmalarında temel amaç koydaki mevcut kirlilik durumunun ortaya çıkarılması ve yeni marinanın koy kirliliğine etkilerinin belirlenmesi olarak ele alınmıştır. Bu amaç doğrultusunda izlenen çalışma yöntemi aşağıda sıralanmıştır:

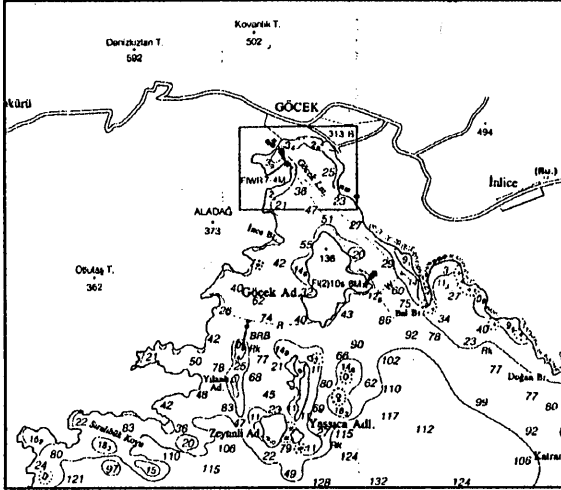
1. Bölgedeki rüzgar ve dalga iklimi belirlenmiştir.
2. Koyda bir yıl süre ile akıntı, gel-git ve su kalitesi ölçümlerine yapılmıştır.
3. Koyun Hidrodinamik Modeli kurularak, etkili hidrodinamik kuvvetler belirlenmiştir. Model, saha ölçümleri kullanılarak kalibre edilmiştir.
4. Koyun Su Kalitesi Modeli kurularak gerek mevcut durumu gerekse farklı kirlletici kaynakların etkisinde koydaki su kalitesinin değişimi simule edilmiştir. Saha ölçümleri de modelin kalibre edilmesinde kullanılmıştır.
5. Çalışmalar sonucunda ortaya konulan bulgular, yerel yöneticilerle tartışılmış, kirlilik tehditine karşı uyarılarda bulunulmuştur. Bu bulgular hem koy yönetim planının oluşturulması hem de planlanan turistik kompleksin ÇED'i açısından büyük önem taşımaktadır.

Bildirini aşağıdaki bölümlerinde çalışmalarla ilgili bilgilere yer verilmektedir.

3. KOYDAKİ RÜZGAR ve DALGA İKLİMİ

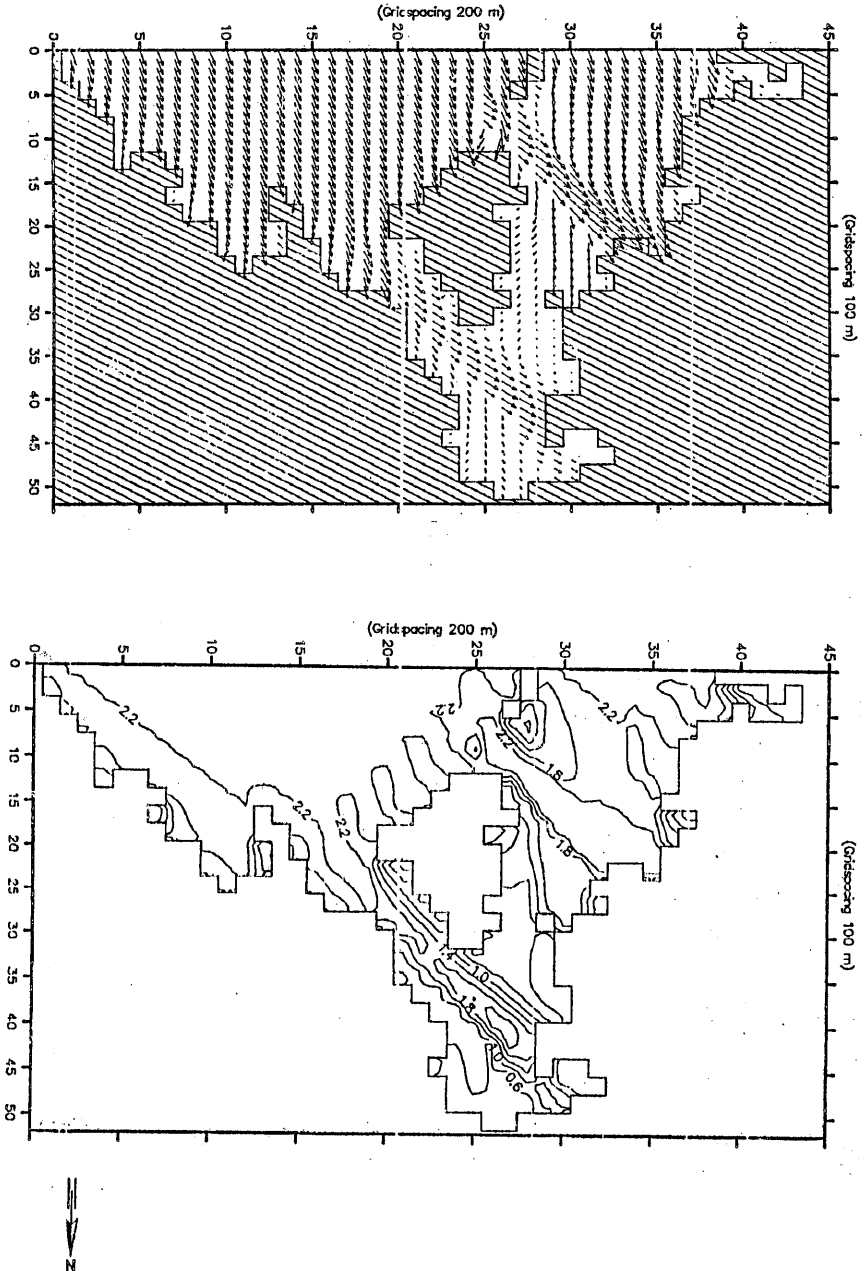
Göcek ve çevresi için rüzgar iklimi çalışmaları Fethiye Meteoroloji İstasyonu'nun saatlik rüzgar doneleri kullanılarak yapılmıştır. Rüzgar kayıtlarının yön ve hız dağılımları incelenerek etkili yön ve hızlar tespit edilmiştir.

Göcek Koyu açık deniz dalgalarına karşı oldukça korunaklı durumdadır. Koy girişinde yer alan Göcek Adası'nın ve adanın iki yanındaki kanalların koy içindeki dalga iklimi üzerinde önemli derecede etkisi bulunmaktadır. (Bkz. Şekil 1.) Hem Göcek Adasının hem de değişen deniz tabanı (batimetrik) özelliklerin açık deniz dalgaları üzerinde yaratacağı karmaşık etkiler sonucunda koy içindeki oluşacak dalga şartlarının belirlenmesinde nümerik modellerden yararlanılmıştır.



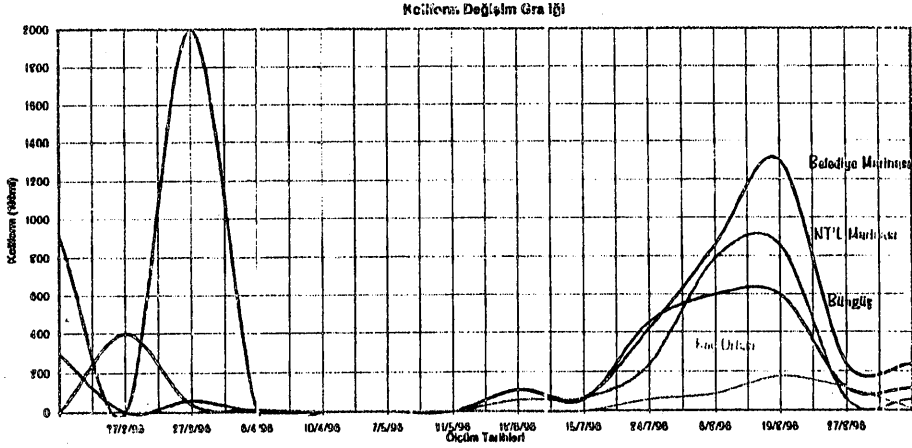
ŞEKİL 1. Göcek Koyu Seyir Haritası

Çalışma kapsamında koyu ve koy çıkışındaki adayı içine alan bir nümerik transformasyon modeli kurularak, derin denizdeki dalgaların adanın iki yanındaki kanaldan geçerek koy içine girişleri çalışılmıştır. Şekil 2'de model çalışması sonuçlarından örnekler verilmektedir. Model çalışması ile adanın dalga kırınımına etkisi belirlenebilmiş ve koy içindeki dalga dağılımı elde edilmiştir.



4. SAHA ÖLÇÜMLERİ

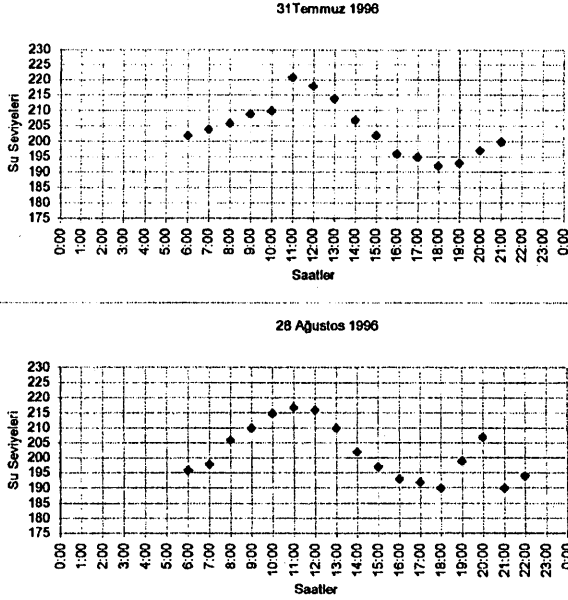
Model çalışmalarının kalibrasyonunda kullanılmak üzere İstanbul Teknik Üniversitesi Hidrolik Laboratuvarı tarafından koy içinde belirlenen noktalarda bir yıl süre ile akıntı ve su kalitesi ölçümleri yapılmıştır (Bkz. Şekil 3.). Koydaki uzun süreli değişimleri gözlemek amacıyla da uzaktan algılama tekniği ile koliform dağılımı haritaları da üretilmiştir.



ŞEKİL 3. İTÜ tarafından yürütülen su kalitesi ölçüm sonuçları

Akıntı ölçüm sonuçları hidrodinamik modelin kalibrasyonunda, su kalitesi ölçümleri ise kalite modeli kalibrasyon ve simulasyon başlangıç şartlarının tanımlanmasında kullanılmıştır.

Bu ölçümlere ilave olarak, proje bölgesinde bir yıl süre ile su seviyesi ölçümleri de yapılarak gel-git düzeni ve mevsimsel değişimler hakkında bilgi de toplanmıştır. (Bkz. Şekil 4.)



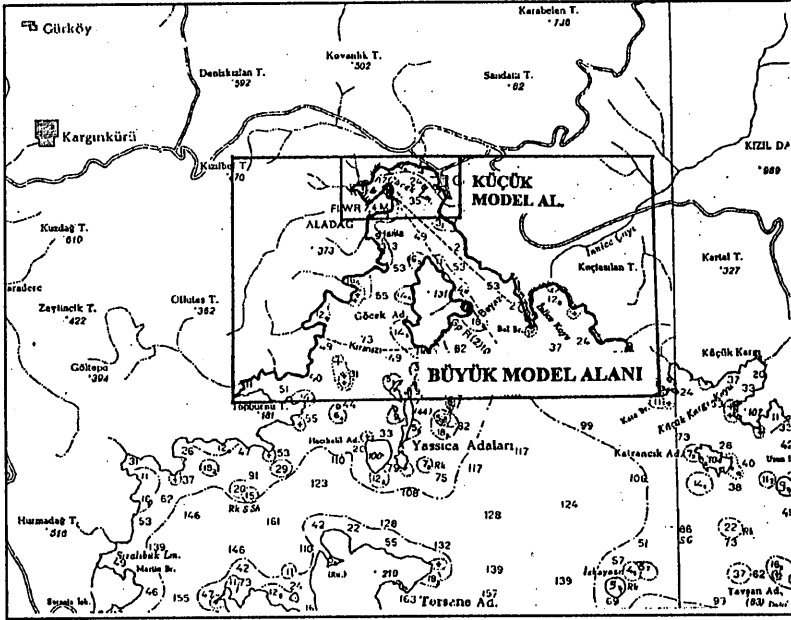
ŞEKİL 4. Su seviyesi ölçümlerinden örnekler

5. KOY HİDRODİNAMİK MODELİ

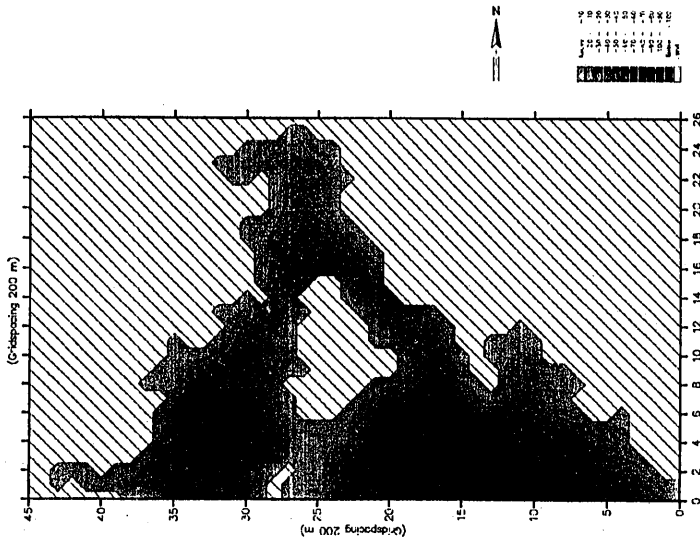
Göcek Koyu için içi içe geçmiş iki model alanından oluşan Hidrodinamik Model hazırlanmıştır. Büyük ve Küçük Model Alanları olarak adlandırılan bu modellerin yerleşimi Şekil 5’de verilmektedir. Seyir haritalarının sayılaştırılması ile oluşturulan model batimetrisinin bir örneği de Şekil 6’da verilmektedir.

Büyük Model Alanı’nda ağ açıklığı 200 metre olan bir karelej sistemi kullanılırken, Küçük Model’de ağ açıklığı 25 metreye düşürülerek hassasiyet artırılmıştır. Büyük modelde yapılan hidrodinamik simulasyon sonuçlarının küçük modele sınır şartı olarak aktarılması yöntemiyle model çalışmaları yürütülmüştür.

Simulasyonlarda gel-git ve rüzgarın, koy hidrodinamiği üzerindeki etkisini araştırmak için çeşitli sayıda deney yapılmıştır. Bunlarda, modelin açık sınırından saha



ŞEKİL 5. Koy Hidrodinamiği Çalışmaları Büyük ve Küçük Model Alanları



ŞEKİL 6. Göcek Koyu Büyük Model Batimetrisi

ölçümleri ile bulunmuş gel-git değerleri yüklenmiştir. Sadece gel-git ile yapılan deneylere ilave olarak aynı anda esmekte olan rüzgarın etkisini de görmek için deneyler yapılmıştır.

Simulasyonlar sonucunda bulunan akıntı düzeni, saha ölçümleri ile kıyaslanarak modelin kalibre edilmesi sağlanmıştır. Şekil 7’de Büyük ve Küçük model alanlarında yapılan hidrodinamik simulasyonlardan örnekler verilmektedir. Model çalışmaları ile koy içindeki akıntı sistematığı belirlenmiş, akıntının zayıf ve güçlü olduğu bölgeler tespit edilebilmiştir. Sirkulasyon azlığı nedeniyle potansiyel kirlilik tehditi altında olan bölgeler bu tür bir çalışma ile tespit edilebilmektedir.

Koy içindeki akıntı düzeni temel olarak, su kalitesi üzerinde etkili olmaktadır. Kirliliğin taşınma ve seyrelme düzeni üzerinde akıntı şartlarının etkisi bulunmaktadır. Göcek koyu için değişik gel-git ve rüzgar durumları için bulunan akıntı düzeni, su kalitesi simulasyonlarında kullanılmıştır.

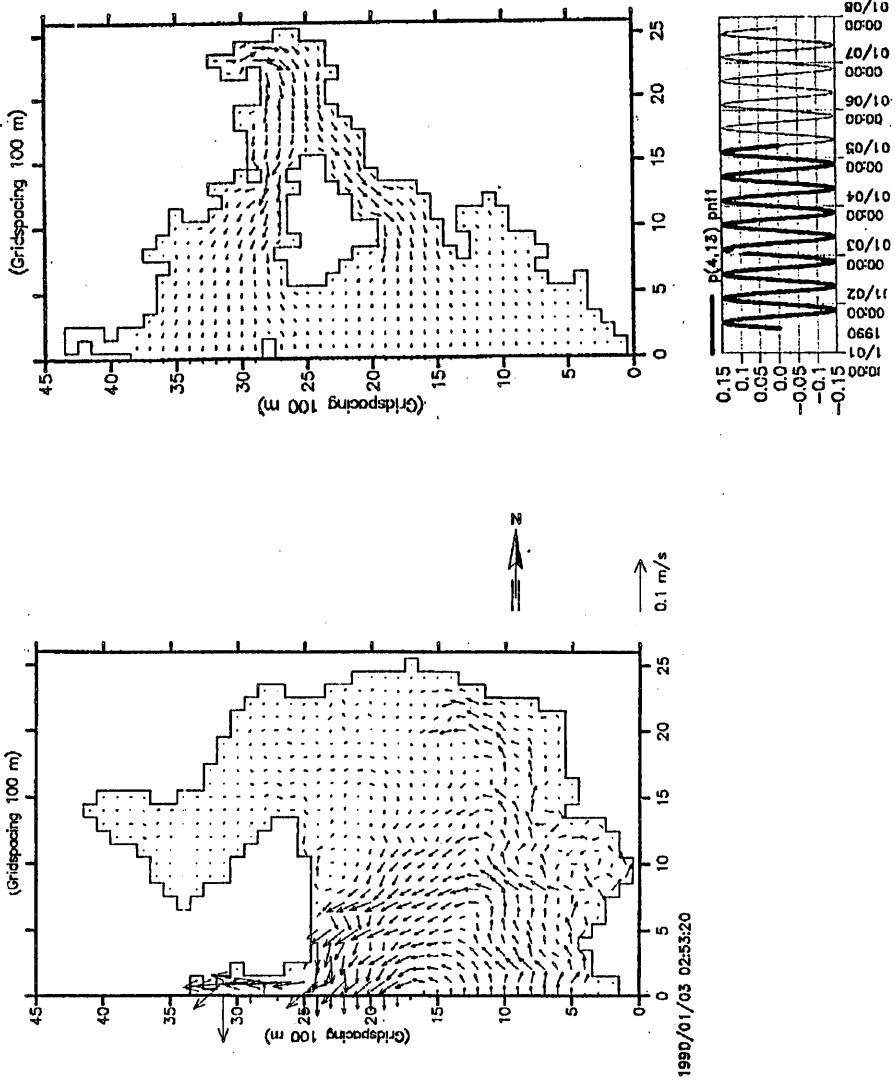
6. KOY SU KALİTESİ MODELİ

Göcek Koyu’ndaki mevcut kirlilik durumunun ve yapılacak marinanın etkilerini belirlemek amacıyla çeşitli sayıda model deneyi yapılarak koy su kalitesi 8 günlük gerçek zamanda araştırılmıştır. Yapılan simulasyonlarda, farklı kirletici kaynakları çeşitli senaryolar altında incelenmiştir.

Yapılan deneyleri aşağıdaki ana başlıklar altında toplamak mümkündür:

1. Mevcut durumda kirlilik değişimi, koydaki marinaların kirliliğe etkisi
2. Koya bırakılan atıksu deşarjının 2015 yılı için koy kirliliğine etkisi

Yapılan deneylerle ilgili bazı örnek çıktılar Şekil 8 ve 9 da verilmektedir.



ŞEKİL 7. Göcek Koyu Hidrodinamiği Örnek Çıktıları

6.1. Mevcut Durumda Kirlilik Değişimi

Bu deneylerde, koy içinde ölçülmüş olan koliform değerleri kullanılarak, koy su kalitesi modellemesi yapılmıştır. Temel olarak modellerin kalibrasyonu için yapılan bu deneylerde koyun ilave bir kirliletiçi kaynağı bulunmadığı taktirde 6 saat içinde kendisini temizleyebildiği bulunmuştur.

Bağlanma yerlerinde yaz sezonu boyunca yapılan gözlemlere dayanarak, ortalama tekne sayısına bağılı kirlilik kaynakları tanımlanmış, bu bağlanma yerlerinin koy kirliliğine etkilerini belirlemek amacıyla bir dizi simülasyonlar yapılmıştır.

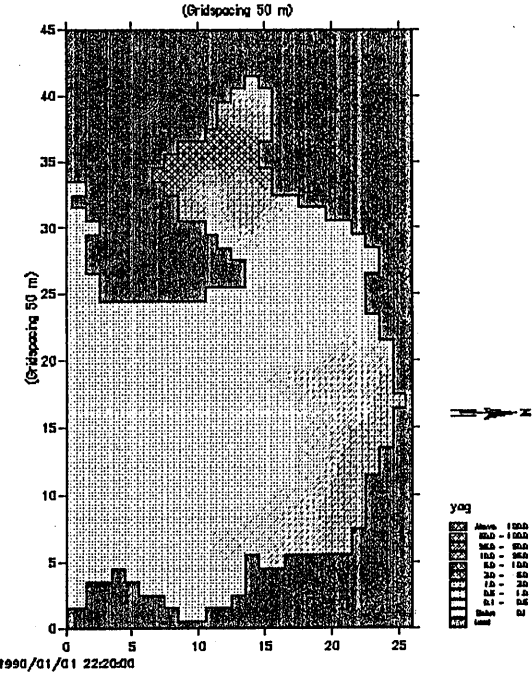
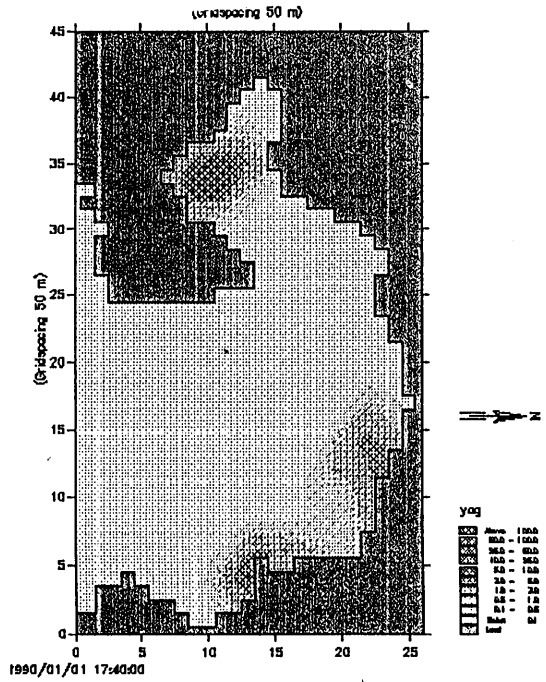
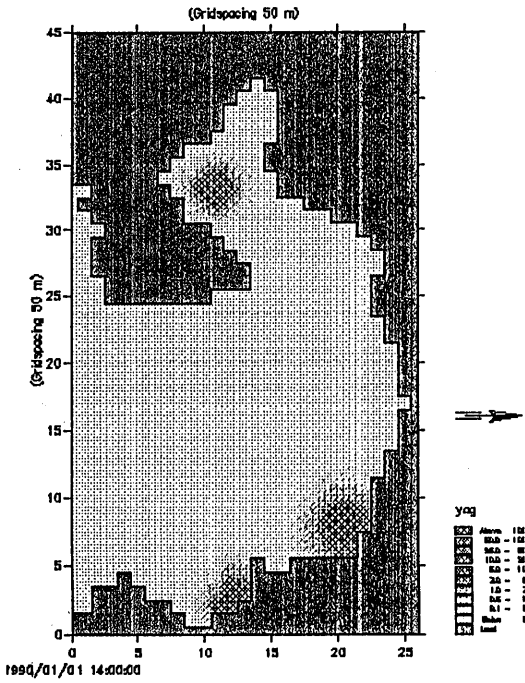
Bu simülasyonlarda, kirlilik bırakılma anlarını takiben koyda su kalitesinde geçici düşmeler olduğu ancak kalıcı sorunlar yaşanmadığı bulunmuştur. (Bkz. Şekil 8.)

Koyda etkili olacak organik madde kirliliği dışında teknelerden kaynaklanabilecek yağ, petrol gibi yokolmayan maddelerin etkisini araştırmak üzere de çeşitli simülasyonlar yapılarak su kalitesi değişimi izlenmiştir. Yokolmayan kirliliğin gerek seyrelme gerekse taşınım hızları diğer tür kirliliğe oranla daha yavaş olması, bu maddelerin özel bir dikkatle incelenmesini gerekli kılmaktadır.

6.2. Deşarj Kaynaklı Kirlilik

Göcek Belediyesi, koya dökülen dere yataklarından bir tanesine atıksu deşarjı yapmayı planlamaktadır. Bu deşarjın koyda yaratacağı etkiyi belirlemek için çeşitli senaryolar hazırlanarak simülasyonlar yapılmıştır.

Simülasyonlar, 2015 yılındaki nüfus projeksiyonlarına göre gerçekleştirilmiştir. Dere ağzından denize verilecek deşarjın 158lt/sn debili olması ve atıksuyun arıtılmış durumda 10^6 / 100ml, arıtılmamış durumda da 10^7 / 100ml koliform içerdiği öngörülmüştür. Deşarjın hem arıtılmış hem de arıtılmamış halleri için simülasyonlar tekrarlanmıştır. Denenen senaryolar arasında, mevcut yavaşma yerlerinden gelen kirliliğin deşarj kirliliği ile birlikte oluşacağı durumlar da göz önüne alınmıştır.



ŞEKİL 8. Göcek Koyunda Yat kaynaklı yok olmayan kirlilik yayılımı(Yağ, Petrol vb.)

Simulasyon sonuçlarında, Göcek Koyu'nun batısında kalan ve Büngüş olarak bilinen koyda deşarj etkisi ile önemli derecede kirlilik oluştuğu bulunmuştur. Koydaki akıntı düzeni, kirliliğin temel olarak Büngüş'e yönelmesine sebep olmakta ve akıntı hızlarının bu bölgede düşük olması kirlilik seyrelmesini engellemektedir.

Yağ, petrol gibi yokolmayan maddeler, teknelerden suya karışabildiği gibi atıksu deşarjlarından da kaynaklanabilmektedir. Deşarjdan kaynaklanacak bu tür kirliliğin etkilerinin belirlenmesi çalışmalarında, yine Büngüş koyu'nun kirlilik altında belirgin bir tehdit altında bulunduğu anlaşılmıştır. (Bkz. Şekil 9.)

Model çalışması sonuçları, yerel idare yöneticilerine aktarılarak bu tür bir atıksu deşarjının koyda yaratacağı olumsuz etkiye dikkat çekilmiş, sorunun boyutları aktarılmıştır.

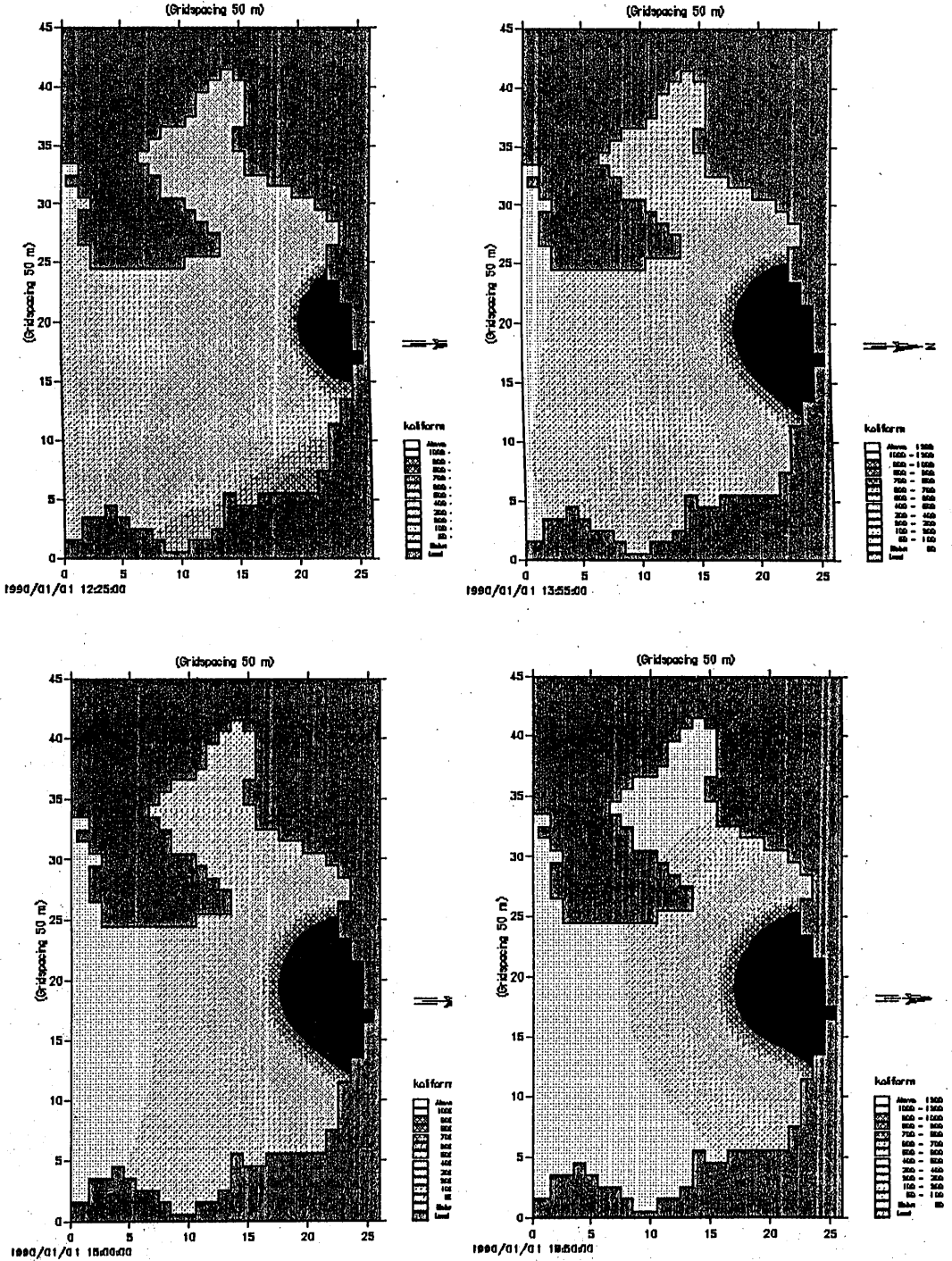
Yapılmış olan su kalitesi simulasyonları, Göcek Koyu için ana tehditin durgun su alanlarında biriken kirlilik olduğu belirlenmiştir. Planlanan marina bölgesindeki akıntı hızları ve yönleri itibarıyla körfezi etkileyecek bir kirliliğin yeni marinadan kaynaklanmayacağı bulunmuştur.

Koy içine özellikle kuzey kıyısına yapılacak deniz deşarjının koydaki su kalitesini oldukça olumsuz yönde etkileyeceği belirlenmiştir.

7. SONUÇLAR

Yukarıdaki bölümlerde, çevresel açıdan duyarlı bölgelerde yatırım planlaması aşamasında yürütülecek çalışma yöntemi Göcek örneği çerçevesinde ele alınmıştır. Örnek çalışmada yer aldığı şekilde, nümerik modelleme araçları kullanılarak önemli bulguların elde edilmesi sağlanmıştır.

Ele alınan örnek doğrultusunda, kıyı alanlarında çevresel etki değerlendirmesi yapılırken nümerik modelleme tekniği ve yönteminin kullanılması ile ilgili temel öneriler aşağıda özetlenmeye çalışılmıştır:



ŞEKİL 9. Göcek Koyu içerisinde deşarj kaynaklı kirlilik yayılımı

□ Etki değerlendirme çalışmalarında detaylı saha ölçümlerinin tartışılmaz önemi bulunmaktadır. Gerek model sonuçlarının kalibrasyonu için gerekse mevcut şartların belirlenmesi için, programlı ve düzenli saha ölçümlerinin gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

□ Çevresel açıdan duyarlı bölgelerde su kalitesi problemleri araştırılırken, birbirinden farklı çok sayıda kirlilik senaryosu üretilerek en kritik durumların gözlenebilmesi mümkün olabilmektedir. Denenecek senaryoların seçilmesi, proje bölgesinin fiziksel şartlarıyla yakından ilgili olmakla birlikte saha gözlemi ve araştırmayı da gerekli kılmaktadır.

□ Model çalışmasının sadece rakam ve tablolardan oluşan çıktıları yerine bunlara ilaveten görsel zenginlik içeren animasyon ve benzeri çıktılar içermesi, teknik eğitimleri bulunmayan yöneticilerin aydınlatılması ve bilgilendirilmesi açısından oldukça yararlı olmaktadır. Bilgi akışının hızla sağlanması, gelecek olan ilave taleplerin hızla çalışılıp, sonuçlarının anlaşılır bir dille aktarılabilmesi, çözüm bulunması aşamasında fikir ve anlayış birliği sağlaması bakımından önem taşımaktadır.

Çevresel açıdan duyarlı bölgelerde yapılacak yatırımlarda, hem doğal güzelliklerin korunacağı hem de ekonomik olarak bölgenin kalkınmasını sağlayacak en uygun çözümün belirlenmesi önem kazanmaktadır. Bu amaçla oluşturulan yönetim planlarında çeşitli alternatiflerin etkilerinin incelenebildiği nümerik modelleme sonuçları önemli bir kaynak oluşturmaktadır.

