

**İSKENDERUN SIVILAŞTIRILMIŞ DOĞALGAZ (LNG) TERMİNALİ
MODELLEME ve AVAN PROJE ÇALIŞMALARI**

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

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

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

ÖZET

Bu bildiri, İskenderun Ceyhan'da BOTAŞ tarafından planlanan Sıvılaştırılmış Doğalgaz (LNG) Terminali'nin avan projelendirilmesi ile ilgili olarak, bölgedeki dalga ve akıntı etkisinin belirlenmesine yönelik yürütülmüş olan sayısal modelleme çalışmaları ile iskele yapısal tasarım çalışmalarını özetlemektedir.

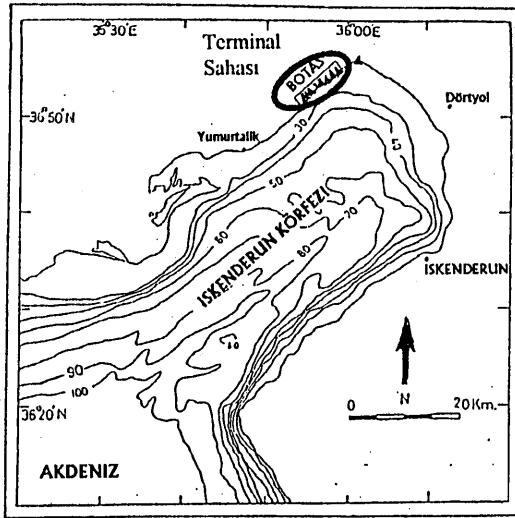
Proje kapsamında öncelikle dalga iklimi çalışmaları yürütülmüştür. Sonraki aşamada da körfez içinde akıntı düzeninin ve ısıtma suyu deşarjı etkilerinin belirlenmesi için çalışmalar yapılmıştır. Modelleme çalışmalarının tamamlanmasıyla, iskelenin avan proje düzeyinde yapısal tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Tüm modelleme çalışmalarında Danimarka Hidrolik Enstitüsü tarafından geliştirilen MIKE21 simülasyon programının değişik modülleri kullanılmıştır.

Bu bildiride, proje kapsamında tamamlanan çalışmaların ve planlama aşamasında kullanılan genel kriterlerin tanıtılması amaçlanmaktadır. Modelleme çalışmalarının yöntemi, kullanılan modelleme yazılımları ve çalışma sonuçları ile ilgili detaylı bilgiler de bildiride yer almaktadır.

1. AMAÇ

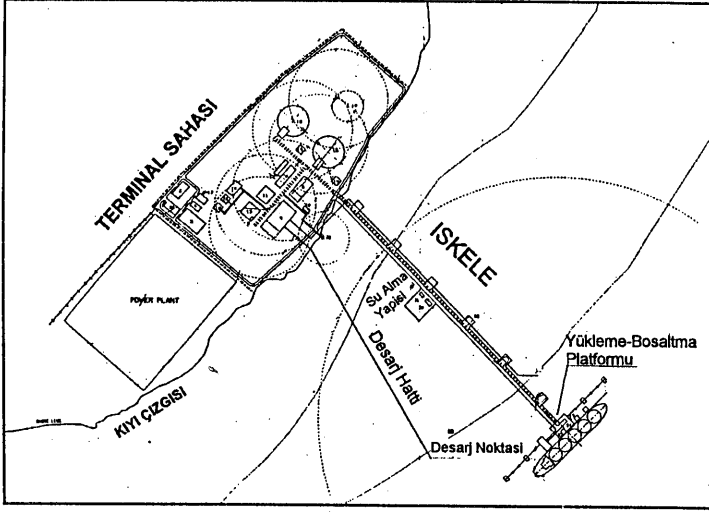
BOTAŞ tarafından İskenderun Ceyhan'da Sıvılaştırılmış Doğalgaz (LNG) Terminali inşası planlanmaktadır. Şekil 1'de proje bölgesini gösteren harita verilmiştir. Planlanan terminal -15 metre derinlikteki bir ana boşaltma platformu ile bu platformu karaya bağlayan yaklaşık 800 metre boyundaki iskeleden oluşmaktadır. 40,000 ve 140,000 m³ kapasiteli LNG tankerlerle taşıma yapılacak terminalde doğalgazın ısıtılması için kullanılacak deniz suyu, 5 adet 5,200 m³/saat kapasiteli pompa ile -6 m. derinlikten alınacaktır. Aynı su, 6° soğumuş olarak -10 m. derinlikte deşarj edilecektir. Planlanan Terminalin Genel Vaziyet Planı da Şekil 2'de verilmiştir.



ŞEKİL 1. İskenderun Körfezi-Terminal Sahası

Terminal ile ilgili olarak yürütülen avan projelendirme aşamasında, ARTI Proje tarafından modelleme ve yapısal tasarım çalışmaları yürütülmüştür. Çalışmalar kapsamında hedeflenen temel amaçlar aşağıdaki başlıklar altında toplanmıştır:

1. İskenderun Körfezi'ndeki dalga şartlarının belirlenmesi ,



ŞEKİL 2. Terminal Genel Vaziyet Planı

2. Isıtma suyu olarak kullanılacak deniz suyu alım ve deşarj noktaları için en uygun yerleşimin, çevre, ısıtma verimliliği ve tekne navigasyonu gözetilerek belirlenmesi,
3. Terminal iskelesi ile boşaltma platformunun avan proje düzeyinde yapısal projelendirilmesi

Bu üç temel hedef gözetilerek aşağıda sıralanan yöntem doğrultusunda modelleme çalışmaları yürütülmüştür:

- A. İskenderun Körfezi için derin deniz rüzgar ve dalga iklimi belirlenmiştir.
- B. Bulunan derin deniz dalgalarının iskele bölgesine gelinceye kadar uğrayacakları değişim Dalga Transformasyonu modelinde hesaplanmıştır.
- C. İskele bölgesinde rüzgar ve dalga değerlerinin aşılma olasılıkları hesaplanarak, yıl içinde iskele operasyonlarının kesilme süreleri tahmin edilmiştir. Buna bağlı olarak dalgakıran koruması gerekliliği tartışılmıştır.
- D. İskenderun Körfezi ve terminal bölgesindeki akıntı düzenindeki mevsimsel değişiklikler hazırlanan nümerik Hidrodinamik Model'de çalışılmıştır.

E. Akıntı düzenin ısıtma suyu alım ve deşarj noktalarına etkisi nümerik Isı Yayılmı modeli ile çalışılmıştır. Deşarjın yaratacağı ısı farklılığının yayılma alanları modelde simule edilmiş, en uygun deşarj noktası belirlenmiştir.

F. Model çalışmaları ışığında, iskele ve platformun yapısal tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Aşağıdaki bölümlerde, çalışma kapsamında kullanılan temel tasarım kriterlerinin sunulması ve çalışma sonuçlarının özetlenmesi amaçlanmaktadır. Bildiride modelleme çalışmalarında izlenen yöntem hakkında da bilgiler yer almaktadır.

2. DALGA ÇALIŞMALARI

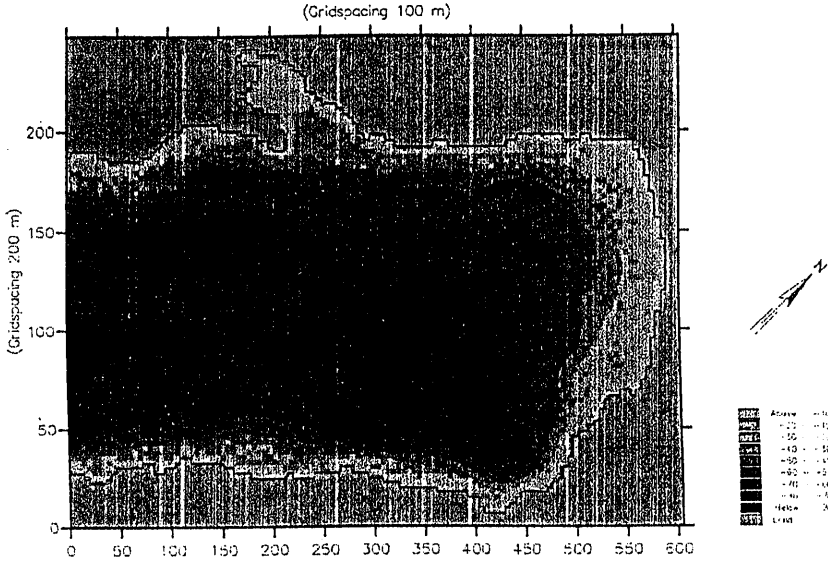
2.1. Körfezde Rüzgar ve Dalga İklimi

İskenderun Körfezi'ndeki rüzgar iklimi belirleme çalışmalarında İskenderun ve Yumurtalık Meteoroloji İstasyonu'nun 1991-1996 yılları arasındaki saatlik kayıtları ayrı ayrı değerlendirilerek, rüzgar oluşma sıklıkları hakkında bilgiler derlenmiştir. Her iki istasyon kayıtları için yön ve hız dağılımları çıkartılmış, rüzgar gülleri üretilmiştir. Bunun dışında, rüzgar kayıtları aylık bazda incelenerek, rüzgar iklimindeki aylık değişimler araştırılmıştır.

Her iki istasyonun sözü geçen döneme ait saatlik kayıtları kullanılarak, Körfez'in Akdeniz'e bağlandığı bölgede derin deniz dalga iklimi tahmin çalışmaları yürütülmüştür. Tahmin çalışmalarında, saatlik rüzgar donelerinden yararlanarak, tanımlı kabarma mesafeleri üzerinde her saat sonunda oluşan dalga yükseklik ve döneminini Pierson-Moskowitz Model Spektrumu'na göre hesaplayan HINDCAST isimli nümerik model kullanılmıştır.

2.2. İskelede Dalga Etkisi

Yukarıda anlatıldığı şekilde İskenderun Körfezi dışında derin denizde hesaplanmış olan dalga değerlerinin iskelede yaratacakları çalkantı değerleri nümerik transformasyon



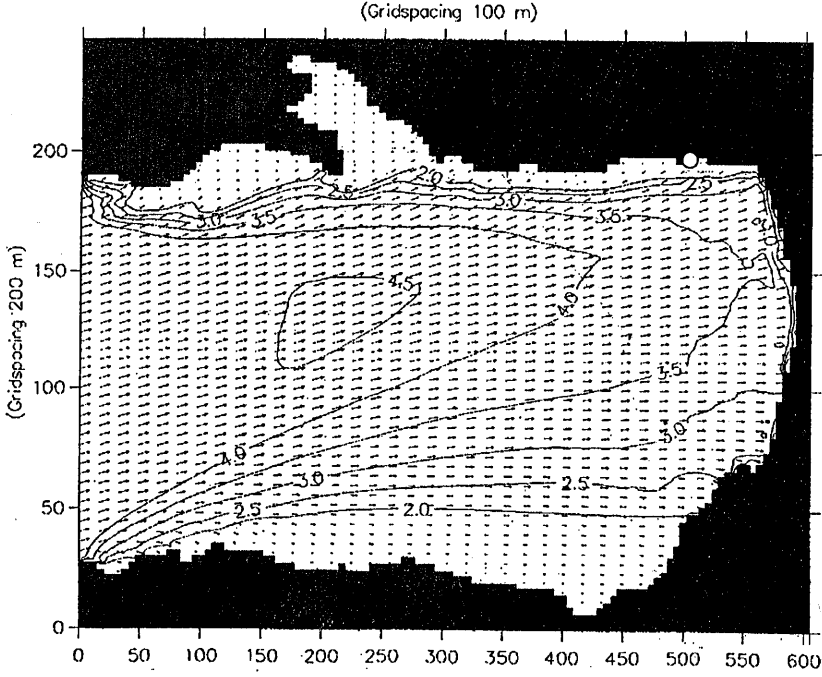
ŞEKİL 4. Büyük model alanı için hazırlanan model batimetrisi

Küçük Model alanı ise iskele bölgesini daha detaylı çalışmak üzere 25 m x 50 m. ağ açıklığındaki bir model alanından oluşmaktadır. Bu modelde de iskelenin her iki tarafını içine alacak şekilde toplam 21 km x 12 km'lik bir alan modellenmiştir.

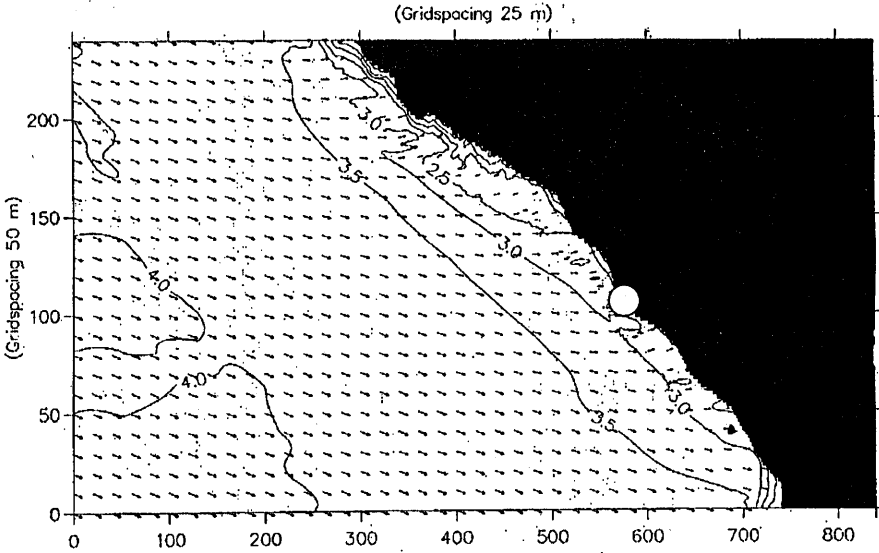
Transformasyon model çalışmalarından örnek çıktılar Şekil 5 'de verilmektedir. Şekillerde dalga yüksekliği eğrileri ve yönü de oklarla gösterilmektedir.

2.2.2. İskelede Operasyon Kesilme Sürelerinin Hesaplanması

Yukarıdaki bölümde anlatılan transformasyon çalışmaları sonucunda, iskele bölgesinde dalga aşılma olasılık dağılımı bulunmuştur. Bu dağılım kullanılarak, iskelede tanker güvenliğinin riske gireceği süreler hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarda kriter olarak $H=1.5$ m. ve $T=10$ sn. limit değerler kullanılmıştır. Hesaplar sonucunda dalga kriterlerinin iskelede yılda $t_{aşılma}$ 12.7 gün aşılacağı bulunmuştur. Ortalama duraklama süresinin 7-8 saat mertebesinde olacağı hesaplanmıştır.



ŞEKİL 5a. Dalgı transformasyon çalışması örnek çıktısı (Büyük model alanı)



ŞEKİL 5b. Dalgı transformasyon çalışması örnek çıktısı (Küçük model alanı)

3. ISITMA SUYU DEŞARJI ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ

Ceyhan LNG Terminali'nde denizden alınacak su doğalgazı ısıtmak için kullanıldıktan sonra denize geri deşarj edilecektir. Deşarj edilen su, alındığına oranla 6^o daha soğumuş olacaktır. Isıtma suyunun, 5 adet 5,200 m³/saat kapasiteli pompa ile -6 metreden alınmasına ve yine aynı kapasitedeki 5 pompa ile yaklaşık 10 metre su derinliğinde deşarj edilmesine karar verilmiştir. Deşarj 1.5 metre çapında boruyla ve 4 m/sn. hızla yapılacaktır.

Alıcı ortamdakine göre soğumuş olarak deşarj edilecek suyun etkileyeceği alanın tespit edilmesi üç yönden önem taşımaktadır :

1. Deşarj edilen suyun etkisiyle ısı düşmesi olan su alanının mümkün olduğunca kısıtlı kalması, körfezdeki flora ve fauna açısından önem taşımaktadır.
2. Deşarj edilen su etkisiyle oluşan ısı düşmesi, su alım noktasını etkilememelidir. Alım noktasındaki ısı düşmesi, ısıtma ve buna bağlı tüm terminal operasyonlarının verimliliğini düşürmektedir.
3. Deşarj edilen suyun yaratacağı akıntıların tanker manevrası üzerinde olumsuz etkisi olmamalıdır.

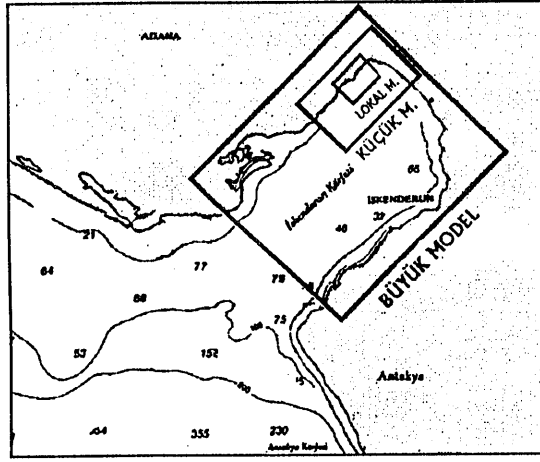
Bu etkiler öz önünde bulundurularak, en uygun su alım ve deşarj noktalarının tespit edilmesi için yürütülen modelleme çalışmaları Hidrodinamik ve Isı Yayılma Modellemesi aşamalarından oluşmuştur.

3.1. Körfez Hidrodinamik Modeli

İskenderun Körfezi'ndeki akıntı düzeninin belirlenmesi için öncelikle Hidrodinamik Modelleme çalışmaları yürütülmüştür. Çalışmalarda Danimarka Hidrolik Enstitüsü tarafından geliştirilmiş MIKE21 programı HD (Hidrodinamik) modülü kullanılmıştır.

Modelleme çalışmaları iç içe geçmiş üç farklı model alanı üzerinde yürütülmüştür: Büyük Model Alanı, Küçük Model Alanı ve Lokal Model Alanı. Bu model alanlarının yerleşimi Şekil 6'da verilmektedir. Büyük Model Alanı'nda tüm körfezi içine alan 600 m x 600 m. ağ açıklığında toplam 74.4 km x 48 km'lik bir alan modellenmiştir. Küçük

Model Alanı'nda planlanan iskele etrafındaki 21 km x 11 km'lik bir alan 100 m ağ açıklığında daha detaylı olarak modellenmiştir. En hassas model olarak hazırlanan Lokal Model Alanı ise ısı yayılım deneylerinin de yapılmasına olanak sağlayacak şekilde 40 m. ağ açıklığında hazırlanmıştır. Lokal Model'de iskelenin yakın çevresindeki 4.84 km x 3.6 km'lik bir alan yer almaktadır.



ŞEKİL 6. Proje bölgesi hidrodinamiğinin belirlenmesi çalışmaları model alanları

Tanımlanan bu üç model alanında hidrodinamik deneyler, büyükten küçüğe sınır şartlarının aktarılması ile artan hassasiyet sağlanarak yapılmıştır.

3.1.1. Hidrodinamik Deneyler

Hidrodinamik deneylerle, körfezde yılın büyük bölümünde olacak akıntı şartlarının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Körfezdeki akıntı düzeni üzerindeki etkili parametrelerin rüzgar ve gel-git olduğu bilinmektedir. Bu nedenle deneylerde bu iki parametrenin etkileri araştırılmıştır.

Körfezdeki gel-git seviyelerinin belirlenmesi amacıyla daha önce yapılmış olan su seviyesi ölçümleri bulunmaktadır. Deneylerde bu değerler göz önünde bulundurulmuştur.

Rüzgar ikliminin değerlendirilmesi için yapılan çalışmalarda bölgede temel olarak yaz ve kış rejimleri olarak adlandırılabilir iki belirgin rüzgar düzeni olduğu bulunmuştur. Hidrodinamik deneylerde kullanılmak üzere, rüzgar kayıtları saatlik bazda incelenerek yaz rejimi ve kış rejiminde bir tam gün içindeki ortalama durumu temsil edecek rüzgar dağılımı araştırılmıştır.

Hidrodinamik deneylerde, yaz ve kış rejimlerindeki akıntı düzeni, rüzgar ve gel-git etkisi birlikte kullanılarak simule edilmiştir. Deneylerden örnek çıktılar, kış rejimi için Şekil 7'de verilmektedir.

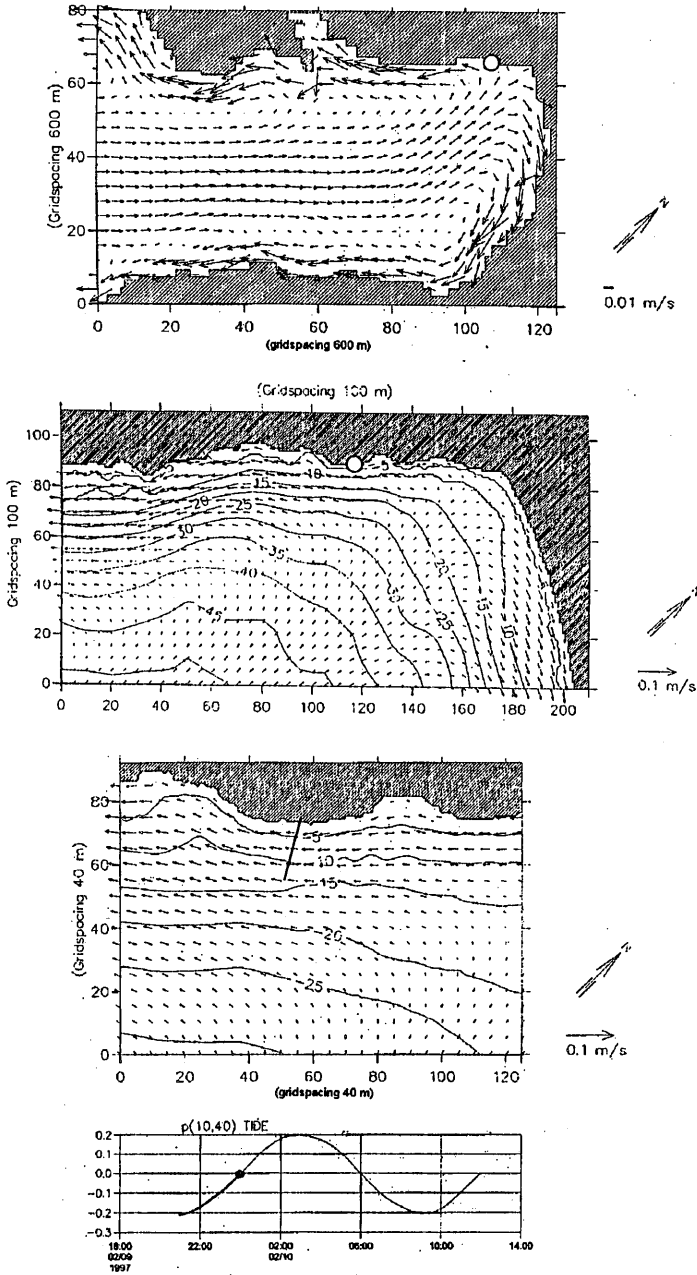
3.2. Isı Yayılma Modeli

Yaz ve kış dönemleri boyunca, belirlenmiş olan akıntı düzenlerinin deşarj kaynaklı ısı yayılımı üzerindeki etkileri Isı Yayılma Model çalışması ile belirlenmiştir. Model çalışmasında MIKE21 programının AD (Advection-Dispersion) modülü kullanılmıştır.

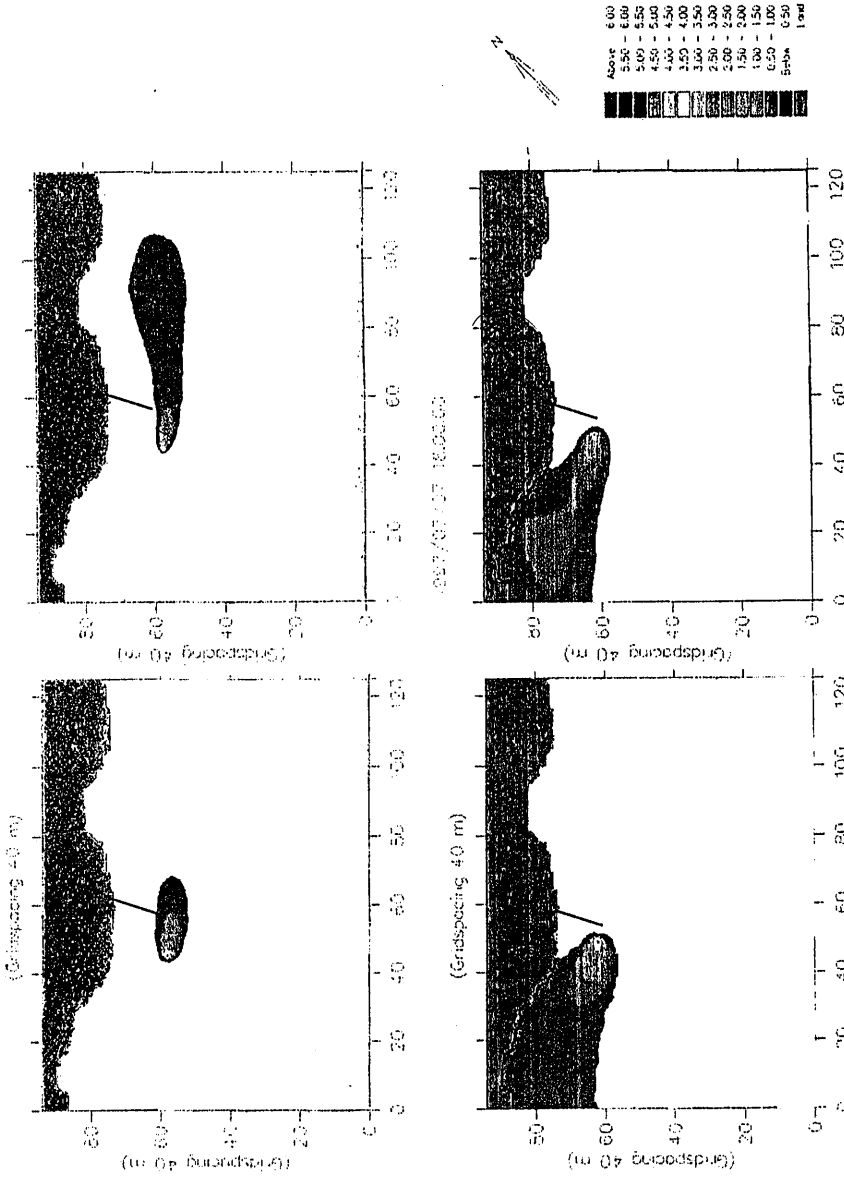
3.2.1. Isı Yayılma Deneyleri

Isı Yayılma deneyleri Hidrodinamik Model çalışmasında kullanılan Lokal Model Alanı üzerinde yapılmıştır. Deneyler temel olarak yaz ve kış rejimi olmak üzere iki ayrı akıntı düzeni için yapılmıştır. Su alım ve deşarj noktaları modelde tanımlanarak, yukarıdaki bölümlerde verilen pompa değerleri modele girilmiştir. Yaz ve kış dönemleri için, körfezde ölçülmüş olan ortalama su sıcaklıkları alıcı ortam sıcaklığı olarak modelde tanımlanmıştır. Isı yayılım katsayısı olarak, 1.0 m²/s değeri temel olarak kullanılmış ancak farklı değerlerle de deneyler tekrarlanarak Duyarlılık araştırması yapılmıştır.

Su alım ve deşarj noktalarının farklı kombinasyonları için tekrarlanan simülasyonlarla, ısı yayılma alanları tespit edilmiş ve optimum yerleşim araştırılmıştır. Deneylerle ilgili örnek sonuçlar Şekil 8'de verilmektedir. Şekillerde, körfez içinde ısı farklılığı oluşan bölgeler renk kodlarıyla gösterilmektedir



ŞEKİL 7. Proje bölgesi hidrodinamiği örnek model çıktısı (Üstte Büyük Model , Ortada Küçük Model , Alttı Lokal Model)



ŞEKİL 8. Isı Yayılma Deneyleri Örnek Çıktıları (Üstte Yaz Rejimi, Altta Kış Rejimi)

4. İSKELE YAPISAL TASARIMI

Planlanan iskelenin avan proje düzeyinde tasarım çalışmaları, modelleme çalışmaları sonuçlarından yararlanılarak yürütülmüştür. Temel olarak kazıklı sistem üzerinde planlanan iskele ve ana platformda, üst yapı mümkün olduğunca prekast elemanlarla projelendirilmeye çalışılmıştır.

İskele tasarımı ile ilgili temel kriterler aşağıda sıralanmıştır.

□ İskele tasarlanırken 40,000 m³ ve 140,000 m³ kapasiteli iki tür tankerin boşaltma yapacağı öngörülmüştür. Bu kapasitedeki tankerlerin boyutsal özellikleri LNG tankerleri kataloğundan alınarak kullanılmıştır. Aşağıda tankerlerin özellikleri verilmektedir.

Kapasite = 40,000 m³

Boy (LOA) = 200 metre

Genişlik (Beam) = 30 metre

Su Kesimi (Draft) = 8 metre

DWT = 21,500

GT = 27,500

NT = 14,000

Kapasite = 140,000 m³

Boy (LOA) = 300 metre

Genişlik (Beam) = 46 metre

Su Kesimi (Draft) = 12 metre

DWT = 71,500

GT = 111,000

NT = 34,000

□ Tankerlerin yanaşma yükleri hesaplanırken yukarıda verilen tanker özellikleri kullanılmıştır. Terminalde dört adet yaslanma ve altı adet bağlanma dolfeni tasarlanmıştır. Dolfenler tasarlanırken kritik yük kombinasyonları göz önünde bulundurulmuştur.

□ Ana platform tasarlanırken en önemli yükler deprem, ekipman ve trafik yükleri olarak alınmıştır. İskele boyunca ise deprem, trafik ve boru ağırlıkları dışında yatay genleşme ve akış darbe yükleri de göz önünde bulundurulmuştur.

□ Ana platformda taşıyıcı sistem tasarımını etkileyen en önemli parametreler, boşaltma kollarının ağırlığı ve kollara etkileyen yükler altında oluşan momentler olmuştur.

□ Bölgede zemin şartlarının içerdiği olumsuzluklar nedeniyle, özellikle yapı deplasman değerlerinin kontrol altında tutulması hesaplarda önem kazanmıştır.

□ Boru hattının zarar görmemesi için deprem şartları altında yapı deplasmanının kontrol altında tutulması bir başka belirleyici kriter olarak ortaya çıkmıştır.

5. SONUÇ

Yukarıdaki bölümlerde sunulduğu üzere Ceyhan LNG Terminali'nin avan projelendirilmesi aşamasında yürütülen modelleme ve tasarım çalışmaları ile terminal iskelesi için optimum düzenlemelerin geliştirilmesi sağlanmıştır.

Dalga çalışması sonuçlarına dayanarak, iskelede dalgakıran korumasına gerek olmadığı sonucuna varılmıştır. Yatırım bütçesini ve ekonomisini önemli derecede etkileyen böyle bir karar, modelleme çalışmaları ile hızlı bir şekilde verilerek, fizibilite çalışmalarının kesintisiz devam edebilmesi sağlanmıştır.

Modelleme çalışmaları ile uygulama projelerinin hazırlanması aşamasında dikkat edilmesi ve araştırılması gereken noktalara dikkat çekilebilmiştir.

Modelle çalışması sonuçları proje için yürütülecek olan Çevre Etki Değerlendirme çalışmalarına da veri sağlamıştır.