

**KARADENİZ İÇİN DETERMİNİSTİK YÖNTEMLE TASARLANAN
KIYI MAHMUZLARININ GÜVENİRLİĞE DAYALI YÖNTEMLERLE
İRDELENMESİ**

Emrah Cem TOZLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAYIS 2016

Emrah Cem TOZLU tarafından hazırlanan “KARADENİZ İÇİN DETERMİNİSTİK YÖNTEMLE TASARLANAN KIYI MAHMUZLARININ GÜVENİRLİĞE DAYALI YÖNTEMLERLE İREDELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Can Elmar BALAS

İnşaat Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Başkan: Prof. Dr. Ahmet Cevdet YALÇINER

İnşaat Mühendisliği, Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Üye: Doç. Dr. Asu İNAN

İnşaat Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Tez Savunma Tarihi: 18/05/2016

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Metin GÜRÜ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Emrah Cem TOZLU

18/05/2016

KARADENİZ İÇİN DETERMİNİSTİK YÖNTEMLE TASARLANAN KIYI
MAHMUZLARININ GÜVENİRLİĞE DAYALI YÖNTEMLERLE İRDELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Emrah Cem TOZLU

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mayıs 2016

ÖZET

Mühendislik yapılarında karşılaşılan belirsizlikler, tasarım aşamasında oluşturulan sayısal model ve bu modelin bağlı olduğu değişkenlerdir. Mühendislik tasarımlarında karşılaşılan belirsizlikler çoğunlukla istatistiksel yöntemler ve olasılık teorileriyle çözülmektedir. Güvenirlik analizi ise belirsizlikler sonucu oluşacak risklerin belirlenmesinde kullanılır. Ayrıca unutulmaması gerekir ki kıyı mahmuzu gibi modelleme olanaklarının zor olduğu mühendislik problemleri için oluşturulan modelin eksik olması da önemli bir belirsizlik sebebidir. Taş dolgu kıyı mahmuzları yüksek maliyetli yapılardır. Bu tür yapılar Türkiye şartlarında yük, mukavemet değerlerine bağlı olarak yüksek hasar ihtimali olan, yüksek sayıda da belirsizlik içeren yapılardır. Durum böyle iken mahmuzların güvenirlığe dayanan tasarımları önem arz etmektedir. Bu maksatla örnek teşkil etmesi için İstanbul-Riva, Pot, Kilyos, Ağva (Göksu), Şile-Ağva (Sungurlu), Şile Uzundere (Sahilköy) ve Kınıklı mahmuzları tasarım çalışması tezde verilmiştir.

Bilim Kodu : 91112
Anahtar Kelimeler : Taş dolgu dalgakıran, dalgakıran, mahmuz
Sayfa Adedi : 51
Danışman : Prof. Dr. Can E. BALAS

RELIABILITY BASED METHODS OF SHORE GROINS DESIGNED BY
DETERMINISTIC METHODS FOR THE BLACKSEA

(M. Sc. Thesis)

Emrah Cem TOZLU

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

May 2016

ABSTRACT

Uncertainties encountered in engineering structures are mathematical models created in the design phase and variables that depend on mathematical models. Uncertainties encountered in engineering designs are mostly solved by statistical methods and probability theories. The reliability analysis is used to determine the uncertainties resulting in risks. It must also be kept in mind that the incomplete model formed for engineering problems like shore groins in which modelling is difficult is a major reason for uncertainty. Rock fill shore groins are highly cost structures. These type of structures have high damage probability and have higher amount of uncertainties due to loading and strength. So the designs of shore groins based on reliability are of great importance. To provide an example for this purpose Istanbul-Riva, Pot, Kilyos, Agva (Goksu), Sile-Agva (Sungurlu), Sile Uzundere (Sahilkoy) and Kinikli of Shore Groins Design Report are presented in the thesis.

Science Code : 91112
Key Words : Rubble mound breakwaters, breakwaters, shore groin
Number : 51
Supervisor : Prof. Dr. Can E. BALAS

TEŐEKKÖR

Bu tezin hazırlanmasında engin bilgileriyle projenin yürütülmesinde önemli etken olan değerli hocam Prof. Dr. Can BALAS'a, teşekkürü bir borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
1.GİRİŞ.....	1
2.LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
3.TAŞ DOLGU MAHMUZLAR.....	9
3.1. Taş Dolgu Mahmuzların Tasarım Yöntemleri	9
3.2. Hudson Denklemi.....	9
3.2.1. Koruma yapısındaki taşların üzerine gelen yükler.....	16
3.3. Van der Meer Denklemi.....	18
3.3.1. Van Der Meer denkleminde koruma tabakasında kullanılacak beton eleman büyüklüğü için hesaplama yöntemi	19
3.4. Hudson ve Van der Meer Denklemlerinin Karşılaştırılması.....	20
3.5. Mahmuz Kafası Denge Denklemleri.....	21
3.6. Mahmuz Filtre Tasarımı.....	22
3.6.1. Koruma koşulu	22
3.6.2. Geçirgenlik koşulu	23
3.6.3. İç denge koşulu	23
3.7. Mahmuz Geometrik Özelliklerinin Belirlenmesi.....	23
3.7.1. Kret kotu	23
3.7.2. Kret genişliği.....	24
3.7.3. Koruyucu tabaka kalınlığı.....	24
3.7.4. Koruyucu tabaka taban kotu	25
4. TAŞ DOLGU MAHMUZLARIN TASARIMI.....	27
4.1. Taş Dolgu Mahmuzlarda Deterministik Tasarım.....	28

	Sayfa
4.2. Taş Dolgu Mahmuzlarda Güvenirliğe Dayalı Analiz	32
4.2.1. İkinci Düzey Olasılık yöntemleri İkinci Moment Yaklaşımı.....	34
4.2.2. Monte Carlo Yöntemi	35
5. TARTIŞMA	41
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	45
KAYNAKLAR	47
ÖZGEÇMİŞ	51



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. KD değerleri tasarım dalgası $H=H_s$ (Eğim Açıları $1,5 \leq \cot\alpha \leq 3,0$).....	13
Çizelge 3.2. KD değerleri tasarım dalgası $H= H_1/10$	14
Çizelge 3.3. Mahmuz kafası için KD değerleri, $H= H_1/10$	14
Çizelge 3.4. Taş dolgu mahmuzların gövde kesiti için önerilen KD katsayıları	15
Çizelge 3.5. Taş dolgu mahmuzların kafa kesiti için önerilen KD katsayıları	15
Çizelge 3.6. Mahmuz gövdesi için KD değerleri ($H= H_1/10$ D = %0-% 5 hasar) ...	16
Çizelge 3.7. Mahmuz kafası için KD değerleri ($H= H_1/10$ D = %0-% 5 hasar)	16
Çizelge 3.8. Hasar seviyelerine göre S değerleri	19
Çizelge 3.9. $H_s/\Delta D_n$ ve bu değere karşılık gelen KD değerleri	20
Çizelge 3.10. Deneysel katsayılar	22
Çizelge 3.11. Çeşitli koruyucu tabakaları için tabaka katsayısı ve boşluk oranı.....	24
Çizelge 4.1. Deterministik metotlarla tasarlanan mahmuzlara ait özet hesap tablosu.	29
Çizelge 4.2. Van der Meer denklemlerindeki değişkenlerin değer aralıkları	31
Çizelge 5.1. Tasarım değişkenlerine ait istatistiki özellikler	41
Çizelge 5.2. Değişik yöntemlerle elde edilen yıkılma olasılıkları ve tasarım değişkenlerinin yıkılma yüzeyine ait değerleri	41

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Koruyucu taşların üzerine etki eden kuvvetler	16
Şekil 3.2. Dalga aşmaması, az dalga aşması durumlarında taş dolgu mahmuz kesiti	25
Şekil 3.3. Her iki yönde de dalga etkisinde kalan taş dolgu mahmuz kesiti.....	25
Şekil 4.1. Taş dolgu mahmuzlarda farklı hasar tipleri	27
Şekil 4.2. İki değişkenli performans fonksiyonu için güvenilirlik indeksi	33
Şekil 4.3. Monte Carlo Benzeşimi sonucunda elde edilmiş performans fonksiyonu değerlerinin gözlenme sıklığı	37
Şekil 5.1. Monte Carlo Benzeşimi Performans fonksiyonu hasar limit durumu, zamana bağlı aşılmama olasılıkları	42
Şekil 5.2. Monte Carlo Benzeşimi Performans fonksiyonu hasar limit durumu, zamana bağlı aşılmama olasılıkları	43

1. GİRİŞ

Mühendislik problemlerindeki belirsizliklerin sebebi, model ve modelin taşıdığı değişkenler olup bu belirsizlikler genelde olasılık teorileri ve istatistiksel yöntemler yardımıyla çözülmektedir. Mesela, sorunun içerdiği değişkenlerin rassal bir yapıya sahip olmasından kaynaklanan belirsizlikler olasılık dağılımları ile dikkate alınırken; Bayes karar teorisi, belirsizlik ortamında karar verilebilmesine sağlamaktadır. Belirsizlikler sebebiyle ortaya çıkacak riskler ise güvenilirlik analizi yardımıyla belirlenmektedir. Özellikle kompleks ve modelleme olanaklarının zor olduğu birçok mühendislik sorununun çözümünde, geliştirilen modelin eksik olması önemli bir belirsizlik nedeni olmakla birlikte çözüm sırasında yapılan kabuller veya basite indirgemeler de belirsizliği arttıran faktörlerdir.

Bir mühendislik yapısının tasarımında karşılaşılan belirsizlikler, istatistiksel yöntemler yardımıyla çözümlenmesine karşılık modelin bünyesinde bulunan değişkenlerin rassal değişken olması da başka bir belirsizlik sebebi sayılabilir. Bu tür yöntemlerde tasarım değişkenleri olasılık dağılımları ile ifade edilmesine mukabil değişkenlere ait istatistiksel bilgilerin yetersiz olması ve çoğunlukla ortalama ve standart sapma değerleriyle sınırlı kalması daha fazla belirsizliğe sebebiyet vermektedir.

Deniz mühendisliği yapılarının tasarımı

Taş dolgu dalgakıranlar, Türkiye’de en çok hasar olasılığına sahip ve deniz mühendisliğinde yüksek maliyetli yapılardır, ayrıca dayanım ve yük değerlerine bağlı olarak çok fazla belirsizlik içermektedir. Kıyı yapıları, ön tasarım aşamasında genellikle yarı-deneysel denklemler yardımıyla (Hudson, 1953; Van der Meer, 1988) deterministik olarak tasarlanmaktadır. Ancak belirsizlik aralıkları dikkate alınmamaktadır. Bu nedenle tasarım sırasında belirsizliklerin de gözönüne alındığı istatistiksel yöntemlerden yararlanılması zorunludur (Balas and Ergin, 2002). Tasarım aşamasında kullanılan eşitliklerde belirsizlik nedeni geniş bir değer aralığının eşitlik içerisinde ortalama değerlerle ifade edilmesidir (Balas, 1998). Ayrıca, tasarım parametreleri olan yük ve dayanım değişkenleri de belirsizlik kaynağı olup bu tip belirsizlikler aşağıda başlıklar halinde sıralanmıştır. (Balas, 1998). Burada, yük değişkenleri, yapıya etkiyen yük veya yüklere karşılık gelirken; dayanım değişkenleri, yapıyı oluşturan eleman veya elamanların

dayanım/yük taşıma kapasitelerini ifade etmektedir ve yapının güvenirliliği yük ve dayanım değişkenlerinin bileşik etkisine bağlıdır.

1. Yük değişkenleri olan belirli dalga yüksekliği, ortalama dalga sayısı ve derin sudaki dalga dikliğine bağlı belirsizlikler: Tasarım dalgası yüksekliğinin belirlenmesinde genellikle rüzgâr verilerinden yararlanılmakta olup rüzgâr-dalga ilişkisinin karmaşık yapısı (WMO, 1988) önemli bir belirsizlik nedeni olarak ortaya çıkmaktadır. Ayrıca rüzgâr verilerinin niteliği, tahmin modeli, yakın kıyı hesapları, uç dalga istatistikleri ve kullanılan istatistik yöntemler de diğer belirsizlik kaynaklarıdır.

Dikkate alınan bölge için proje dalga yüksekliğinin tahmininde Meteoroloji İstasyonuna ait rüzgâr verilerinden faydalanılmaktadır. Ancak, genellikle karada ölçülen rüzgâr hızlarının, atmosferik sınır tabakası ve yeryüzünün pürüzlülük özelliklerine bağlı olarak deniz yüzeyinde daha az değerlerde olacak olması sebebiyle bu değerlerin artırılması gerekir. Bu işlem için değişik deneye dayalı ifadeler mevcut olup, örnek olarak Hsu (1985) tarafından önerilen ifade verilebilir. Artırılmış rüzgâr hızı ve yönü dalga modeli için giriş değişkenleridir. Türkiye'de meteoroloji istasyonlarına ait rüzgâr verilerinin güvenirliliği istasyon özelliklerine bağlı olarak büyük değişiklikler gösterebilmektedir (Ergin ve Özhan, 1986).

Dalga tahmin modelinde kullanılan PM (Pierson Moskowitz) dalga spektrum modeli tam gelişmiş deniz koşullarına uygulanmakla beraber gelişmekte olan deniz koşullarına ise düzenlenerek uygulanabilmektedir. Model içerisinde, rüzgâr hızlarının feç mesafesi boyunca kaydedilen ve saatlik ortalama hızlar olduğu kabul edilmektedir ve modelin güvenirliliği meteoroloji istasyonundan elde edilen rüzgâr verilerinin niteliğine bağlı olarak değişmektedir.

Değişkenlerin gerçek dağılımları yerine değişik grafik yöntemler (Weibull, Bernard ve Gringorten vb) ile belirlenen uç değer dağılımları (Wang and Le Mehaute, 1983) başka bir belirsizlik sebebi olarak görülebilir.

2. Dayanım değişkenlerinin sebep olduğu belirsizlikler: Taş dolgu dalgakıranlar için dayanım değişkenleri, nominal taş çapı, koruma tabakasının eğimi ve permeabilite

katsayısıdır. Ocak taşının niteliği, yapının gerçek yapısal geçirgenlik değeri ve koruma tabakasının eğimindeki sapmalar dalgakıranların performansını etkileyen faktörlerdir.

Koruma tabakası inşasında kullanılan nominal taş çapının gösterdiği değer aralığının, alt ve üst sınır değerleri arasındaki değişimi belirli olmadığından, düzgün yayılı bir dağılım gösterdiği kabul edilebilir. Ayrıca, koruma tabakasının eğiminde, inşa sırasında ve yersel olarak ortaya çıkacak sapmaların yaklaşık olarak normal dağılım gösterdiği de düşünülebilir.

Çalışmanın amacı ve kapsamı

Tasarım aşamasında belirsizliğin kara yapılarına oranla taş dolgu dalgakıranlarda çok daha yüksek olduğu görülmekte ve bu durum yapay zeka tekniklerinin, kıyı yapılarının tasarımına uygulanmasını zorunlu hale getirmektedir. Belirsizliklerin değerlendirilmesinde, istatistiksel yöntemlerle birlikte (Balas et. al., 1995; Ergin and Balas, 1998; Ergin and Balas, 1997; Balas and Ergin, 1997) yapay zeka tekniklerinin de kullanılması, yüksek maliyetli olan bu yapıların daha ekonomik ve daha emniyetli bir şekilde tasarımına katkıda bulunacaktır. Bu tezde, kıyı mahmuzları için Türkiye'deki ilk uygulamalardan biri olarak, farklı tasarım aşamalarında (eksik dalga ölçümlerinin tamamlanması ve güvenilirliğe dayalı ön tasarım) dünya literatürü ile paralel olarak uygulanmış ve elde edilen sonuçlar klasik yöntemlerle karşılaştırılmıştır.

Taş dolgu mahmuzların tasarımına yönelik olarak uygulanması çalışmanın bir bölümünü oluşturmuş ve taş dolgu dalgakıranların güvenilirlik analizi gerçekleştirilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Dalgakıranların bilimsel olarak incelenmesi için geçmiş çalışmalar araştırılmıştır. Bazı çalışmalar incelenmiş ve sonuçları yorumlanmıştır.

Ursell (1947) derin suda düşey bariyerden dalganın yansımalarını teorik olarak incelemiştir. Yansıma ve iletim katsayılarını batık haldeki bariyer için tanımlamıştır.

Morison ve diğerleri (1950) çalışmalarında dalganın deniz içindeki silindirik yapılar üzerinde oluşturacağı sürüklenme kuvvetini deneysel olarak incelemişler ve ampirik denklemler tanımlamışlardır.

Hudson (1959) makalesinde günümüzde taş dolgu dalgakıran tasarımı için kullanılan Hudson Denklemi sunmuştur. Bu denklem deney sonuçlarına ve bu sonuçların korelasyonları sonucu elde edilmiştir. Raichlen (1975) tarafından yapılan çalışmada dalganın taş dolgu dalgakıranına etkilerini, dalga tırmanması, dalga iletimi konularını incelemiş ve yapılan çalışmaları değerlendirmiştir. Van der Meer (1987) makalesinde taş dolgu dalgakıran tasarımında üç yüzün üzerinde yapılan deneyler sonucunda sıçrayarak ve dökülerek kırılan dalgalar için iki ayrı tasarım denklemi tanımlamıştır.

Palmer ve Christian (1998) makalesinde taş dolgu dalgakıranların ana fonksiyonunun, kıyı alanlarını aşırı dalga hareketinden korumak olduğunu belirtmiştir. 60 yıldan fazla uygulamalı araştırmalara rağmen; taş dolgu dalgakıran tasarımının önerilen yapının fiziksel model ve deneylerine çoğunlukla dayanmaya devam ettiğini, koruma tabakaları arasındaki etkileşimin zorlukla anlaşıldığını, koruma tabakası tasarımının çoğunlukla ampirik olarak kaldığını, koruma dengesi, şekli ve taş ağırlığının, çekirdek tabakasının şekli ve boyutlarının, permeabilitesinin, topuk dengesi ve üst yapının detayları tarafından etkilendiğini göstermişlerdir.

Sannasiraj, Sundar ve Sundaravadivelu (1998) tarafından yapılan çalışmada duba tipi yüzen dalgakıran tasarımını teorik ve deneysel olarak araştırmışlardır. Sonlu elemanlar yöntemi ile dalgakıranına gelen kuvvetler çözümlenmiş ve düzenli dalga durumunda dalgakıranın üç farklı demirlenme şekline göre demirlere gelen yükler değerlendirmişlerdir.

Turan (2000) makalesinde taş dolgu dalgakıranların, dinamik dalga etkilerine koruyucu tabakasında kullanılan blokların ağırlıkları ile karşı koyduğunu belirtmiştir. Çalışmasında deney ortamında geliştirilen bazı ampirik formülleri, karşılaştırmalı olarak incelemiş ve blok ağırlıklarının belirlenmesini ve farklı şartlar altında sonuca etkisini araştırmıştır.

Williams, Lee ve Huang (2000) makalesinde, dikdörtgen kesitli bir çift uzun yüzen duba dalgakıranın hidrodinamik özelliklerini teorik olarak araştırmıştır. Yapı üzerindeki dalga yansımalarının, çoğunlukla yapının genişliğine, draftına, boşluk oranına ve demirle bağlamanın sertliğine bağlı olduğunu, suyun kaldırma kuvvetinin daha az etkili olduğunu göstermişlerdir.

Koç, Balas ve Arslan (2004) taş dolgu dalgakıran tasarımı için tasarım yapay sinir ağı oluşturmuş ve Van der Meer denklemi için geliştirilen yapay sinir ağını, Mersin Yat Limanı öntasarımın da uygulamıştır. İleri beslemeli denetimli yapay sinir ağlarının, Van der Meer denklemi ile modellemeye göre daha yüksek performans göstereceği belirtilmiştir.

Özsoysal ve Ünsan (2007) bildirisinde deniz yapılarında beton kullanımının avantaj ve dezavantajlarına değinmişler, Kocaeli Karamürsel'de yapılmış, Ukrayna klas belgesine sahip olan yüzer beton iskelenin güvenli çalışma şartlarını analiz etmişler ve deniz dibinde bağlama elemanlarını tutan sinker betonlarını ayrıca tanıtmışlardır.

Diamantoulaki, Angelidaes ve Manolis (2008) makalesinde zemine kazıklar ile oturtulmuş esnek yüzer dalgakıranın performansını sinüs dalgası etkisinde incelemişlerdir. Dalgakıranın sayısal analizi yapılmış ve parametrik olarak yapının sertliği ve dalganın yönünün, dalgakıranın performansına olan etkileri değerlendirilmiştir. Sonuçlar yapının sertliği ve dalga yönünün, dalgakıranın performansını önemli derecede etkilediğini göstermiştir.

Özbahçeci (2013) makalesinde Türkiye'de genelde yat limanlarında kullanılan yüzer dalgakıranların, Çandarlı Liman projesinde uygulanabilirliğini araştırmıştır. Elde edilen sonuçlarda istenen çalkantı değerlerine yüzen dalgakıranlarla ulaşılabildiği görülmüştür.

Ruol, Martinelli ve Pezzutto (2013) yaygın olarak kullanılan π - tip yüzen dalgakıranının dalga iletimini tahmin edecek yeni, basit bir formül tanımlamışlardır. Macagno' un (1954) çalışmasında tanımladığı dalga iletim katsayısını baz almışlardır, fakat kısa dalgalar ile büyük draftlar ihmal edildiği için, yazarlar tarafından formül ampirik düzenlemelerle ele alınmıştır. Deney sonuçları ile geliştirilen denklem ile tahmin sonuçları karşılaştırılmış ve uygun sonuçlar alınmıştır.





3. TAŞ DOLGU MAHMUZLAR

3.1. Taş Dolgu Mahmuzların Tasarım Yöntemleri

Taş dolgu mahmuzlar üç tabakalı bir yapıdır. En içte çekirdek tabakası, üstünde bir filtre tabakası ve onun üstünde koruyucu tabakadan oluşmaktadır.

Taş dolgu mahmuz tasarımı için Kıyı Yapıları Ve Limanlar Planlama Ve Tasarım Teknik Esasları, 2007'de (KYLPTTE,2007) iki yöntem önerilmektedir.

1) Hudson Denklemi

2) Van Der Meer Denklemi

Bu denklemler aşağıda verilen koşullar altında geçerlidir.

1) İki sıra taş koruyucu tabakada kullanılacaktır.

2) Yapıya dik açıyla gelen dalgalar için tasarım yapılacaktır.

3) Kesit tasarımı model deneyleri yapılarak dalga keskinleştirilecektir.

3.2. Hudson Denklemi

Dalgaların, mahmuz üzerindeki hareket ve bu hareket sonucundaki etkileri çok komplekstir. Dalgalar, mahmuz üzerinde kırılıp yansıyabileceği gibi tam olarak da kırılabilirler. Yapılan çalışmalarda, mahmuz üzerine gelen kısa periyodlu rüzgâr dalgalarının yarattığı hareket, dalga dikliği (H/L), rölatif su derinliği (d/L), rölatif dalga yüksekliği (H/d), taban eğimi (m), mahmuz eğimi (α), dalgaların geliş açısı (β), taş şekli faktörü (s_a), koruyucu tabaka kalınlığına (t) ve yapının porozitesine bağlı olduğu görülmüştür [Balas, Koç, 2002]. Devam eden çalışmalar koruyucu tabaka stabilitesinin; taşın sudaki ağırlığı (W'), taşın sakin su seviyesinden olan mesafesine (z), mahmuz eğimi (α), mahmuz yüksekliği (h) ve genişliği (b), taş şekli faktörü(s_a), koruyucu tabaka kalınlığına (t), porozite (Pr), taşların yerleştirme metotlarına bağlı olduğu ortaya konulmuştur.

Koruyucu taşlara etkiyen toplam atalet ve direnç katsayısı Eş. 3.1 ile tanımlanmıştır.

$$F_q = C_q \frac{\gamma_w}{g} u^2 \quad (3.1)$$

F_q : Direnç ve atalet kuvvetlerinin toplamı (N)

- C_q : Toplam direnç katsayısı
 g : Yerçekimi ivmesi (m/s^2)
 u : Koruyucu tabaka taşlarının üzerindeki su hızı (m/s)
 γ_w : Suyun özgül ağırlığı (N/m^3)

Dalgaların mahmuz üzerinde kırılmaları durumunda, kırılma anında dalga sırtındaki parçacığın hızı, kırılan dalganın oluşturduğu su jetinin hızına eşittir. Parçacığın hızı ve dalga kırılma derinliği arasında Eş. 3.2 ile gösterilen bir bağıntı vardır.

$$u_b^2 = g d_b \quad (3.2)$$

- u_b : Dalga sırtındaki parçacığın hızı (m/s)
 d_b : Dalga kırılma derinliği (m)

Dalganın kırılma alanındaki dalga yüksekliği ve dalga kırılma derinliği arasındaki bağıntı Eş. 3.3 ile verilmiştir.

$$H_b = k_b d_b \quad (3.3)$$

- H_b : Dalga kırılma derinliğindeki dalga yüksekliği (m)
 k_b : Katsayı ($f(H/L)$)

Eş. 3.2 ve Eş. 3.3' ten Eş. 3.4 elde edilmiştir.

$$u_b^2 = \frac{g}{k_b} H_b \quad (3.4)$$

Kırılan dalganın yarattığı kuvvet Eş. 3.1 ve Eş. 3,4'ün birleştirilmesiyle bulunur.

$$F_q = C_q D^2 \frac{\gamma_w}{k_b} H_b \quad (3.5)$$

- D : Bir taşın karakteristik boyutu

Koruyucu tabakayı oluşturan taşlar tek tek suya atıldığı zaman sudaki ağırlığı (W') ve sürtünme kuvvetiyle, taşı yerinden oynatacak kuvvetlere karşı koyar. Sürtünme kuvveti, taşın ağırlığı yanında yok denecek kadar azdır.

$$W' = k_v D^3 (\gamma_r - \gamma_w) \quad (3.6)$$

- W' : Taşların tekil ağırlığı (N)
 γ_r : Taş özgül ağırlığı (N/m^3)
 k_v : Denge katsayısı

Denge şartı için, taşların tekil ağırlığı toplam atalet ve moment direncine eşit olacaktır.

$$W' = F_q \quad (3.7)$$

Eş. 3.6 ve Eş. 3.5, Eş. 3.7'de yerine yazılırsa, Eş. 3.8 elde edilir.

$$k_v D^3 (\gamma_r - \gamma_w) = C_q D^2 \frac{\gamma_w}{k_b} H_b \quad (3.8)$$

$$S_r = \frac{\gamma_r}{\gamma_w} \quad (3.9)$$

S_r : Özgül ağırlıkların oranı

Eş. 3.9, Eş. 3.7' de yazılırsa, Eş.3.10 elde edilir.

$$k_v D (S_r - 1) = \frac{C_q H_b}{k_b} \quad (3.10)$$

Eş. 3.10, Eş. 3.11 şeklinde de yazılabilir.

$$\frac{H_b}{D(S_r - 1)} = \frac{k_b k_v}{C_q} \quad (3.11)$$

$$W = k_v D^3 \gamma_r \quad (3.12)$$

Eş. 3.12 ifadesinden taşın karakteristik boyutu elde edilir.

$$D = \left(\frac{W}{k_v \gamma_r} \right)^{1/3} \quad (3.13)$$

Eş. 3.12 ve Eş. 3.13 birleştirilirse, Eş. 3.14 elde edilir ve Eş. 3.15 bağıntısı tanımlanır.

$$\frac{\gamma_r^{1/3} H_b}{(S_r - 1) W^{1/3}} = \frac{k_b k_v^{2/3}}{C_q} \quad (3.14)$$

$$\frac{k_b k_v^{2/3}}{C_q} = f \left(C_d, k_a, C_m, k_v, \frac{D}{u^2}, \frac{du}{dt}, \frac{d}{L}, \frac{H}{L} \right) \quad (3.15)$$

Hudson (1959) mahmuz üzerinde dalgaların kısmen kırılması veya kırılmadan yansıdığı durumlarda oluşturdukları kuvvetlerin aynı yönde olmadığı gibi oluşan su hareketlerinin de aynı olmadığını savunur. Ama taşların stabilitesinde kırılmayan ve kırılan dalgaların yarattığı kuvvetlerin değerlerinin mertebeleri yaklaşık olarak aynıdır [Balas, Koç, 2002].

Eş. 3.16 birinci dereceden bir kabul ile kırılmayan ve kırılan dalgaların kuvvet bağıntısını vermektedir.

$$\frac{\gamma_r^{1/3} H_b}{(S_r - 1) W^{1/3}} = f \left(C_d, k_a, C_m, k_v, D, P, r, h, m, z, B_0, \frac{H}{d}, \frac{D}{u^2}, \frac{du}{dt}, \frac{d}{L}, \frac{H}{L} \right) \quad (3.16)$$

C_d, k_a, C_m, k_v katsayıları şekil faktörünün bir fonksiyonu ayrıca C_d ve C_m Reynold sayısının bir fonksiyonudur.

Hudson (1959) yaptığı deneyler ile Eş. 3.16'in sağ tarafını elde etmek için çalışmıştır. $\frac{D}{u^2}, \frac{du}{dt}$ değişkenleri, taşlar etrafındaki suyun hız alanının belirlenmemesi sebebiyle ihmal edilmiştir. $\frac{d}{L}, \frac{H}{L}, \alpha, d$ ve t değişkenleri sabit tutulmuştur [Balas, Koç, 2002].

Koruyucu tabakaya düzenli, pürüzsüz, yuvarlak şekilli taşların yerleştirilmesi ile yapılan ilk deneylerde; Eş. 3.17 bağıntısı kullanılmıştır.

$$\frac{\gamma_r^{1/3} H_b}{(S_r - 1) W^{1/3}} = f\left(\alpha, \frac{d}{L}, \frac{H}{L}, S\right) \quad (3.17)$$

S : Hasar yüzdesi

Bir veya iki taş tabakasının üzerine koruyucu tabaka olarak yerleştirilen tetrapod ve taş dolgu ile deneylerin ikinci kısmı yapılmıştır.

$$\frac{\gamma_r^{1/3} H_b}{(S_r - 1) W^{1/3}} = f\left(\alpha, \frac{d}{L}, \frac{H}{L}, r\right) \quad (3.18)$$

Eş. 3.16, Eş 3.17 ve Eş 3.18' de sağ taraf stabilite parametresi ile ifade edilmiştir. $\frac{d}{L}, \frac{H}{L}$ boyutsuz değişkenlerinin koruyucu tabaka taşlarının stabilitesi üzerinde yaptığı etkinin, mahmuz eğimi ve koruyucu taş şeklinin yaptığı etkilere göre ihmal edilebilir seviyede olduğu yapılan deney sonuçlarında ortaya konmuştur. Deney sonuçları hiç hasar olmama ve mahmuz üzerinden dalga aşmaması durumları için, $\cot\alpha$ 'nın fonksiyonu olarak N_s 'e göre logaritmik kâğıda işlenmiştir. Geçirilen en uygun doğru; Eş. 3.19 ile elde edilmiştir.

$$N_s = a(\cot\alpha)^{1/3} \quad (3.19)$$

a : $\cot\alpha$ 'nın bire eşit olduğu zaman ki stabilite değeri

α : Mahmuz eğimi

N_s : Stabilite parametresi

Eş. 3.19, Eş. 3.18'de yerine konulursa, Eş. 3.20 elde edilir

$$\frac{H \gamma_r^{1/3}}{W^{1/3}(S_r - 1)} = a(\cot\alpha)^{1/3} \quad (3.20)$$

W : Koruyucu birey taş ya da blok birim ağırlığı (N)

H : Mahmuz önündeki tasarım dalga yüksekliği (m)

Her iki tarafın küpü alınarak Eş. 3.20 düzenlenirse, Eş. 3.21 elde edilir.

$$\frac{H^3 \gamma_r}{W(S_r-1)^3} = a^3 (\cot \alpha) \quad (3.21)$$

Koruyucu tabakanın taş şekline göre değişen ve deneysel olarak belirlenen stabilite katsayısı Eş. 3.22 ile tanımlanmıştır.

$$K_D = a^3 \quad (3.22)$$

K_D : Stabilite katsayısı

Seçilen tasarım dalgası için mahmuz koruyucu taş ağırlığı hesaplanır. Bu hesapta, mahmuzda hiç hasar olmama koşulu da sağlanmış olur. Hudson denklemi en son halini alır. Hudson denklemi; Eş. 3.23 veya Eş. 3.24 ile ifade edilir

$$W = \frac{H^3 \gamma_r}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \alpha} \quad (3.23)$$

$$W = \frac{H^3 \gamma_r}{K_D \Delta^3 \cot \alpha} \quad (3.24)$$

Δ : Göreceli özgül ağırlık

Taş kütleleri Eş. 3.25 ile, taşların nominal çapı ise Eş.3.26 ile hesaplanır

$$M_{50} = \frac{H^3 \rho_r}{K_D \left(\frac{\rho_r}{\rho_w} - 1 \right)^3 \cot \alpha} \quad (3.25)$$

$$D_{n50} = \left(\frac{W_{50}}{\rho_r g} \right)^{1/3} \quad (3.26)$$

M_{50} : Ortalama taş kütleleri (kg)

D_{n50} : Taşların % 50'sinin ağırlığındaki taşın çapı (m)

Çizelge 3.1. K_D değerleri tasarım dalgası $H=H_s$ (Eğim Açılırları $1,5 \leq \cot \alpha \leq 3,0$) [Wang , Le Meahute, 1983; WMO, 1988]

Taş Şekli	Yerleştirme	Hasar			
		0-5%		5-10%	10-15%
		Kırılan Dalga	Kırılmayan Dalga	Kırılmayan Dalga	Kırılmayan Dalga
Düzgün (Smooth Rounded)	Düzensiz	2,1	2,4	3,0	3,6
Pürüzlü (Rough Angular)	Düzensiz	3,5	4,0	4,9	6,6
Pürüzlü (Rough Angular)	Özel	4,8	5,5		

Çizelge 3.2. K_D değerleri tasarım dalgası $H = H_{1/10}$ [Wang , Le Meahute, 1983; WMO, 1988]

Taş Şekli	Yerleştirme	Hasar	
		D=0-5%	
		Kırılan Dalga	Kırılmayan Dalga
Düzgün (Smooth Rounded)	Düzensiz	1,2	2,4
Pürüzlü (Rough Angular)	Düzensiz	2,0	4,0
Pürüzlü (Rough Angular)	Özel	5,8	7,0

Belirgin dalga yüksekliklerine göre stabilite katsayıları Çizelge 3.1. ve Çizelge 3.2. ile, kafa kesiti için ise Çizelge 3.3. ile verilmiştir. Koruyucu topuk olması durumunda küp ve antifer bloklar için denge katsayıları gövde kesiti ve kafa kesiti için sırasıyla Çizelge 3.4. ve Çizelge 3.5.' de verilmiştir [Wang , Le Meahute, 1983].

Çizelge 3.3. Mahmuz kafası için K_D değerleri, $H = H_{1/10}$ [Wang , Le Meahute, 1983;WMO, 1988]

Taş Şekli	Yerleştirme	Hasar			
		0-5%		5-10%	10-15%
		Kırılan Dalga	Kırılmayan Dalga	Kırılmayan Dalga	Kırılmayan Dalga
Düzgün (Smooth Rounded)	Düzensiz	2,1	2,4	3,0	3,6
Pürüzlü (Rough Angular)	Düzensiz	3,5	4,0	4,9	6,6
Pürüzlü (Rough Angular)	Özel	4,8	5,5		

Çizelge 3.4. Taş dolgu mahmuzların gövde kesiti için önerilen K_D katsayıları [Wang , Le Meahute, 1983]

GÖVDE KESİTİ Hasar D= %0 - 5				
Yapı eğimi	KIRILMAYAN DALGA KOŞULLARI		KIRILAN DALGA KOŞULLARI	
	KÜP	ANTİFER	KÜP	ANTİFER
cot α				
1,5	4,5	5,0	3,5	4,0
2,0	6,5	7,0	5,0	5,5
2,5	7,5	8,0	6,0	6,5
3,0	8,5	9,0	7,0	7,5
3,5	9,5	-	8,0	-

Çizelge 3.5. Taş dolgu mahmuzların kafa kesiti için önerilen K_D katsayıları [Wang , Le Meahute, 1983]

KAFA KESİTİ Hasar D= %0 - 5				
Yapı eğimi	KIRILMAYAN DALGA KOŞULLARI		KIRILAN DALGA KOŞULLARI	
	KÜP	ANTİFER	KÜP	ANTİFER
cot α				
1.5	-	4,0	-	3,5
2.0	5,0	5,5	4,0	4,5
2.5	6,0	6,5	5,0	5,5
3.0	7,0	7,5	6,0	6,5
3.5	-	-	-	-

Koruma tabakasında, gövdede ve kafada kullanılacak tetrapod elemanlar için gerekli K_D değerleri Çizelge 3.6. ve Çizelge 3.7. ile verilmiştir.

Çizelge 3.6. Mahmuz gövdesi için K_D değerleri ($H= H_{1/10}$ $D = \%0-\% 5$ hasar) [Wang , Le Meahute, 1983; WMO, 1988]

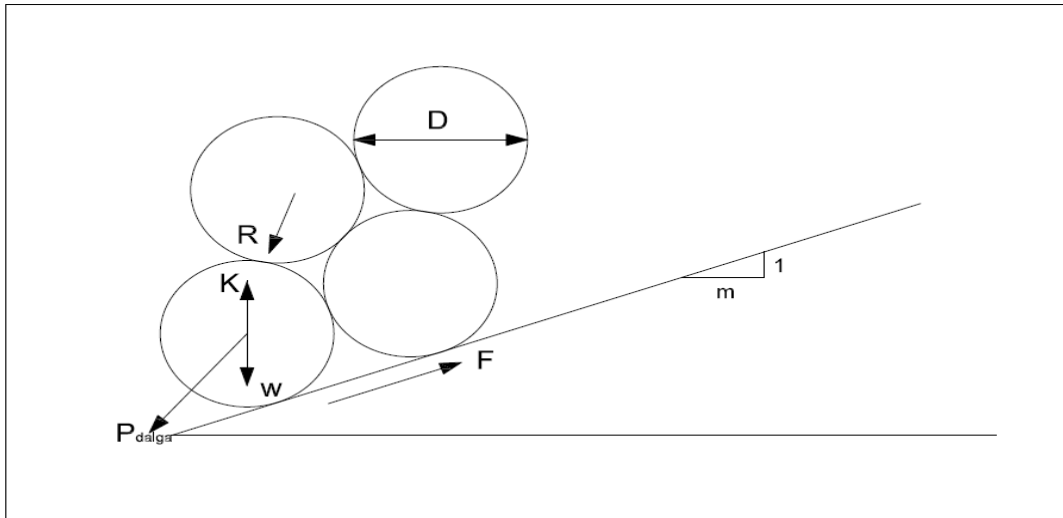
Koruyucu Tabaka	Yerleştirme	Tabaka Sayısı	Kırılan Dalga	Kırılmayan Dalga	Yapı Eğimi
Tetrapod	Rastgele	2	7,0	8,0	1,5
					2,0
					3,0

Çizelge 3.7. Mahmuz kafası için K_D değerleri ($H= H_{1/10}$ $D = \%0-\% 5$ hasar) [Wang , Le Meahute, 1983; WMO, 1988]

Koruyucu Tabaka	Yerleştirme	Tabaka Sayısı	Kırılan Dalga	Kırılmayan Dalga	Yapı Eğimi
Tetrapod	Rastgele	2	5,0	6,0	1,5
			4,5	5,5	2,0
			3,5	4,0	3,0

3.2.1. Koruma yapısındaki taşların üzerine gelen yükler

Hudson eşitliği taş dolgu mahmuz tasarımında en bilinen en eski eşitliklerden biridir. Hudson denklemi, koruma yapısındaki elemanlarının üzerine etkiyen kuvvetlerin dengesini dikkate almaktadır.



Şekil 3.1. Koruyucu taşların üzerine etki eden kuvvetler

Koruyucu taşların üzerine etkiyen kuvvetler Şekil 3.1 de gösterilmiştir. Bu kuvvetler; taşa etkiyen kaldırma kuvveti (K), taşların arasındaki etkileşim kuvveti (R), dalga basıncı (P_{dalga}) ve sürtünme kuvveti (F) olarak verilmiştir. Bu kuvvetler ve dengesi aşağıda detaylı olarak incelenmiştir. Hesaplamalarda kullanılan taşlar küresel olarak dikkate alınmıştır.

Taşın hacmi yaklaşık olarak Eş. 3.27, taşın ağırlığı Eş. 3.28 ve bir taşın üzerine etkiyen kaldırma kuvveti Eş. 3.29 ile verilmiştir.

$$V \cong D^3 \quad (3.27)$$

$$W \cong \gamma_r D^3 \quad (3.28)$$

$$K \cong \gamma_w D^3 \quad (3.29)$$

V : Bir taşın hacmi (m^3)

Taşa etki eden net düşey kuvvet, sürtünme kuvveti ve etkileşim kuvveti ihmal edilerek taşın ağırlığından kaldırma kuvveti çıkarılarak Eş. 3.30 ile elde edilmiştir.

$$W - K = \left(\frac{\gamma_r}{\gamma_w} - 1 \right) \gamma_w D^3 = (\Delta - 1) \gamma_w D^3 \quad (3.30)$$

Bir taşın üzerine etkiyen dalga basıncı Eş. 3.31 ile verilmiştir.

$$F_w \cong \rho_w u^2 D^2 \quad (3.31)$$

F_w : Dalga basınç kuvveti (N)

ρ_w : Suyun özgül kütlesi (kg/m^3)

Kritik kuvvet kombinasyonu, net düşey kuvvet ve dalga kuvvetleri ile elde edilmiştir. Kritik kuvvet kombinasyonu yapının eğimine, dalga dikliği, taşların yerleşimine ve dalga yaklaşım açısına bağlıdır.

$$C_F = \frac{W-K}{P_{dalga}} \quad (3.32)$$

$$C_F = \frac{(\Delta-1)\gamma_w D^3}{\rho_w u^2 D^2} = \frac{(\Delta-1)g D}{u^2} \quad (3.33)$$

C_F : Kritik kuvvet kombinasyonu

Kırılma durumunda, su parçalarının hızı hemen hemen dalga hızına eşit olmakta ve dalga hızı sığ su yaklaşımı ile yaklaşık olarak Eş. 3.34 ile hesaplanmaktadır.

$$C = \sqrt{gd_b} \quad (3.34)$$

C : Dalga hızı (m/s)

Eş. 3.34'de kırılma derinliği yaklaşık olarak kırılan dalganın yüksekliğine eşit ($H_b/db \approx 1$) alınmış ve Eş. 3.35 elde edilmiştir. Hudson denkleminde, tasarım dalga yüksekliği kırılan dalga yüksekliğine eşittir, Eş. 3.35'i Eş. 3.36 olarak ifade edilebilir.

$$u = \sqrt{gH_b} \quad (3.35)$$

$$u = \sqrt{gH} \quad (3.36)$$

Su parçacıklarının hızı Eş. 3.35'de yerine konularsa kritik kuvvet kombinasyonu Eş. 3.37 elde edilir. Eş. 3.39'un düzenlenmesi ile taş çapı Eş. 3.38 ile bulunur. Taş ağırlığı, Eş. 3.30'da taş çapının yerine konulması ile Eş. 3.39 olarak hesaplanır.

$$C_F = \frac{(\Delta-1)gD}{gH} \quad (3.37)$$

$$D = \frac{H}{(\Delta-1)} C_F \quad (3.38)$$

$$W = \frac{\gamma_r H^3}{(\Delta-1)^3} C_F \quad (3.39)$$

Kritik kuvvet kombinasyonu, taşların stablite katsayısı ile yer değiştirirse Hudson denklemini elde edilir.

$$W = \frac{\gamma_r H^3 \tan \alpha}{(\Delta-1)^3 K_D} \quad (3.40)$$

3.3. Van der Meer Denklemi

Van der Meer denklemi ile koruma tabakasında kullanılacak taş büyüklüğünü, hesaplamak için gerekli yöntem aşağıda belirtilmiştir.

Sıçrayarak (plunging tipi) kırılma ($x_m < x_{mc}$) için Eş. 3.41 ve dökülerek (surging tipi) kırılma ($x_m > x_{mc}$) için Eş. 3.42 tanımlanmıştır.

$$\frac{H_s}{\Delta D_{50}} = 6,2 S^{0,2} P^{0,18} N_z^{-0,1} \xi_m^{-0,5} \quad (3.41)$$

$$\frac{H_s}{\Delta D_{50}} = 1,0 S^{0,2} P^{-0,13} N_z^{-0,1} (\cot \alpha)^{0,5} \xi_m^P \quad (3.42)$$

$$\xi_m = S_m^{-0,5} \tan \alpha \quad (3.43)$$

$$\xi_{mc} = (6,2 P^{0,31} (\tan \alpha)^{0,5})^{1/(P+0,5)} \quad (3.44)$$

$$S_m = H_s / L_{om} \quad (3.45)$$

S_m : Dalga dikliği; ($0,005 \leq S_m \leq 0,06$ için geçerli)

L_{om} : Ortalama dalga periyodundaki dalga uzunluğu (m)

x_{mc} : Kritik kırılma parametresi değeri

x_m : Kırılma parametresi

P : Geçirimsizlik (Permeabilite) katsayısı $0,1 < P < 0,6$ (önerilen $P=0,4$)

N_z : Dalga sayısı ($N_z \leq 7500$)

H_s : Mahmuz önündeki belirgin dalga yüksekliği (m)

S : Hasar yüzdesi

$$S = A_e / D_{50}^2 \quad (3.46)$$

A_e : Hasara göre kesit alanı (m²)

Çizelge 3.8. Hasar seviyelerine göre S değerleri [WMO, 1988]

Birim	Eğim	Hasar Başlangıcı	Orta Hasar	Tam Hasar
Taş	1:1,5	2	3 - 5	8
Taş	1:2	2	4 - 6	8
Taş	1:3	2	6 - 9	12
Taş	1:4 - 1:6	2	8 - 12	17

3.3.1. Van Der Meer denkleminde koruma tabakasında kullanılacak beton eleman büyüklüğü için hesaplama yöntemi

Koruyucu tabakalarda, beton elemanların kullanıldığı tasarım denklemleri, beton elemanların şekillerine göre verilmiştir. Bu denklemler, 1:1,5 eğimli koruyucu tabakada rastgele yerleştirilmiş iki sıra küp, dalga aşması gözlemlenmeyen eğimler ve düzensiz ve dik gelen dalgalar içindir.

Beton küp ile imal edilmiş yapı önünde kırılmayan dalgalar ve kırılma benzetim parametresi $3 < x_{mc} < 6$ için Eş. 3.48 geçerlidir.

$$\xi_m = S_m^{-0,5} \tan \alpha \quad (3.48)$$

$$\frac{H_s}{\Delta D_n} = \left(6,7 N_{od}^{0,4} / N_z^{0,3} + 1 \right) S_m^{-0,1} \quad (3.49)$$

D_n : Koruyucu tabakada yer değiştiren küp sayısı

N_{od} : Koruyucu tabakada genişliği D_n olan alanda yer değiştiren küp sayısı

Çizelge 3.9. $H_s/\Delta D_n$ ve bu değere karşılık gelen K_D değerleri [Wang , Le Meahute, 1983]

Hasar Seviyesi	$\frac{H_s}{\Delta D_n}$	K_D	
		Eğim 1: 1,5	Eğim 1 : 2
Hasar Başlangıcı, S=2	1,8 – 2,0	3,90 – 5,30	2,90 – 4,00
Orta Hasar, S=2	2,3 – 2,6	8,10 – 12,0	6,10 – 8,80

Kırılma benzetim parametresi $3,5 < x_{mc} < 6$ olan, tetrapod ile oluşturulmuş yapı önünde kırılmayan dalgalar için Eş. 3.50 geçerlidir.

$$\frac{H_s}{\Delta D_3} = \left(3,75 N_{od}^{0,5} / N_z^{0,25} + 0,85 \right) S_m^{-0,2} \quad (3.50)$$

L_{om} : Ortalama dalga periyodundaki dalga uzunluğu (m)

D_3 : Tetrapodla aynı hacimdeki küpün kenar uzunluğu (m)

3.4. Hudson ve Van der Meer Denklemlerinin Karşılaştırılması

Hudson ve Van der Meer denklemleri taş dolgu mahmuz tasarımında Türkiye’de olduğu gibi Dünya’da da en yaygın kullanılan denklemlerdir. Bu iki denklem de hidrolik model deneylerine dayanmaktadır.

Hudson denklemi düzenli dalga deneyleri sonucu elde edilmiştir. Hudson denklemi incelendiği zaman, denklemi dalga yüksekliği, suyun ve taşın birim hacim ağırlığı, yapı eğimi ve stabilite katsayısının oluşturduğu görülmektedir. Denkleminde hasar oranının, dalga tipinin (kırılan veya kırılmayan dalga) ve kesitin yerinin (gövdede veya kafada olması) etkisi stabilite katsayısı ile ifade edilmektedir.

Hudson denklemi, düzenli dalgalar ile elde edildiğinden, dalga yüksekliği düzenli dalga ortamındaki değişmeyen dalga yüksekliğidir. Denklemin düzensiz dalgalara uyarlanması için dalga yüksekliği olarak belirgin dalga yüksekliğinin kullanılması önerilmiştir [Williams, Davies, Ergin, Balas, 1998]. Kırılmayan dalga koşullarında ise gözlemlenen dalgaların en büyük %10’nun ortalamasının kullanılması tavsiye edilmiştir [WMO, 1988]. Van der Meer denklemi ise deneylerde düzensiz dalgalar kullanılarak elde edilmiş, sıçrayarak kırılan ve yapı üzerinde kabarak kırılan dalgalar için iki ayrı denklem önerilmiştir. Van der Meer denkleminde de yapı eğimi, taş ve suyun yoğunluğu

kullanılmış, dalga yüksekliği olarak belirgin dalga yüksekliği ele alınmıştır. Hudson denkleminde farklı olarak, Van der Meer denkleminde dalga periyodu, geçirgenlik, fırtına süresi ve hasar seviyesi de etkilidir. Van der Meer (1987), Rayleigh dağılımının geçerli olduğu sığ olmayan deniz koşullarında deneylerinin çoğunu gerçekleştirmiştir. Van der Meer denklemleri belirgin dalga yüksekliğinin yerine gözlemlenen dalgaların en büyük % 2'sinin ortalaması kullanılarak sığ su durumunda da kullanılabilir.

Özbahçeci ve Bilyay (2007) çalışmalarında Hudson ve Van der Meer denklemlerini, kırılan ve kırılmayan dalga durumu için toplam 1260 tasarım senaryosu kullanarak karşılaştırmışlardır. Farklı dalga durumları için karşılaştırmalarının sebebi, iki denklemden de bu durumlar için farklı parametrelerin kullanılmasıdır. Kırılan dalga durumunda, Hudson denklemini, kırılmayan dalga durumunda ise düzensiz dalga deneyleri sonucu elde edilen, daha fazla parametreyi içeren Meer denklemini kullanmayı önermişlerdir.

3.5. Mahmuz Kafası Denge Denklemleri

Hudson (1959) mahmuz tasarımında, mahmuzun kafa ve gövdesinin kesit hesabı için iki farklı denklem önermiş, buna karşın Van der Meer (1987) her iki bölge içinde tek bir denklem önermiştir [Wang , Le Meahute, 1983]. Aynı dalga şartlarında mahmuzun kafası, gövdesine göre ziyade zarara açıktır. Bu sebeple mahmuzun kafasında daha büyük taş ağırlığı verecek K_D değerlerinin kullanılması önerilmektedir. Kafa kesitinin taş ağırlığını hesaplayabilmek için aşağıdaki denklem (Eş. 3.51) önerilmektedir [Wang , Le Meahute, 1983].

Eş. 3.51 genelde düzenli dalgalar, kırılan ve kırılmadan gelen dalgalar ve aşmanın olmadığı dalgalar için uygundur. Dalga geliş açısı; $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ dir.

$$\frac{H}{\Delta D_{n50}} = A_K \xi^2 + B_K \xi + C_c \quad (3.51)$$

$$\xi = \frac{\tan \alpha}{(H/L)^{1/2}} \quad (3.52)$$

H : Mahmuz önündeki tasarım dalga yüksekliği (m)

D_{n50} : Taşların %50 sinin ağırlığının daha az olduğu taşın çapı (m)

L : Yapı topuğundaki dalga boyu (m)

A_K, B_K, C_c : Deneysel katsayılar

Çizelge 3.10. Deneysel katsayılar [Wang , Le Meahute, 1983]

Armor Tipi	A _K	B _K	C _C	Eğim	ξ
Taş	0,272	-1,749	4,179	1 : 1,5	2,1 – 4,1
Taş	0,198	-1,234	3,289	1 : 2,0	1,8 – 3,4

3.6. Mahmuz Filtre Tasarımı

Filtre tabakası, taş dolgu mahmuzların çekirdeğini korumak, malzeme kaybını önlemek veya dalga ve akıntıların sebep olabileceği zemin aşınmasını önlemek için yapılır. Geotekstil, tanelenmiş malzeme, çakıl ve küçük taşlar kullanılarak bir veya birden fazla katmanlı filtre tabakaları yapılabilir.

Tanelenmiş filtre tasarımı koşulları, düzenli ve sıkışmış küreler arasında ki boşluğun geometrisine bağlıdır. Tane büyüklük dağılımı, aşağıda belirtilen geometrik filtre tasarım koşullarını sağlamalıdır.

3.6.1. Koruma koşulu

Mahmuz kesitinde kullanılan filtre tabakası, çekirdek malzemesinin kaybını önlemek için kullanılır. Filtre tabakası Eş. 3.53 ve Eş. 3.54 koşullarını sağlamalıdır.

$$\frac{d_{15(filtre)}}{d_{85(çekirdek)}} < (4 - 5) \quad (3.53)$$

$$\frac{W_{50(filtre)}}{W_{50(çekirdek)}} < (15 - 20) \quad (3.54)$$

$d_{85(çekirdek)}$: % 15' inin çekirdek tabakasının altına geçtiği taş çapı (m)

$d_{15(filtre)}$: % 85' inin filtre tabakasının altına geçtiği taş çapı (m)

$W_{50(filtre)}$: Filtre tabakası ortalama taş ağırlığı (N)

$W_{50(çekirdek)}$: Çekirdek tabakası ortalama taş ağırlığı (N)

3.6.2. Geçirgenlik koşulu

Dalga enerjisinin düşürülebilmesi için filtre tabakasında yeterli geçirgenliğin sağlanması gerekmektedir. Geçirgenliğin oluşabilmesi için gerekli şart Eş. 3.55’de verilmiştir.

$$\frac{d_{15(filtre)}}{d_{15(çekirdek)}} > (4 - 5) \quad (3.55)$$

$d_{15(çekirdek)}$: % 85’ inin çekirdek tabakasının altına geçtiği taş çapı (m)

3.6.3. İç denge koşulu

Filtre malzemesinin gradasyon aralığı geniş ise, filtre tabakasının iç dengesini sağlayan ince taneli malzemelerde dalga etkisiyle yıkanma olabilir. Dengeyi koruyabilmek ve sağlayabilmek için Eş. 3.56 kullanılmalıdır.

$$\frac{d_{60(filtre)}}{d_{10(çekirdek)}} < 10 \quad (3.56)$$

$d_{60(filtre)}$: % 40’ ının filtre tabakasının altına geçtiği taş çapı (m)

$d_{10(çekirdek)}$: % 90’ ının çekirdek tabakasının altına geçtiği taş çapı (m)

3.7. Mahmuz Geometrik Özelliklerinin Belirlenmesi

Tasarım sırasında aşağıda verilen yapı geometrik özellikleri belirlenmelidir.

- 1) Kret yüksekliği ve genişliği
- 2) Koruyucu birey taş veya blok tabaka kalınlığı ve alt tabakalar
- 3) Ana filtre tabakasının taban yüksekliği
- 3) Topuk (filtre tabakası dengesi için)
- 4) Mahmuz kafası koruma tabakası
- 5) İkincil filtre tabakası

3.7.1. Kret kotu

Mahmuz ve ya kıyı koruma taş dolgu yapılarında, dalga aşmasının yapının arkasında bir hasara neden olmaması koşuluyla, dalga aşmasına izin verilir. Dalga aşması, kret yüksekliğinin dalga tırmanması değerinden küçük olması ile oluşur. Koruyucu birey taş veya blok tabakası düz ve az geçirgen ise dalga tırmanması değeri daha yükse olur.

3.7.2. Kret genişliği

Kret genişliği, izin verilen dalga aşması değerine göre değişir, ancak tek değişken bu değildir. Dalga aşması için genel kural, en küçük kret genişliğinin 3 adet koruyucu birey taş veya bloğun genişliğine eşit olmasıdır ki kret genişliği Eş. 3.57 kullanılarak hesaplanır.

$$B_2 = nk_{\Delta} \left(\frac{W}{\gamma_a} \right)^{1/3} \quad (3.57)$$

B_2 : Kret genişliği (m)

n : Taş ya da beton koruyucu birey taş veya blok sayısı

k_{Δ} : Tabaka katsayısı

W : Koruyucu birey taş ya da blok birim ağırlığı (N)

γ_a : Koruyucu birey taş ya da blok birim malzemesinin özgül ağırlığı (N/m^3)

Çizelge 3.11. Çeşitli koruyucu tabakaları için tabaka katsayısı ve boşluk oranı [CERC, 2003]

Koruyucu tabaka birey taş ya da blok	n	Yerleştirme	Tabaka Katsayısı (k_{Δ})	Boşluk Oranı (%P)
Ocak taşı (düz)	2	Rastgele	1,02	38
Ocak taşı (pürüzlü)	2	Rastgele	1,00	37
Ocak taşı (pürüzlü)	≥ 3	Rastgele	1,00	40
Ocak taşı (paralel yüzlü)	2	Özel	-	27
Ocak taşı	Sınırlandırılmış	Rastgele	-	37
Küp	2	Rastgele	1,10	47
Tetrapod	2	Rastgele	1,04	50

3.7.3. Koruyucu tabaka kalınlığı

Koruyucu tabaka kalınlığı Eş. 3.58 kullanılarak hesaplanmaktadır. Filtre tabakası kalınlığı hesaplamalarında da Eş. 3.58, filtre tabakası taş ağırlığı ile kullanılır.

$$r = nk_{\Delta} \left(\frac{W}{\gamma_a} \right)^{1/3} \quad (3.58)$$

r : Ortalama tabaka kalınlığı (m)

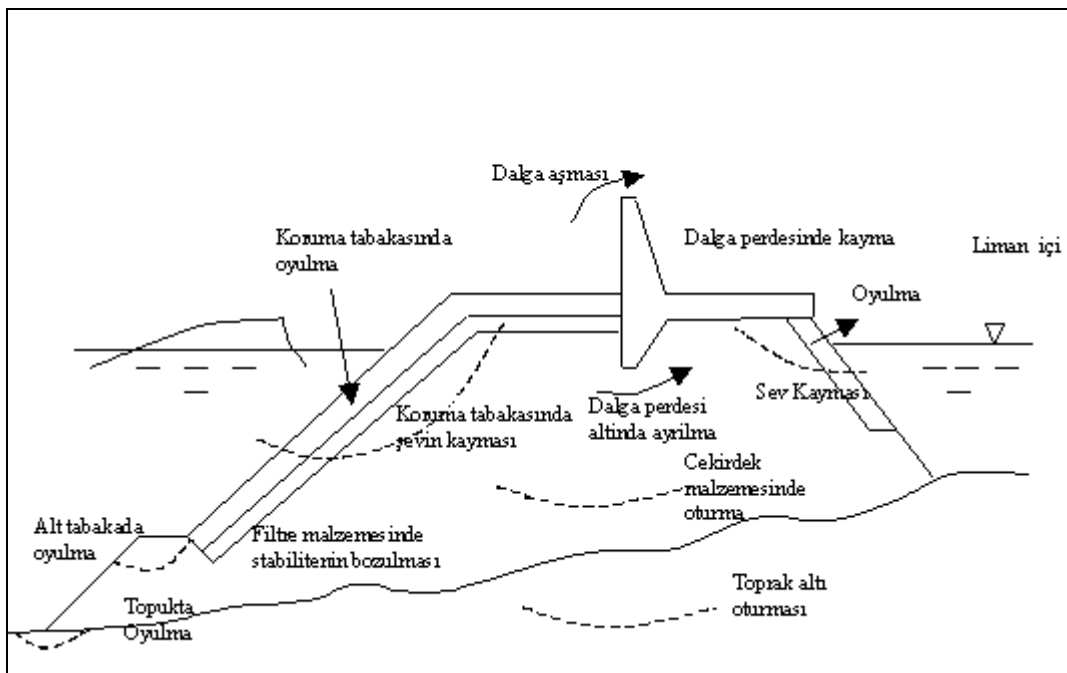
n : Taş ya da beton koruyucu birey taş veya blok sayısı (genellikle $n=2$)

Yapı başı ve kara tarafı koruyucu tabakası, ikincil koruyucu tabaka ve alt tabakaların tasarımları Şekil 3.2. ve Şekil 3.3. kullanılarak yapılacaktır [Wang , Le Meahute, 1983].



4. TAŞ DOLGU MAHMUZLARIN TASARIMI

Türkiye’de, taş dolgu mahmuzlar malzeme açısından ekonomik olmaları nedeniyle yaygın olarak tercih edilirlen kıyı yapılarıdır ve yüksek maliyete sahip bu yapılarda, farklı hasar biçimleri ile karşılaşılmasına karşın en önemli hasar biçimi koruma tabakasında kayma veya oyulma şeklinde meydana gelen hasarlardır (Burcharth, 1992) (Şekil 4.1.).



Şekil 4.1. Taş dolgu mahmuzlarda farklı hasar tipleri (Burcharth, 1992)

Taş dolgu mahmuzların tasarımında meydana çıkan belirsizlikler, yük ve dayanım parametreleri ile beraber tasarım anında kullanılan ampirik denklemlerden dolayı da oluşmaktadır. Belirsizlik faktörleri, yapının tasarım ömrü içinde gerçekleşebilecek hasar riskinin yanında emniyet seviyesini de etkilemektedir. Yapısal güvenilirliğin tahmininde genellikle belirsizliklerin de göz önüne alındığı ikinci seviye olasılık yöntemlerden faydalanılmaktadır. Bu yöntemlerde yapının güvenilirlik indeksi, performans fonksiyonunun “limit durumu” için indirgenmiş tasarım parametreleri sisteminin optimizasyonu (en iyilenmesi) yoluyla “en olası göçme noktası”nın çok boyutlu koordinat sisteminin merkeze olan uzaklığına bağlı olarak belirlenmektedir.

Taş dolgu mahmuzların bünyesinde çok fazla belirsizlik göz önüne alındığında, istatistiksel yöntemler bu tür yapıların tasarımında kullanılabilir alternatif yaklaşımlardan en başta

gelenini oluşturmaktadır. Bu bölümde, taş dolgu mahmuzlarda güvenilirlik indeksi, ikinci moment yaklaşımı ile belirlenmiştir. Burada amaç, yüksek maliyet ön görülen taş dolgu mahmuzların daha ekonomik ve daha emniyetli olarak tasarımında, istatistiksel tekniklerinin kullanılma alternatiflerinin araştırılması olmuştur.

4.1. Taş Dolgu Mahmuzlarda Deterministik Tasarım

İstanbul ilinde 7 ait derenin denize açıldığı noktada derelerin mansap şartlarının sağlanması ve deniz dalgalarının kıyıda oluşturduğu olumsuz etkilerin önlenmesi amacıyla mahmuz yapılarının projelendirilmesi gerekmiştir. Çalışma sahası İstanbul ilinin Karadeniz sahillerinde ki denizel alandır. Kıyı mahmuzları 50 yıllık yapı ömrü dikkate alınarak tasarlanmıştır.

Tasarımlarda uygun altyapı koşullarını sağlayabilmek için ‘T.C. Ulaştırma Bakanlığı Demiryolları, Limanlar, Hava meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü Kıyı Yapıları ve Limanlar Planlama Ve Tasarım Teknik Esasları’ nın yanı sıra uluslararası standartlar da dikkate alınmıştır. Yapılan çalışmalarda derin deniz dalga özellikleri DSİ tarafından yaptırılmış olan model deneyi raporlarından alınmıştır.

İlgili yönetmelik şartları altında kıyı mahmuzları deterministik metodlarla tasarlanmış ve sonuçları Çizelge 4.1 de verilmiştir. Bu mahmuzlardan Kilyos deresi çıkışında tasarlanan mahmuz ileriki bölümlerde güvenilirliğe dayalı metotlarla irdelenecektir.

Çizelge 4.1. Deterministik metodlarla tasarlanan mahmuzlara ait özet hesap tablosu

İSTANBUL İLİ MAHMUZLARI İŞİ KAPSAMINDA TASARLANAN KIYI MAHMUZLARINA AİT ÖZET HESAP TABLOSU																												
Mahmuz Adı	Yapı Kısmı	Rp (yıl)	Hs (m)	Ts (sn)	m	Lo (m)	Kr	H0' (m)	Hb/H0	Hb (m)	db/Hb	db (m)	d1max/Hb	dbmax (m)	Xp (m)	d (m)	d/Lo	β0	β1	βmax	Ks	Hl/3 (m)	cota	Yb (t/m3)	Yw (t/m3)	Kd	W (t)	Dn50 (m)
KILYOS DERESİ	Müzvar															5.0	0.012				1.40	3.84	3.0			1.3	11.22	1.62
	Gövde 1. kısım	50	8.25	16.26	0.016	412.4	1	5.25	1.16	9.57	1.175	11.24	1.510	14.45	36.9	4.0	0.010	0.129	0.556	1.034	1.44	3.29	2.0			2.0	5.84	1.30
	Gövde 2. kısım															1.0	0.002				1.44	1.62	2.0			2.0	0.07	0.30
KINIKLI DERESİ	Müzvar															5.0	0.076				0.96	2.48	2.0			1.6	3.19	1.06
	Gövde 1. kısım	50	2.70	6.50	0.021	65.9	1	2.70	1.06	2.86	1.210	3.46	1.550	4.44	10.9	4.0	0.061	0.100	0.568	0.920	0.99	2.48	2.0			2.0	2.55	0.99
	Gövde 2. kısım															1.0	0.002				1.33	0.84	2.0			2.0	0.10	0.34
RIVA DERESİ	Müzvar															4.0	0.018				1.27	3.07	2.0			1.6	5.99	1.31
	Gövde 1. kısım	50	9.00	12.00	0.012	224.6	1	9.00	1.02	9.18	1.220	11.20	1.535	14.09	35.7	3.5	0.016	0.098	0.547	0.920	1.31	2.79	2.0			2.0	3.62	1.11
	Gövde 2. kısım															5.0	0.011				1.40	4.02	3.0			1.3	13.94	1.74
POT DERESİ	Müzvar															4.5	0.010				1.42	3.73	2.0			2.0	10.89	1.60
	Gövde 1. kısım	50	8.70	16.70	0.023	435.1	1	8.70	1.24	10.79	1.125	12.14	1.520	16.4	40.9	4.5	0.010	0.133	0.573	1.052	1.44	1.73	2.0			2.0	0.86	0.69
	Gövde 2. kısım															1.0	0.002				1.44	1.73	2.0			2.0	0.86	0.69
AĞVA GÖKSU DERESİ SAĞ SAHİL MAHMUZU	Müzvar															3.5	0.007				1.44	3.20	2.0			1.6	6.83	1.37
	Gövde 1. kısım	50	10.00	18.00	0.013	505.4	1	10.00	1.14	11.40	1.190	13.57	1.510	17.21	44.2	3.0	0.006				1.44	2.93	2.0			2.0	4.17	1.16
	Gövde 2. kısım															1.0	0.002	0.128	0.549	1.030	1.44	1.73	2.0			2.0	1.02	0.73
AĞVA GÖKSU DERESİ SOL SAHİL MAHMUZU	Müzvar															3.0	0.006				1.44	2.93	2.0			1.6	5.22	1.25
	Gövde 1. kısım	50	10.00	18.00	0.013	505.4	1	10.00	1.14	11.40	1.190	13.57	1.510	17.21	44.2	2.5	0.005				1.44	2.65	2.0			2.0	3.11	1.05
	Gövde 2. kısım															1.0	0.002				1.44	1.83	2.0			2.0	1.02	0.73
AĞVA SUNGURLU DERESİ SAĞ SAHİL MAHMUZU	Müzvar															5.0	0.010				1.44	4.20	3.0			1.3	12.60	1.68
	Gövde 1. kısım	50	10.00	18.00	0.023	505.4	1	10.00	1.24	12.40	1.125	13.95	1.510	18.72	47	4.5	0.009				1.44	3.91	2.0			2.0	9.94	1.55
	Gövde 2. kısım															3.0	0.006	0.133	0.573	1.055	1.44	3.05	2.0			1.6	5.94	1.31
AĞVA SUNGURLU DERESİ SOL SAHİL MAHMUZU	Müzvar															2.5	0.005				1.44	2.77	2.0			2.0	3.51	1.10
	Gövde 1. kısım	50	10.00	18.00	0.023	505.4	1	10.00	1.24	12.40	1.125	13.95	1.510	18.72	47	2.5	0.005				1.44	2.61	2.0			1.6	3.68	1.12
	Gövde 2. kısım															3.0	0.014				1.36	2.61	2.0			2.0	2.07	0.92
ŞİLE UZUNDER SAĞ SAHİL MAHMUZU	Müzvar															2.5	0.012				1.40	2.32	2.0			2.0	2.07	0.92
	Gövde 1. kısım	50	8.70	11.80	0.023	217.2	1	8.70	1.08	9.40	1.175	11.04	1.550	14.56	35.6	1.0	0.005	0.102	0.573	0.920	1.44	1.46	2.0			2.0	0.52	0.58
	Gövde 2. kısım															1.0	0.005				1.44	1.46	2.0			2.0	0.52	0.58
ŞİLE UZUNDER SOL SAHİL MAHMUZU	Müzvar															2.0	0.009				1.44	2.03	2.0			1.6	1.75	0.87
	Gövde 1. kısım	50	8.70	11.80	0.023	217.2	1	8.70	1.08	9.40	1.175	11.04	1.550	14.56	35.6	1.5	0.007				1.44	1.75	2.0			2.0	0.89	0.69
	Gövde 2. kısım															1.0	0.005				1.44	1.46	2.0			2.0	0.52	0.58

Yüksek maliyete sahip taş dolgu mahmuzlarda en önemli hasar şeklini koruma tabakasında ortaya çıkacak hasarlar oluşturmaktadır. Koruma tabakasının tasarımında, genellikle yük ve dayanım değişkenleri arasındaki statik denge durumunu ifade eden Hudson ve Van der Meer denklemleri kullanılmaktadır (Hudson, 1953; Van der Meer, 1988).

Ancak, taş dolgu mahmuzların tasarımında yaygın olarak kullanılan Van der Meer denklemleri hidrolik model deneylerinin sonuçlarından elde edilmiş ve deney verilerini ortalama olarak ifade edebilen eşitliklerdir ve bu nedenle tasarım aşamasında karşılaşılan önemli belirsizlik kaynaklarıdır.

Van der Meer denklemleri, Hudson denkleminin, (Hudson, 1953) düzenli dalga koşullarını yansıtması yanında dalga dönemi, geçirgenlik gibi parametreleri ihmal etmesi nedeniyle daha gelişmiş bir özellik göstermektedir ve model deneylerinden elde edilen sonuçlara bağlı olarak Van der Meer tarafından sıçrayarak ve yansıyarak kırılan dalga durumları için sırasıyla aşağıdaki şekillerde verilmiştir (Van der Meer, 1988):

$$N_s = [6.2P^{0.18} \left(\frac{S}{\sqrt{N}}\right)^{0.2}] / \sqrt{\varepsilon_m} \quad \varepsilon_m < \varepsilon_c \quad (4.1)$$

$$N_s = 1.0P^{-0.13} \left(\frac{S}{\sqrt{N}}\right)^{0.2} \sqrt{\cot \theta} \varepsilon_m^P \quad \varepsilon_m \geq \varepsilon_c \quad (4.2)$$

$$\varepsilon_m = \frac{\tan \theta}{\sqrt{2\pi H_s / g T_m^2}} \quad (4.3)$$

$$\varepsilon_c = (6.2P^{0.31} \sqrt{\tan \theta})^{1/(P+0.5)} \quad (4.4)$$

Burada, $N_s = \frac{H_s}{\Delta D_{n50}}$ ve $S = \frac{A}{D_{n50}^2}$ olup N_s : stabilite sayısı, P : mahmuzun permeabilite katsayısı, S : hasar seviyesi, N : fırtınadaki dalga sayısı, ε_m : boyutsuz Iribarren parametresi, ε_c : boyutsuz Iribarren parametresinin kritik değeri, θ : koruma tabakasının eğim açısı, H_s : mahmuz topuğundaki belirgin dalga yüksekliği, Δ : koruma tabakası taşının göreceli yoğunluğu, D_{n50} : koruma tabakası taşının çapı, A : mahmuz kesitindeki hasar alanı, g : yerçekimi ivmesi, T_m : ortalama dalga dönemi (periyodu) olarak alınmıştır. Türkiye'de mahmuz projelerinin ön projelendirme aşamalarında yaygın olarak kabul edilen hasar seviyesi Hudson denkleminin kullanılması halinde % 0-5 (hasar meydana gelmemesi durumu) arasında değişir ve koruma tabakası, köşeli ve pürüzlü ocak taşlarının rassal

olarak iki tabaka halinde yerleştirilmesi ile elde edilir. Bu hasar aralığı Van der Meer denklemleri için hasar seviyesinin $S=2$ olması haline karşılık gelmektedir. Hudson denklemi için % 5-10, 10-15, 15-20, 20-30, 30-40 ve 40-50 aralıklarında verilen hasar seviyeleri ise Van der Meer denklemleri için sırasıyla 6, 10, 14, 20, 28 ve 36 olarak verilen hasar seviyelerine karşılık gelmektedir (Van der Meer, 1988).

Taş dolgu mahmuzların tasarımında, istatistiksel tasarım uygulanarak değişik istatistiksel tekniklerinin performansları değerlendirilmiş, ayrıca deterministik tasarım sonuçları istatistiksel tekniklerinin sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmanın ilk kısmında, taş dolgu mahmuzlar için stabilite sayısı, sıçrayarak ve yansıyarak kırılan dalga durumları için yapay sinir ağları yardımıyla tahmin edilmiş ve ağı yapısı P, S, N, $\cot \alpha$ ve ϵ_m değerleri girdi, N_s değerleri ise çıktı olacak şekilde düzenlenmiştir. Değişkenlerin değer aralıkları, Van der Meer (1988) tarafından yapılan hidrolik model deneylerine ait veri tabanına bağlı olarak saptanmış ve Çizelge 4.2.'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Van der Meer denklemlerindeki değişkenlerin değer aralıkları

Değişken	Maksimum	Minimum
Permeabilite katsayısı (P)	0,60	0,10
Eğim ($\cot \alpha$)	6,00	1,50
Stabilite sayısı (N_s)	4,30	0,80
Irbarren sayısı (ϵ_m)	7,60	0,70
Hasar seviyesi (S)	46,40	0,30
Dalga sayısı (N)	3000	1000

Kıyı yapısı projeleri, dayanım ve olası yük değerlerine bağlı yüksek derecedeki belirsizlikleri içerir ve bu belirsizlikler, risk yönetim modelleri içerisinde dikkate alınır (Williams, 1998). Belirsizliklerin etkisiyle yapının performansında gözlenecek olumsuzluklar yapının risk seviyesini dolayısıyla güvenilirliğini etkiler. Güvenirlik, yapının belirlenen ekonomik ömrü boyunca beklenen performansını yerine getirebilmesidir ve olasılık yöntemleriyle (II. ve III. seviye yöntemler) belirlenir. Yapıların deterministik olarak projelendirildiği durumlarda ise belirsizlikler dikkate alınmaz ve yapının

güvenirliğinin ölçüsü emniyet katsayıları ile ortaya konur. Ancak, projelendirme ile birlikte güvenirlüğün de tahmin edilebilmesi için yük ve dayanım değişkenlerine ait belirsizliklerin de dikkate alındığı olasılık yöntemlerinden yararlanılması gerekir.

4.2. Taş Dolgu Mahmuzlarda Güvenirliğe Dayalı Analiz

Bir mühendislik sisteminin güvenliği, bir limit duruma karşılık gelen, güvenilirlik ya da yıkılma olasılığı ile değerlendirilir. Yapısal güvenirlüğün tahmininde uygulanan ve belirsizliklerin dikkate alındığı ikinci düzey olasılık yöntemlerinde, yıkılma olasılığı güvenilirlik indeksine bağlı olarak belirlenmektedir. Bu tür yaklaşık olasılık yöntemlerinde, yapının güvenilirlik indeksi performans fonksiyonunun "limit durumu" için indirgenmiş tasarım değişkenleri sisteminin optimizasyonu yoluyla "en olası yıkım noktasına" bağlı olarak belirlenmektedir.

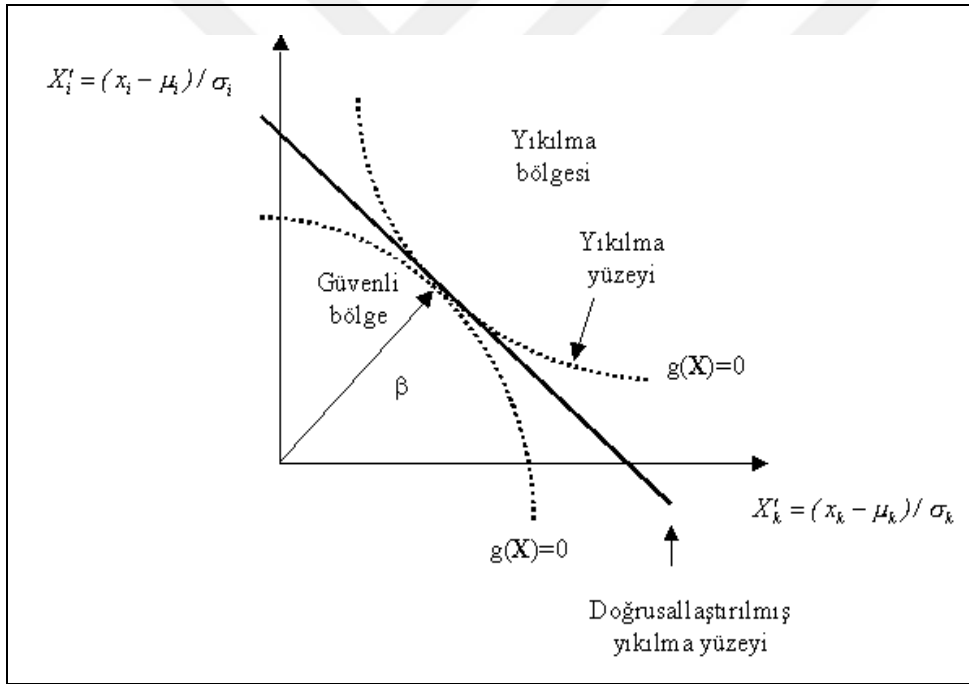
Bu çalışmada, taş dolgu mahmuzlar için güvenilirlik indeksi ikinci düzey olasılıksal yöntemlerle birlikte genetik algoritma ile belirlenmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Taş dolgu mahmuzlar için "limit durum" belirlenen bir hasar düzeyinin yapının tümüyle yıkılmasına neden olmayacak, ancak performansını yerine getiremeyecek şekilde aşılması hali olarak tanımlanmıştır (Ergin, Balas, 1998).

Bir yapının emniyeti yapının dayanımı ile birlikte yapıya etkiyebilecek yüklerin bileşkesine bağlıdır. Herhangi bir hasar şekli için oluşturulacak performans fonksiyonu, yük ve dayanım parametrelerini içerir ve bu değişkenler rassal değişkenler olarak adlandırılır. Yük değişkenleri, yapıya etkiyen yük veya yüklere karşılık gelirken; dayanım değişkenleri, yapıyı oluşturan eleman veya elamanların dayanım/yük taşıma kapasitelerini ifade etmektedir ve yapının performansı, matematiksel olarak bu değişkenlere (x) bağlı olarak kurulan performans fonksiyonu $g(x)=g(\text{yük değişkenleri, dayanım değişkenleri})$ ile ifade edilir. Tasarım değişkenlerinin vektörel bileşkesi yapının veya sistemin performansının bir ölçüsüdür. Taş dolgu mahmuzlar için esas yük değişkeni tasarım koşullarına (fırtına, tsunami veya gel-git) bağlı olarak belirlenen dalga yüksekliği olup genel olarak yapısal sistemi tanımlayan değişkenler (taş çapı, eğim vb) dayanım değişkenleri olarak adlandırılırlar (Balas, Balas, 2002).

Vektörel olarak $\{X\}$ şeklinde tanımlanabilen tasarım parametreleri yardımıyla, limit durumdaki yıkılma fonksiyonu aşağıdaki şekilde verilebilir:

$$g(X_1, X_2, X_3 \dots X_n) = 0 \quad (4.5)$$

Geometrik olarak bu eşitlik yıkılma yüzeyine karşılık gelmekte ve $g \leq 0$ için yıkılma bölgesini; $g > 0$ için ise emniyetli bölgeyi tanımlamaktadır. (4.5) nolu eşitlikle tanımlanan limit durum yıkılma yüzeyi olarak da tanımlanır ve “dönüştürülmüş değişkenler takımı” için yıkılma bölgesini ($g \leq 0$) güvenli bölgeden ($g > 0$) ayıran çok boyutlu bir yüzeye karşılık gelir. Şekil 4.2.’de iki değişkenli bir performans fonksiyonunun değişimi örnek olarak verilmiştir. Limit durum yüzeyinin koordinat sisteminin başlangıç noktasından olan uzaklığı (β) güvenli bölgeyi belirler ve bu uzaklığın minimum olduğu nokta yıkılma yüzeyi olarak tanımlanır. Yapının güvenilirlik indeksi olarak da tanımlanan söz konusu minimum uzaklık, en olası yıkılma noktası olarak kabul edilir ve yapının güvenilirliğinin belirlenmesinde ölçüt kabul edilir. Performans fonksiyonları genellikle doğrusal değildir ve bu nedenle yıkılma yüzeyi konveks veya konkav bir özellik gösterir (Şekil 4.2.).



Şekil 4.2. İki değişkenli performans fonksiyonu için güvenilirlik indeksi

Taş dolgu mahmuzların tasarımında yük ve dayanım değişkenleri arasında stabilite şartını veren yarı-deneysel eşitliklerden yararlanılmakta olup Hudson (1953) eşitliği yaygın olarak kullanılan eşitliklerden biridir. Limit durum için yıkılma fonksiyonları ve kullanılan parametreler Hudson eşitliği için sırasıyla g : limit durum fonksiyonu, Y : eşitlikteki belirsizliklere karşılık gelen stokastik değişken, H_s : yapının topuğundan itibaren belirgin dalga yüksekliği (m), θ : koruma tabakasının eğimi, D_{n50} : koruma tabakasının nominal taş

çapı (m), K_D : hasar seviyesine bağlı boyutsuz stabilite katsayısı, Δ : koruma tabakasına ait göreceli taş yoğunluğu olmak üzere:

$$g = Y \Delta D_{n50} (K_D \cot \theta)^{1/3} - H_s \quad (4.6)$$

olarak verilebilirler. Bu durumda, yıkılma olasılığı (P_f) aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$P_f = \int \int \int_{g \leq 0} \dots \int f_{x_1, \dots, x_n}(x_1, \dots, x_n) dx_1, \dots, dx_n \quad (4.7)$$

Burada, f_{x_i} : performans değişkenlerine ait olasılık yoğunluk fonksiyonları olarak tanımlanabilir. Ancak, bu tür yaklaşımlarda güvenirliliğin ($P_r = 1 - P_f$) belirlenebilmesi için performans fonksiyonuna ait değişkenlerin ortak olasılık yoğunluk fonksiyonlarının ortaya çıkarılması gerekmekte ancak pratikte, çoğunlukla istatistiki bilgiler ortalama ve standart sapma gibi parametrelerle sınırlı kalmaktadır. Bu sebeple üst seviye (III. düzey) olasılık yaklaşımlarının yerine ikinci düzey yaklaşımlar daha yaygın olarak kullanılmaktadır.

4.2.1. İkinci düzey olasılık yöntemleri ikinci moment yaklaşımı

İkinci düzey olasılık yöntemlerden ikinci moment yaklaşımında, güvenirlilik indeksi (β), “dönüştürülmüş parametreler takımı” olan Z için yıkım yüzeyi üzerindeki herhangi bir noktanın indirgenmiş eksen uzayının başlangıç noktasına olan uzaklığını tanımlayan amaç fonksiyonunun, $g(Z)=0$ kısıtlayıcı koşulunda, optimizasyonu ile iteratif olarak belirlenir. Bu koşullarda bulunan, uzaklık değeri, en olası yıkım noktasını temsil etmektedir.

$$\beta = \min(\mathbf{Z} \mathbf{Z}^T)^{1/2} \quad (4.8)$$

$$\mathbf{Z} \in G \quad (4.9)$$

$$G = \{ \mathbf{Z} \mid g(\mathbf{Z}) = 0 \} \quad (4.10)$$

İkinci moment birinci aşama yaklaşımında, güvenirlilik indeksi performans fonksiyonunun, birinci aşama (Taylor serisi açılımıyla) yaklaşık ifadesine göre linerleştirilmiş yıkılma yüzeyi üzerinde (Şekil 4.2.), iteratif olarak belirlenir ve (*) indisi yıkım yüzeyindeki değerleri belirtmek koşuluyla aşağıdaki şekillerde ifade edilebilir (Melchers, 1999).

$$G \approx \sum_{i=1}^n (Z_i - Z_i^*) \left(\frac{\partial g}{\partial Z_i} \right)_* \quad (4.11)$$

$$Z_i^* = -\alpha_i^* \beta \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4.12)$$

$$\alpha_i^* = \frac{\left(\frac{\partial g}{\partial Z_i}\right)_*}{\left(\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial g}{\partial Z_i}\right)_*^2\right)^{1/2}} \quad (4.13)$$

Burada, α_i yönsel kosünüs değerleri ve n: temel değişken sayısıdır.

4.2.2. Monte Carlo yöntemi

Monte Carlo yöntemi, deneysel ve istatistiksel problemlerinin çözümüne rastgele sayılarla yaklaşımlara verilen genel bir isimdir. Bu yöntem, özellikle 1930'lardan sonra hızla gelişmeye başlamış bir tekniktir. Los Alamos laboratuvarlarında nükleer silah geliştirilmesi projesinde çalışan bilim adamları tarafından ilk kez ortaya atılmıştır. Bu metodlar olasılık teorisine tabidir. Metodun bir probleme uygulanması, problemin tesadüfi sayıları kullanarak simülasyon edilip hesap edilmek istenen parametrenin bu simülasyonlarının sonuçlarına bakılarak yaklaşık hesaplanması fikrine dayanır. Metot da basit sayısal integral hesaplama yöntemlerinden, günümüz istatistik teorisinin yoğun hesaplama gerektiren Bayes çıkarsama yöntemlerini pratik ve rutin olarak uygulanabilir hale getiren modern simülasyon tekniklere ulaşan bir gelişim izlemiştir. (Leimddorter, 1964, Ürün, Menkinli, 2003) Simülasyon kelimesinin modern anlamda kullanılışı 1940 yılı sonlarında John Von Neumann ve Stanislaw Ulam 'ın çalışmalarına Monte Carlo Simülasyonu adını vermeleri ile başlar (Ulam, Metropolis, 1949). Monte Carlo simülasyonu, duyarlılık metodu, momentler metodu ve tam cebirsel çözümleme gibi risk analizi yöntemlerinden birisidir. Sonuçları diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında, riski daha iyi temsil etmesi nedeniyle mühendislik, eğitimde ölçme ve değerlendirme, askeri savunma teknolojisi, fen ve mühendislik alanında, nükleer teknolojisi ve uzay sisteminde, istatistiksel analiz ve sosyoekonomik sahalarda sıkça başvurulan bir yöntemdir (Lux, Koblinger, 1991).

Genel anlamda benzetim, gerçeğin temsil edilmesi şeklinde tanımlanabilir. Simülasyon'un Amacı, bir gerçek hayat sistemini girdi ve çıktılarıyla matematiksel olarak ifade etmek gerçek sistemi kurulan model üzerinden tanıyıp araştırmak, değişik kararları ve seçenekleri gerçek sistemde hiçbir değişiklik yapmadan deneyebilmektir. Bu teknik sayesinde analitik işlemleri çok karışık ve deneysel işlemleri de çok pahalı olan nükleer savunma problemleri başarı ile çözülmüştür. 1950 yılı başlarında sayısal bilgisayarların gelişimi ile simülasyon kelimesi başka anlamlar da kazanmıştır. Bu sayede sosyal bilimciler de fizik kimyacılar

gibi laboratuvar deneyimlerine benzer deneyleri bilgisayarda gerçekleştirme olanağı bulmuştur. Josep H.Mice simülasyonu, bir sistemin kendisi üzerinde doğrudan denemeler yapmak veya bu sistem ile ilgili bir problemin analitik çözümünü bulmak yerine sistemin modelini kurup denemelere girişme anlamında kullanılmıştır (Foster, Artur, 1982).

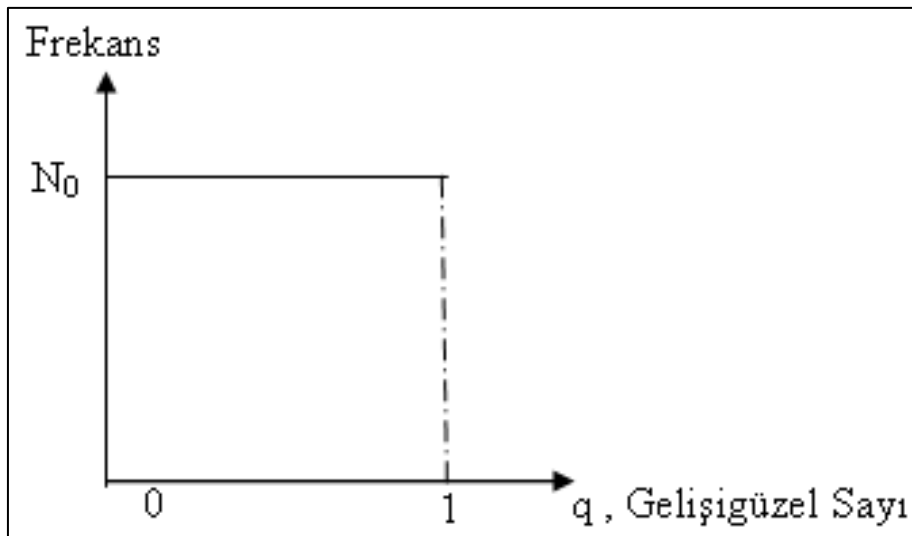
Monte Carlo tekniği, özel bir denemede ya da bir simülasyon çalışmasında bir ya da daha çok olasılık dağılımından rasgele sayılar seçme tekniğidir. Yöntem daha sonra çoklu integral değerlendirme problemleri gibi oldukça karmaşık olmayan problemlerin çözümüne kolaylıkla adapte edilmiştir. Bazı bilimciler yöntemin sadece varyans azaltma tekniklerinin örnekleme işlemlerinde kullanılması şeklinde sınıflandırılmasını önermişlerdir. Buna rağmen yöntemin bugünkü kullanımı, genellikle olasılık dağılımlarından rasgele değerlerin seçimi şeklindedir (Haçerlioğulları, 2006).

Geçmiş uygulamalarda şans oyunları bir simülasyon tekniği olarak adlandırılmış olmasına rağmen aralarında belirgin farklılıklar olduğu kesindir. Şans oyunu, oyuncuların faaliyetlerinin bir sonucu olarak bir modelin davranışını gözlemek ve karar vermek için bir oyun modelinin kullanılmasıdır (Haçerlioğulları, 2006).

Monte-Carlo, şans oyunları ve model örnekleme yöntemlerini içermektedir. Simülasyon tekniklerinin en büyük dezavantajı, Monte-Carlo , şans oyunları ve model örneklemesinde var olan düzgün bir terminolojiden yoksun olmasıdır. Buna karşılık uygulanabilir oldukları durumlarda, bir mühendis, bir ekonomist, bir yöneylem araştırmacısı veya bir işletme analisti görevini kolaylıkla üstlenebilir. Herhangi bir amaç için geliştirilen ve çalıştırılan bir simülasyon modeli kontrol edebilir koşullar altında sistemin dinamik davranışlarının kontrol altına alınmasına imkan sağlar. Daha güzel bir ifade ile, simülasyon teknikleri, ilgili problemlerinin analizinde bir laboratuvar hizmetini üstlenir. Simülasyonun ilk kullanımları, Joseph H. Mice ve Morgenthaler'in tanımlarına uygun olarak, mühendislik ve bilimsel çalışmalarda oldukça yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Literatürde, bu tür simülasyon modellerine Analog Simülasyon modelleri adı verilmektedir. Analog model, bir özelliğin benzeyen bir başka özellikle simgelendiği modellerdir. Bu tanıma göre analog simülasyonlar, kesin olarak kendisine benzeyen diğer bir sistemi temsil etmek için fiziksel bir sistemi kullanan simülasyonlardır. Ekonomide, işletmelerde ve diğer sosyal bilimlerde kullanılan simülasyon teknikleri, dinamik bir süreci temsil eden sayısal bir model üzerinde denemeler yapmayı içerir. sistemin Değişkenler arasındaki etkileşimi simülasyon

modellerinde gözlemek daha kolaydır. Ancak yoğun bilgisayar kullanımını gerektirir. Gerçek sistemden toplanan bilgiler, bilgisayarda geliştirilen modellere uygulanarak sayısal birtakım sonuçlara ulaşmak hedeflenir. Bunların değerlendirilmesi ve yorumlanması yapılarak sistem performans ölçütlerine ait birtakım tahminlerde bulunulur. Simülasyon modelleri aracılığı ile en kötü durum senaryoları da incelenebilir. Simülasyon modeli, sadece matematik denklemlerine değil, denemelere dayanır ve model optimum sonuçlar ortaya çıkarmaz fakat simülasyon modelleri yardımı ile alternatif çözümler ortaya konarak, optimum sonuca en yakın çözüm seçilir (Foster, Artur, 1982).

Monte carlo metodunda sayısal olarak bir deneyi veya olayı taklit etmek için temel araç 0-1 arasında değerler alan düzgün dağılımlı sayıları kullanmaktır. Bu sayıları q ile gösterelim. Bu sayılar bir bilgisayar programı ile türetilir. Belli bir ölçü veya deneyde bulunabilecek değerler kümesi bir gelişigüzel sayı kümesi oluşturur. Gelişigüzel sayılar kümesinde herhangi bir sayının gelme olasılığı ötekilerden farklı olabilir. Olasılıklar aynı ise böyle bir kümeye düzgün dağılımlı gelişigüzel sayılar kümesi denir (Hammerssley, 1960). Gelişigüzel Sayılar her bir rakamı aynı olasılıkla seçilmiş ve birbirinden bağımsız sayılardan oluşmuş bir kümenin elemanlarıdır. Monte Carlo Metodunda çok sayıda gelişigüzel sayı gerektiğinden bu sayılar bilgisayarda üretilir. Bilgisayarda tümüyle belirli bir yonteme göre ardı ardına oluşturulan bu sayılar gerçekte gelişigüzel olmamakla birlikte gelişigüzel sayıların istatistiksel özelliklerini içerirler. Bu formülden elde edilen gelişigüzel sayı dizisine, “sözde gelişigüzel sayılar” denir Şekil1de q gelişigüzel sayılar karşın, bu sayıların $N(q)$, sıklık (frekans) dağılımı görülmektedir (Hançerlioğulları, 2006).



Şekil-4.3. Gelişigüzel sayıların frekansa bağlı grafiği

Gelişigüzel Sayılar ‘Mixed congruential method’ formülünden elde edilebilir;

$$P_i = \text{tamsayı } x (a_{xi}/b_{xi})$$

$$x_{i+1} = a_{xi} - b_{ri}$$

$$q_i = x_{i+1} / b$$

Bu yöntemin algoritması; $x_i = ax_{i-1} \pmod{m}$ matematiksel bağıntıyla gösterilebilir. Burada x_i , pozitif tam sayı dizisi olup başlangıç değeri x_0 dir. a ve b ise pozitif bir tam sayılardır. Bu sayılardan daha büyük başka bir pozitif tamsayı ise m dir. x_i pozitif tamsayılar dizisi, $x_{i-1}a$ ile çarpılıp çıkan sayının m ’ ye göre modu hesaplanarak elde edilir (Briesmeister, 1993, Spanier, 1959).

$$x_i = (a_{x_{i-1}} + c) \pmod{m}$$

‘Mixed congruential method’ adı verilen yöntemde başlangıç değeri olarak x pozitif bir tamsayı alınır. Üretilen sayı dizisinin her sayısı m ’ ye bölünerek $0 - 1$ aralığındaki sayılardan o yeni bir dizi elde edilir. a ve c iki tam sayı m ’ de bu sayıların ikisinden de büyük bir tamsayıdır. a, b, c, m ve x_0 ’ in farklı değerleriyle üretilen diziler gelişigüzedir ve bir x_i dizisi, x_0, a, c, m ile tümüyle belirlenir. Dizinin en çok m adet farklı sayıdan oluştuğu ve sonuçta kendisini tekrarlayacağı açık olmakla birlikte periyot, m, a ve c ’ nin uygun değerleri seçilerek mümkün olduğunca büyütülebilir (Morton, 1956).

Şimdi de, $a \leq x \leq b$ aralığında, her bir x sonucunun ortaya çıkma olasılığı, $f(x)$ sıklık fonksiyonu ile belirlenen bir olayı taklit etmek isteyelim. Olayda sonucun x ile $x + dx$ arasında bir değer alma olasılığı,

$$P(x)dx = f(x)dx \int_a^b f(x)dx \quad (4.14)$$

Burada, $P(x)$ fonksiyonuna Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu adı verilir.

$Q(x)$, Toplam Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu ise,

$$Q(x) = \int p(x')dx \quad (4.15)$$

şeklinde tanımlanır.

$a \leq x \leq b$ aralığındaki her x değerine karşılık $Q(x)$, toplam olasılık yoğunluk fonksiyonu $0 - 1$ aralığında gelişigüzel değerler alır. $Q(x)$ değerlerinin ortaya çıkma sayısı yani sıklık fonksiyonu düzgün bir dağılım gösterir. O halde $P(x)$ ’i T ye eşitleyebiliriz,

$$T = Q(x) \quad (4.16)$$

I, II, III denklemlerini kullanarak Temel Monte Carlo ilkesine ulaşabiliriz.

$$T = \int_a^x f(x')dx' / \int_a^b f(x)dx \quad (4.17)$$

elde edilir

Denklem (4.17) Temel Monte Carlo İlkesi olarak bilinir. Denklem (4.17) den X tersine çözümlerse T ye bağlı olarak,

$$X = P^{-1}(T) \quad (4.18)$$

ters dönüşüm denklemi elde edilir.





5. TARTIŞMA

Bu çalışmada birinci merteye ikinci moment yaklaşımıyla güvenilirlik indeksi, Mersin yat limanı için verilen parametreler kullanılarak (Balas, 1998) tahmin edilmiştir. Değişkenler standart değişkenlere indirgenmiş; belirgin dalga yüksekliği “Rosenblatt dönüşümü” ile eşdeğer normal dağılıma modellenmiştir; K_D katsayısı 1,0 olarak alınmıştır. Değişkenlere ait istatistiki özellikler Çizelge 5.1.’de verilmiştir. Güvenirlik indeksi, ikinci moment yöntemi ile doğrudan ve iteratif olarak belirlenmiştir. Yıkılma olasılıkları ve değişkenlerin en olası göçme yüzeyini temsil eden değerleri Çizelge 5.2.’ün birinci ve ikinci satırlarında her iki yöntem için verilmiştir.

Çizelge 5.1. Tasarım değişkenlerine ait istatistiki özellikler

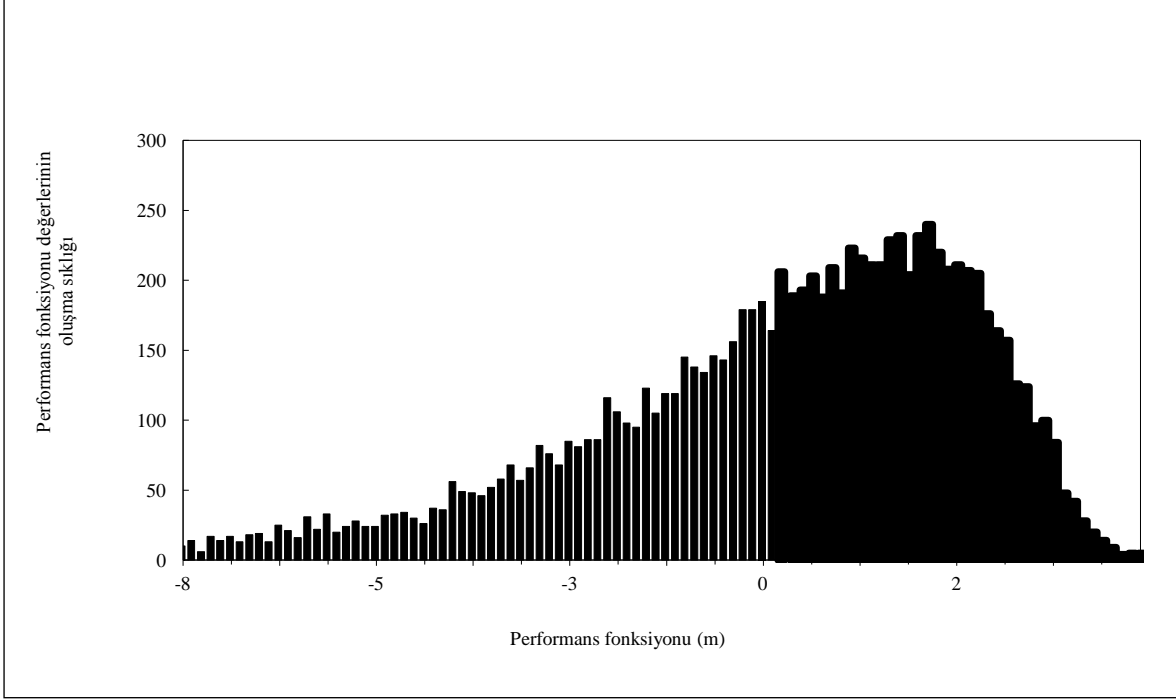
Değişken (x_i)	Olasılık Dağılımı	Ortalama (μ_{xi})	Standart sapma (σ_{xi})
Y	Normal	1,0	0,18
Dn50	Normal	1,44 m	0,06 m
Hs	Fisher-Tippet I	2,88 m	0,96 m
Δ	Normal	1,62	0,05
Cot α	Normal	2,50	0,30

Çizelge 5.2. Değişik yöntemlerle elde edilen yıkılma olasılıkları ve tasarım değişkenlerinin yıkılma yüzeyine ait değerleri

Yöntem	β	P_f (%)	$1-P_f$ (%)	Y	D_{n50} (m)	Δ	Cot α	H_s (m)
İkinci Moment (Doğrudan çözüm)	0,4078	34,17	65,83	0,962	1,618	1,437	2,485	3,029
İkinci Moment (İteratif çözüm)	0,4040	34,31	65,69	0,964	1,618	1,437	2,487	3,037
Monte Carlo Benzeşimi	-	45,74	54,26	-	1,618	-	-	-

Yapının yıkılma olasılığı, Monte Carlo Benzeşimi (Melchers, 1999) ile belirlenmiştir ve bu aşamaya ait sonuçlar Çizelge 5.2.’nin üçüncü satırında verilmiştir. Monte Carlo Benzeşimi

yönteminde iterasyon sayısı 10 000 olarak alınmıştır. Rassal bir şekilde olasılık dağılımlarına bağlı olarak tasarım değişkenlerinin değerleri yıkılma olasılığını vermektedir. Yıkılma olasılığı, performans fonksiyonunun sıfır ve daha küçük değerler alma sayısının toplam gözlem sayısına oranıdır. İterasyon sürecinde, performans fonksiyonunun aldığı değerlerin gözlenme sıklığı Şekil 5.1.' de verilmiştir. Burada, yıkılma olasılığı, sıfır ve daha küçük değerlerin gözlenme sıklığı olarak belirtilmiştir.

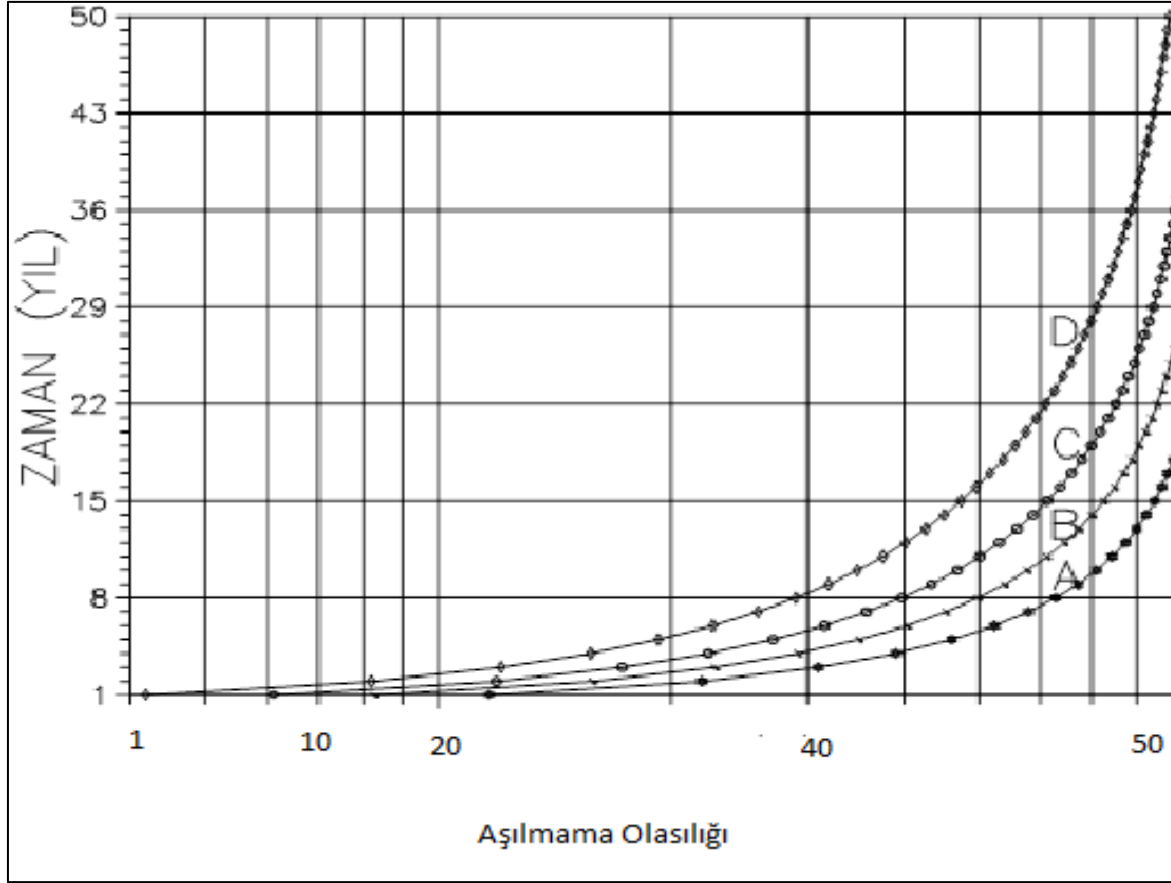


Şekil 5.1. Monte Carlo Benzeşimi sonucunda elde edilmiş performans fonksiyonu değerlerinin gözlenme sıklığı

Yıkım yüzeyinin ya da güvenilirlik indeksinin eksen uzayının başlangıç noktasından uzaklaşması veya yaklaşması, tasarım açısından, güvenli bölgeyi belirler. Bu nedenle de yıkım yüzeyinin konumu, sistemin güvenilirliğini etkilediğinden adı geçen uzaklık güvenilirliğin belirlenmesinde ölçüt alınır.

Yapısal güvenilirlik analizlerinde karşılaşılan en önemli problemlerin başında yerel minimum noktalarının, güvenilirlik indeksinin belirlenmesinde etkin rol oynamasıdır. Bu da gerçek yıkılma yüzeylerini temsil etmediğinden yapının beklenen seviyelerin de altında yıkılabilmesine sebebiyet vermektedir.

Mahmuz yapısının tüm hasar seviyeleri için güvenilirliğe dayalı analizi yapılmış olup sonuçları Şekil 5.2. de bir grafik olarak verilmektedir.



Şekil 5.2. Monte Carlo Benzeşimi Performans fonksiyonu hasar limit durumu, zamana bağlı aşılmama olasılıkları (D: (0-5)% hasar durumu, C: (5-10)% hasar durumu, B: (10-15)% hasar durumu, A: (15-20)% hasar durumu)



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kıyı mahmuzu gibi deniz yapılarının tasarımında kullanılan en önemli parametre olan dalga yüksekliği karada yapılan rüzgar ölçümlerinden elde edilmektedir. Bu durum kıyı topoğrafyası, yapılaşması, ormanlar, gibi aslında dalga oluşumunda etkisi olmayan etkenlerin hesaplara dahil olması ve hesapların gerçekten uzaklaşmasını sağlamaktadır. Öncelikle rüzgar ölçümlerinin karalar yerine denizde kurulacak istasyonlarla ölçülmesi, bunların denizde yapılacak dalga ölçümleri ile korale edilerek bölgesel bazda incelenmesi faydalı olacaktır.

Kıyı yapılarının inşasında kullanılan doğal yapı gereçlerinin özellikleri de yapıların performansı üzerinde oldukça etkilidir. Yapıyı oluşturan tabakalar için tasarlanan eleman büyüklükleri dar bir aralıkta seçilmektedir (10-12 ton, 6-8 ton gibi). Bu aralığın dar olması müteahhitlik ve kontrollük hizmetlerinin oldukça yüksek kalitede olmasını gerektirmektedir. Oysa ülkemizde bu hizmetlerin kalitesinin yüksek olduğunu söylemek oldukça güçtür. Bu değerlerin imalat sırasında ülkemiz şartlarında nasıl oluştuğunun tespiti oldukça önemlidir. Zira buradaki yüksek sapmalar, hasar olasılıklarını üst değerlere taşıyacaktır. Bunun dışında yapı için kullanılacak doğal yapı gereçlerinin mühendislik özellikleri de (Aşınma dayanımı, donma çözülme dayanımı v.b.) ayrıntılı olarak incelenmeli, inşaatta kullanılmış olan kayaların ağır deniz şartlarında zaman içinde aşınmaları ve parçalanmaları sonucunda proje safhasında öngörülen boyutlarından çok daha küçük hale gelmesi ile hasar riskleri artacaktır.

Kıyı yapıların performansında etkili olan bir diğer faktör de yapının ön görülen geometriye uygun olarak inşa edilebilmesidir. Kaya dolgu kıyı yapıları her ne kadar elemanların rastgele yani özel bir düzen aranmaksızın nakliye aracından dökülmesi ile imal ediliyor olsalarda, tasarımları belirli geometrik şartların sağlanacağı kabulü ile yapıldığından bu kabullerden çok uzaklaşılması gerekmektedir. Örneğin yapı için seçilen şev açısının, tabakaların kalınlığının ve eleman adedinin projeler uygun yapılması gerekmektedir. Bu değerlerde oluşacak sapmalar ciddi hasar risklerini getirecektir. Bu değerlerin ülkemiz koşulları için sahada yapılacak çalışmalarla belirlenmesi, bu aralıklarında güvenilirliğe dayalı yöntemlerle hesapta kullanılması risklerin doğru belirlenmesinde faydalı olacaktır.

Kıyı yapıları için beklide en az dikkat edilen konu yapının üzerine oturtulacağı temel zeminin özellikleri ve bu özelliklerin tasarıma yansıtılması konusudur. Yapıların büyük

bölümü temel zemini olarak kayalık ve ya iyi drenaj sağlayan çakıllı zeminler bulamamaktadır. Genellikle ince kum ve daha ince malzemeleri içeren zeminler üzerine inşa edilmektedirler. Bu da yapı içine giren suyun dışarı çıkarken temel altındaki ince zemini de birlikte sürüklemesi sonucu hasarların oluşmasına olanak sağlar. Bu durumla karşılaşmamak için projelendirme aşamasında temel zemini ile ilgili gerekli incelemeleri yapmak ve özellikle temel üzerindeki tabakaları temel zeminin taşınmasını önleyecek gradasyonda oluşturmak gerekmektedir.

Bu çalışmada, kıyı mahmuzlarında değişik tasarım aşamalarında Türkiye de ilk kez olmak üzere güvenilirlik analizi başarıyla uygulanmış ve mevcut yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Deterministik yöntemlerle yapılan tasarımlarla inşa edilen kıyı mahmuzlarının ekonomik ömürleri içinde hasar almaksızın ((0-5)% hasar durumu) görevlerini yapabilmeleri beklenmektedir. Oysa güvenilirliğe dayalı analiz yöntemleri ile kontrol edildiğinde bu 50 yıllık ekonomik ömür içinde beklenen hasarsızlık durumunun %35 ila %45 olasılıkla aşılacağı ortaya çıkmaktadır. Bu ciddi bir olasılığı işaret etmekte olup, hesaplamalara girdi olarak alınan verilerdeki olası belirsizliklerin yapı güvenliği üzerinde ciddi sonuçlar doğurabileceği ortaya konmaktadır.

Yukarıdaki sonuçlar, Çizelge 4.3.'de verilen tablodaki ortalama değer ve standart sapmalar ışığında elde edilmiştir. Hesaplara esas olan bu ortalama değerlerin ve standart sapmaların gerçeğe yakınlığı sonuçlarında gerçekçi olmasını sağlayacaktır. Bu noktada karşımıza çıkan en büyük sorun kabul ettiğimiz bu değerlerin gerçekte nasıl olduğunun tespiti ile ilgili yeterli çalışmanın ülkemiz için yapılmamış olmasıdır. Bu çalışmaların sahada yapılarak hesaplara gerçeğe daha yakın olarak yansıtılması yapılan tasarımların sonucunda ciddi kaynaklar harcanarak inşa edilen yapıların kendilerinden beklenen performansı sağlaması için önemlidir.

KAYNAKLAR

- Ang, A. H. S., Tang, W. H. (1975). *Probability Concepts in Engineering Planning and Design*, USA: John Wiley and Sons.
- Balas, C. E., Ergin, A. (2002). Reliability-Based Risk Assessment in Coastal Projects: Case Study in Turkey, *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, ASCE, 128, 52-61.
- Balas, C. E., Koç, L. (2002). *Risk Assessment of Vertical Breakwaters – A Case Study in Turkey*, *China Ocean Engineering*, 16(1), 123-134.
- Balas, C.E., Balas, L. (2002). Risk Assessment of Some Revetments in Southwest Wales, United Kingdom, *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, 128(5).
- Balas, C.E., Ergin, A. (2000), Sensitivity Study for the Second Order Reliability-Based Design Model of Rubble Mound Breakwaters, *Coastal Engineering Journal*, 42 (1), 57-86.
- Balas, C.E. (1998). *A Risk Management Model for Coastal Projects*, Unpublished Ph.D. Thesis, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Middle East Technical University, Ankara, Turkey.
- Balas, C.E., Ergin, A. (1997, November). *Reliability-Based Risk Assessment Model for Coastal Projects*, Paper presented of the Third International Conference on the Mediterranean Coastal Environment (MEDCOAST'97), Qawra, Malta , 2, 943-955.
- Balas, C.E., Ergin, A., Yüccemen, S.M. (1995, November). *Comparison of the Reliability-Based and Deterministic Design Procedures for Rubble Mound Breakwaters*, Paper presented of the Second International Conference on the Mediterranean Coastal Environment (MEDCOAST 95), Tarragona, Spain, 3, 1767-1782.
- Bayazıt, M. (1996). *İnşaat Mühendisliğinde Olasılık Yöntemleri*, İstanbul: İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, 244.
- Briesmeister, J. (1993). *Monte Carlo N- Particle Transport Code System*, RSIC Computer Code Collection MCNP4A Los Alamos National Laboratory, New Mexico.
- Burcharth, H. F. (1992). *Reliability Evaluation of a Structure at Sea, Proc., Short Course on Design and Reliability of a Coastal Structures: Structural Integrity*, Italy, Venice: A. Lamberti, ed., Tecnoprint Snc, 511-545.
- Deo, M.C., Kumar, N.K., (2000). Interpolation of Wave Heights, *Ocean Engineering*, 27, 907-919.

- Ergin, A., Balas, C.E. (1998), *Implementation of a Reliability-Based Design Model in Turkey*, Paper presented of the 17th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, presented on CD-ROM, Lisbon, Portugal, 98-1351, 5-9.
- Ergin, A., Balas, C.E. (1997), *Failure Mode Response Functions in Reliability-Based Design of Rubble Mound Breakwaters*, Paper presented of the Seventh International Offshore and Polar Engineering Conference, ISOPE'97, Honolulu, U.S.A. ,3, 861-868, 25.
- Ergin, A., Özhan, E. (1986). Wave Hindcasting Studies and Determination of Design Wave Parameters for 15 Sea Regions; *METU 35*, Ankara, Turkey.
- Foster, D.G., Artur, E. D. (1982). Average Neutronic Properties of Prompt Fission Products, *LANL Report LA-9168-MS*. USA.
- Hançerlioğulları, A. (2006) Monte Carlo Simülasyon Metodu ve MCNP Kod Sistemi. *Kastamonu Eğitim Dergisi* 14, 2, 545-556
- Hammersley, J.M. (1977) Monte Carlo Methods for solving multivariable problems. *Annals of the Newyork Academy of Sciences*, 86, 844-874.
- Hsu, S. A. (1985). *On the Correction of Land Based Wind Measurements for Oceanographic Application*, Paper presented of the 22th. International Conference on Coastal Engineering, Sydney.
- Hudson, R. Y. (1953). *Wave Forces on Breakwaters*, Transactions of the American Society of Civil Engineers, 11B, USA.
- Jeong, H. K., Sheno, R. A. (2000) Probabilistic Strength Analysis of Rectangular FRP Plates Using Monte Carlo Simulation, *Computers and Structures*, 76, 219-235.
- Leimddorter, A. (1964) *On the Transformation of the Transport Equation for Solving Deep Penetration Problems by the monte carlo metod*, Gothenbers: Trans.Chalmers University of Technology, 286.
- Lux, I., Koblinger, L. (1991) *Monte Carlo Particle Transport Methods, Neutron and Photon Calculations*, USA: CRC Press, Boca Raton.
- Melchers, R. E. (1999), *Structural Reliability Analysis and Prediction*, New York: John Wiley and Sons Inc., 456.
- Morton, K.W. (1956) On the treatment of monte carlo methods in textbooks. *Mathematical Tables and other Aids Computations*, 10, 223-224.
- Özhan, E., Abdalla, S. (2000), *Türkiye Kıyıları Rüzgar ve Derin Deniz Atlası*, Ankara: Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Kıyı ve Liman Mühendisliği Araştırma Merkezi, 445.
- Schilling, R. J., Harris, S. L. (2000). *Applied Numerical Methods for Engineers*, USA: Brooks/Cole Publishing Company, 715.

- Spanier, J. (1959). Monte Carlo Methods and their application to neutron transport problems: *USAEC 195*, USA.
- SPM. (1984). *Shore Protection Manual*, Washington, USA: US army Corps of Engineers, 99.
- Ulam, S., Metropolis, N. (1949). The Monte Carlo Method, *American Statistical Association*, 44,335.
- Ürün, G., Menkinli, C.T. (2003) Applications of Monte Carlo Simulation in petroleum exploration and production as a method of risk analysis, *TPJD bulletin*, 5 (1).
- Van der Meer, J. W. (1988). *Rock Slopes and Gravel Beaches Under Wave Attack*, Delft, The Netherlands: Delft Hydraulics Publication, 396.
- Wang, S., Le Mehaute, B. (1983). *Duration* of Measurements and Long Term Wave Statistics, *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, ASCE, 109 (2), 236-247.
- Williams, A.T., Davies, P., Ergin, A., Balas, C.E. (1998). Coastal Recession and the Reliability of Planned Responses: Colhuw Beach, *The Glamorgan Heritage Coast, Wales, UK, U.S.A.: Journal of Coastal Research, Coastal Education and Research Foundation (CERF)*, 26, 72-79.
- WMO. (1988). *Guide to Wave Analysis and Forecasting*, Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization, 702, 172.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : TOZLU, Emrah Cem
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Ankara, 02.02.1976
Telefon : Mobil; 0 (533) 476 19 89
Elektronik Posta : cem@sepaproje.com



Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi /İnşaat Mühendisliği	Devam Ediyor
Lisans	Dokuz Eylül Üniversitesi /İnşaat Mühendisliği İnşaat Mühendisliği Bölümü	2000
Orta Öğrenim	İzmit Lisesi	1992

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2003-...	MET Proje Müh. Müş. Ltd. Şti.	Kurucu Ortak

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Bahçe İşleri