İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AÇIK DENİZ YAPILARI BAĞLAMA SİSTEMLERİNİN DİZAYNINDA BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİNİN UYGULANMASI

DOKTORA TEZİ

Ayhan MENTEŞ

Anabilim Dalı : Deniz Teknolojisi Mühendisliği

Programı : Deniz Teknolojisi Mühendisliği

NİSAN 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AÇIK DENİZ YAPILARI BAĞLAMA SİSTEMLERİNİN DİZAYNINDA BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİNİN UYGULANMASI

DOKTORA TEZİ

Ayhan MENTEŞ
(508032101)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 12 Mart 2010
Tezin Savunulduğu Tarih : 20 Nisan 2010

Tez Danışmanı : Doç. Dr. İsmail H. HELVACIOĞLU (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Oğuz YILMAZ (İYTE)
Prof. Dr. Muhittin SÖYLEMEZ (İTÜ)
Prof. Dr. Zekai ŞEN (İTÜ)
Prof. Dr. Ahmet Dursun ALKAN (YTÜ)

NİSAN 2010

Eşim Nurten'e,

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın, daha sonra yapılabilecek çalışmalar için bilim dünyasına ve araştırmacılara rehber olması ve katkıda bulunması benim için büyük bir gurur vesilesi olacaktır.

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında yardımlarını ve desteğini hiç bir zaman esirgemeyen, çalışmamın her aşamasında güven ve huzurla ilerlememi sağlayan ve yol gösteren değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. İsmail Hakkı HELVACIOĞLU'na en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmada emeği geçen, destekleyen ve değerli katkılarıyla tezin şekillenmesine yön veren tez izleme komitesi üyeleri Sayın Prof. Dr. Oğuz YILMAZ ve Prof. Dr. Muhittin SÖYLEMEZ'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam sırasında verdiği değerli bilgiler ve deneysel çalışmalar sırasında imal ettiği load-cell'ler ile büyük bir destek sağlayan Sayın Y. Doç. Dr. Yalçın ÜNSAN'a, yapılan deneylerde İTÜ Ata Nutku Model Deney Havuzunun kullanımına izin veren havuz müdürü Sayın Doç. Dr. Emin KORKUT'a, teknik destek sağlayan havuz personeline, yapılan deneylerde ve dalga cihazının kullanımı sırasındaki yardımlarından dolayı Sayın Doç. Dr. Barbaros OKAN ve Y. Müh. Hasan Barış KARAYEL'e, deneylerin resim ve video çekimlerindeki desteğinden dolayı mühendis Nalan EROL'a teşekkür ederim.

Bu çalışmanın bir bölümünde Strathclyde Üniversitesine yapılan akademik ziyaret sırasında, desteklerini esirgemeyen Sayın Dr. Osman TURAN, Prof. Dr. Atilla İNCECİK ve tüm akademik ve idari personele teşekkür ederim.

Doktora çalışmalarım sırasında finansal destek sağlayan Koç Vakfı, Tinçel Vakfı, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İTÜ Rektörlüğü ve Türk Loydu'na verdikleri maddi destekten dolayı da teşekkür ederim.

Sevgili arkadaşım Y. Doç. Dr. Devrim Bülent Danışman'a da, hiç bir zaman esirgemediği yardımlarından, verdiği destekten, cesaretlendirici sözlerinden ve tezin düzenlenmesindeki verdiği emekten dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca verdiği destek ve yönlendirmeler için de Sayın Doç. Dr. Aykut ÖLÇER'e teşekkür ederim.

Doktora tez çalışmalarım sırasında beni hep destekleyen ve cesaret veren sevgili arkadaşlarım Y. Doç. Dr. Şebnem HELVACIOĞLU, Y. Müh. Dr. Uğur Oral ÜNAL, Y. Müh. Burcu ÜNAL ve Y. Müh. Ceren BİLGİN GÜNEY'e teşekkür etmeyi de bir borç bilirim.

Bu tezin oluşumu ve yazımı sırasında her zaman yanımda olan, beni daima koşulsuz, çıkarsız ve sonsuz sevgisiyle saran ve anlayışıyla destekleyen hayat arkadaşım, sırdaşım ve biricik eşim Nurten MENTEŞ'e teşekkürü bir borç bilirim. Bu tez eşimden esirgemek zorunda kaldığım uzun ve yorucu bir zaman dilimini kapsayıp yazıldığı için, eşimin bir hediyesidir aynı zamanda.

Son olarak bu günlere gelmemde büyük emekleri olan, yaşadığım müddetçe sevgi ve desteklerini her zaman hissedeceğim ve emeklerinin karşılığını hiç bir zaman ödeyemeyeceğim sevgili aileme sonsuz minnetlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Mart 2010

Ayhan MENTEŞ
(Gemi İnş. Y. Müh.)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **V**
İÇİNDEKİLER ..... **VII**
KISALTMALAR ..... **IX**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **XI**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **XIII**
SAYFA ..... **XIII**
ÖZET ..... **XV**
SUMMARY ..... **XIX**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Tezin Amaç ve Kapsamı 5
1.2 Tez Planlaması 6
2. KARAR VERME VE BULANIK MANTIK **9**
2.1 Karar Verme 9
2.2 Karar Verme Türleri 15
2.2.1 Ölçüt sayısına göre karar verme türleri 15
2.2.2 Mevcut bilgi açısından karar verme türleri 16
2.2.3 Karar verici(ler) açısından karar verme türleri 16
2.3 Çok Öz Nitelikli Karar Verme Yöntemleri 17
2.4 Bulanık Küme Teorisi 18
2.5 Bulanık Çok Ölçütlü Karar Verme 25
2.6 Bulanık Sıralama Yöntemleri 26
2.7 Bulanık Çok Öz Nitelikli Karar Verme Yöntemleri 28
2.7.1 AHP yöntemi 29
2.7.2 Bulanık AHP yöntemi 33
2.7.3 TOPSIS yöntemi 38
2.7.4 Bulanık TOPSIS yöntemi 39
2.8 Önerilen Melez BÇÖNKV Yöntemi ve Yapısı 44
2.9 Örnek Uygulama – Pervane ve Sevk Sistemi Seçim Problemi 46
2.10 Sonuçlar 53
3. TANKER-ŞAMANDIRA BAĞLAMA SİSTEMİ RİSK ANALİZİ **55**
3.1 Risk Analiz Yöntemleri 57
3.1.1 Bulanık Hata Ağacı Analizi yöntemi 60
3.2 Bulanık Sayıların Bulanık Olasılık Skorlarına Dönüştürülmesi 62
3.3 Hassasiyet Analizi 63
3.4 Tanker-Şamandıra Bağlama Sistemi Risk Analizi Yöntemi 64
3.5 Sonuçlar 66
4. ÇOK NOKTALI BAĞLAMA SİSTEMLERİ VE ÇEVRESEL YÜKLER **67**
4.1 Tanker-Şamandıra Bağlama Sistemi Literatür Araştırması 69
4.1.1 Gemi hareketleri 69
4.1.2 Halat ve halat bağlama sistemleri 71
4.1.3 Bağlama sistemi tasarımı ve modellenmesi 73

4.2 Bağlama Sistemi Malzeme Seçimi 76
4.3 Statik Etkiyen Çevresel Yükler 81
4.3.1 Sabit rüzgar yükü 81
4.3.2 Sabit akıntı yükleri 83
4.3.3 Ortalama dalga sürüklenme kuvveti 84
4.4 Bağlama Sistemi Dinamiği 85
4.4.1 Bağlama sistemi dinamik analiz yöntemleri 86
4.4.2 Dalga frekansı etkileri (Birinci dereceden etkiler) 89
4.4.3 Düşük frekanslı ikinci dereceden dalga sürüklenme etkileri 91
4.4.4 Düşük frekanslı rüzgar etkileri 93
4.5 Sonuçlar 93
5. TANKER-ŞAMANDIRA BAĞLAMA SİSTEMİ DİZAYNI 95
5.1 Seçeneklerin Belirlenmesi 95
5.2 Çevre Koşullarının ve Terminal Bölgesinin Belirlenmesi 95
5.2.1 Terminal bölgesinin seçimi 96
5.2.2 Rüzgar karakteristikleri ve dalga iklimi 97
5.2.3 Akıntı özellikleri 102
5.3 Global ve Gemi Bazlı Koordinat Sistemleri 102
5.4 Tanker-Şamandıra Sisteminin Genel Karakteristikleri 103
5.5 Sistemin Matematik Modellemesi 104
5.6 Dinamik Hesaplamalar 104
5.6.1 OrcaFlex programı genel özellikleri 104
5.6.2 OrcaFlex programında bağlama sisteminin oluşturulması 108
5.7 Sonuçlar 122
6. ÇOK NOKTALI TANKER BAĞLAMA SİSTEMİ DENEYLERİ 125
6.1 Ata Nutku Model Deney Havuzu Deneyleri 125
6.1.1 Dalga cihazı ünitesi 125
6.1.2 Model deneyleri 126
6.2 OrcaFlex Programı Hesapları 132
6.3 Sonuçlar 135
7. UYGULAMA 137
7.1 Bulanık Çok Öz Nitelikli Karar Verme Yöntemi 138
7.1.1 Bulanık AHP yöntemi 138
7.1.2 Bulanık TOPSIS yöntemi 146
7.2 Risk Analizi Yöntemi 149
7.2.1 Klasik Hata Ağacı risk analizi 150
7.2.2 Bulanık Hata Ağacı risk analizi 155
7.2.3 Hassasiyet analizi 157
7.3 Sonuçlar 158
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 161
KAYNAKLAR 167
EKLER 187
ÖZGEÇMİŞ 189

KISALTMALAR

AAS	: Analitik Ağ Süreci (Analytical Network Process)
AHP	: Analitik Hiyerarşi Süreci (Analytic Hierarchy Method)
ALP	: Mafsallı Kule Tipi Yükleme Platformu (Articulated Loading Platform)
BAG	: Bulanık Ağırlıklandırma Göstergesi (Fuzzy Weighted Index)
BBA	: Bulanık Bayes Ağları (Fuzzy Bayesian Networks)
BÇÖNKV	: Bulanık Çok Öz Nitelikli Karar Verme (Fuzzy Multiple Attribute Decision Making)
BFY	: Beklenen Fayda Yaklaşımı (Expected Utility Theory)
BHA	: Bulanık Hata Ağacı Çözümlemesi (Fuzzy Fault Tree Analysis)
BKT	: Bulanık Küme Teorisi (Fuzzy Set Theory)
BNİÇ	: Bulanık Negatif İdeal Çözüm (Fuzzy Negative Ideal Solution)
BPİÇ	: Bulanık Pozitif İdeal Çözüm (Fuzzy Positive Ideal Solution)
CALM	: Katıneri Çapa Ayaklı Bağlama Şamandırası (Catenary Anchor Leg Mooring)
ÇAKV	: Çok Amaçlı Karar Verme (Multiple Objective Decision Making)
ÇÖKV	: Çok Ölçütlü Karar Verme (Multiple Criteria Decision Making)
ÇÖNKV	: Çok Öz Nitelikli Karar Verme (Multiple Attribute Decision Making)
ELECTRE	: ELimination Et Choix Traduisant la REalité : Elimination and Choice Expressing the Reality
ETA	: Olay Ağacı Çözümlemesi (Event Tree Analysis)
FFT	: Hızlı Fourier Transformu (Fast Fourier Transform)
FMEA	: Olası Hata Türleri ve Etki Çözümlemesi (Failure Mode and Effects Analysis)
FMECA	: Olası Hata Türleri ve Kritik Etki Çözümlemesi (Failure Mode and Critically Effects Analysis)
FPSO	: Yüzer Üretim, Depolama ve Boşaltma Gemisi (Floating Production Storage and Offloading)
GA	: Genetik Algoritma (Genetic Algorithm)

HA	: Hassasiyet Çözümlemesi (Sensitivity Analysis)
HAZOP	: Tehlike ve İşletilebilme ÇalışmalarıYöntemi (Hazard and Operability Study)
JSA	: İş Güvenlik Çözümleme Yöntemi (Job Safety Analysis)
KHA	: Klasik Hata Ağacı Çözümlemesi (Fault Tree Analysis)
KV	: Karar Verici (Decision Maker)
LPG	: Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (Liquefied Petroleum Gas)
MPM	: Çok Noktadan Bağlı (Multiple Point Mooring)
MZ	: Markov Zinciri (Markov Chain)
N, NE, S, SW	: Kuzey, Kuzeydoğu, Güney, Güneybatı (North, North east, South, South West)
PHA	: Başlangıç Tehlike Çözümleme Yöntemi (Preliminary Hazard Analysis)
PRA	: Birincil Risk Çözümleme Yöntemi (Preliminary Risk Analysis)
PROMETHEE	: Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations
SAL	: Tek Çapa Yükleme (Single Anchor Loading)
SALM	: Tek Çapa Ayaklı Bağlama Şamandırası (Single Anchor Leg Mooring)
SM	: Çok Noktadan Bağlı (Spread Mooring)
SPAR	: Tek Nokta ve Rezervuar (Single Point and Reservoir)
SPM	: Tek Noktadan Bağlı (Single Point Mooring)
TOPSIS	: İdeal Çözüme Benzerlik Tercih Sıralaması Tekniği (Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution)
YSA	: Yapay Sinir Ağları (Neural Network Simulator)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Karar verme matrisi. 11
Çizelge 2.2: Bulanık sıralama yöntemleri sınıflaması (Chen ve Hwang, 1992). 27
Çizelge 2.3 : Literatürdeki BÇÖNKV yöntemlerinin sınıflandırması. 30
Çizelge 2.4 : Saaty karar ölçeği. 31
Çizelge 2.5 : Rassal gösterge değerleri. 33
Çizelge 2.6 : Üçgen bulanık sayı dönüşüm ölçeği. 37
Çizelge 2.7 : Bulanık TOPSIS yöntemleri. 40
Çizelge 2.8 : Öz niteliklerin ikili karşılaştırma matrisi. 49
Çizelge 2.9 : Öz niteliklerin bulanık ikili karşılaştırma matrisi. 49
Çizelge 2.10 : Bulanık sentetik değerler. 50
Çizelge 2.11 : Tersi alınmış bulanık sentetik değerler. 50
Çizelge 2.12 : Toplam integral değerleri. 50
Çizelge 2.13 : Bulanık karşılaştırma matrisi. 50
Çizelge 2.14 : Normalize edilmiş bulanık karşılaştırma matrisi değerleri. 51
Çizelge 2.15 : Ağırlıklı normalize bulanık karşılaştırma matrisi değerleri. 51
Çizelge 2.16 : BPİÇ değerleri. 51
Çizelge 2.17 : BNİÇ değerleri. 52
Çizelge 2.18 : Pozitif ve negatif ayrım ölçümleri. 52
Çizelge 2.19 : Belirgin pozitif ve negatif ayrım ölçümleri. 52
Çizelge 2.20 : Toplam pozitif ve negatif ayrım ölçümleri. 52
Çizelge 4.1 : Sürüklenerek gömülen çapa örnekleri. 79
Çizelge 4.2 : Tutunma kapasitesi parametreleri. 80
Çizelge 5.1 : Tanker –şamandıra bağlama sistemi için bağlama seçenekleri. 96
Çizelge 5.2 : LPG tankerlerinin genel özellikleri. 103
Çizelge 5.3 : LPG tankerleri için standart malzeme karakteristikleri. 103
Çizelge 5.4 : LPG tankerleri için benzetim senaryoları. 104
Çizelge 5.5 : Şamandıra için uzunluk ve ağırlık tablosu. 109
Çizelge 5.6 : Ağırlık hesabı. 111
Çizelge 5.7 : OrcaFlex Programı ana tekne modeli genel özellikleri. 111
Çizelge 5.8 : Tanker C için maksimum gerilme değerleri. 117
Çizelge 5.9 : Tanker C için maksimum yer değiştirme miktarları. 117
Çizelge 5.10 : Rüzgar kuvvet ve moment değerleri. 118
Çizelge 5.11 : Akıntı kuvvet ve moment değerleri. 119
Çizelge 5.12 : Ortalama dalga sürüklenme kuvvet ve moment değerleri. 119
Çizelge 5.13 : Toplam kuvvet ve moment değerleri. 120
Çizelge 5.14 : 4 noktalı bağlama sistemi halat gerilmeleri (Yarı-statik hesap). 121
Çizelge 5.15 : 4 noktalı bağlama sistemi halat gerilmeleri (OrcaFlex hesap). 121
Çizelge 5.16 : 5 noktalı bağlama sistemi halat gerilmeleri (Yarı-statik hesap). 121
Çizelge 5.17 : 5 noktalı bağlama sistemi halat gerilmeleri (OrcaFlex hesap). 122
Çizelge 5.18 : 6 noktalı bağlama sistemi halat gerilmeleri (Yarı-statik hesap). 122
Çizelge 5.19 : 6 noktalı bağlama sistemi halat gerilmeleri (OrcaFlex hesap). 122

Çizelge 6.1 : Tasarım su çekiminde model ve gemi karakteristikleri. 127
Çizelge 6.2 : Baştan gelen dalgalarda gerilme değerleri (OrcaFlex). 133
Çizelge 6.3 : Baş sancak omuzluk dalgalarında gerilme değerleri (OrcaFlex). 134
Çizelge 7.1 : Çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemi seçenekleri. 139
Çizelge 7.2 : Öz niteliklerin değerlendirmesi. 139
Çizelge 7.3 : KV1 için öz nitelik ikili karşılaştırma matrisi. 143
Çizelge 7.4 : KV1 için öz nitelik bazında seçeneklerin ikili karşılaştırma matrisi. . 143
Çizelge 7.5 : Üçgen bulanık sayı ikili karşılaştırma ölçeği. 144
Çizelge 7.6 : KV1 için öz niteliklerin üçgen bulanık sayı değerleri. 144
Çizelge 7.7 : KV1 için toplam üçgen bulanık sayı değerleri. 145
Çizelge 7.8 : KV1 için öz niteliklerin sentetik değerleri. 145
Çizelge 7.9 : Her KV için öz nitelik ağırlıkları. 146
Çizelge 7.10 : KV1 için üçgen bulanık sayı değerleri. 147
Çizelge 7.11 : KV1 için normalize edilmiş üçgen bulanık sayılar. 147
Çizelge 7.12 : KV1 için ağırlıklı normalize edilmiş üçgen bulanık sayılar. 147
Çizelge 7.13 : Pozitif ideal çözüme olan uzaklıklar. 148
Çizelge 7.14 : Negatif ideal çözüme olan uzaklıklar. 148
Çizelge 7.15 : Grup mesafeleri, yakınsama katsayıları ve sıralama. 149
Çizelge 7.16 : Alt olay kayıpları. 151
Çizelge 7.17 : Bağlama seçenekleri için güvenilir olmama değerleri. 154
Çizelge 7.18 : A1 için temel olayların yamuk bulanık olasılık değerleri. 156
Çizelge 7.19 : Zirve olay olasılığı. 156
Çizelge 7.20 : Alt olaylar için önem göstergesi ($*10^5$). 158

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Öz nitelikler için hiyerarşi ağacı. 12
Şekil 2.2 : ÇÖNKV yöntemleri için bir sınıflandırma (Yoon ve Hwang, 1995). 18
Şekil 2.3 : Yaş gruplarının kümelendirilmesi (kesin kümeler). 19
Şekil 2.4 : Bulanık küme teorisi için bir sınıflandırma (Wang, 1997). 22
Şekil 2.5 : Üçgen bulanık sayı. 23
Şekil 2.6 : Yamuk bulanık sayı. 24
Şekil 2.7 : M_1 ve M_2 kesişimi. 36
Şekil 2.8 : İki boyutlu uzayda ideal çözümlere Öklit mesafeleri. 38
Şekil 2.9 : Bulanık Çok Öz Nitelikli Karar Verme (BÇÖNKV) yöntemi. 45
Şekil 2.10 : Sabit Hatveli Pervane ve Vec-Twin Özel Dümen (2x1). 47
Şekil 2.11 : Dönebilir İticiler (2x2). 47
Şekil 2.12 : Sikloidal Pervane (2x1). 47
Şekil 2.13 : Manevra-sevk sistemi seçimi hiyerarşi ağacı. 48
Şekil 2.14 : Dönüşüm Ölçeği. 48
Şekil 3.1 : 'veya' kapısı. 59
Şekil 3.2 : 've' kapısı. 59
Şekil 3.3 : Hata ağacı oluşum aşamaları. 60
Şekil 3.4 : Yamuk bulanık sayı. 61
Şekil 3.5 : Çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemi risk analiz yöntemi. 65
Şekil 4.1 : SPM sistemi. 67
Şekil 4.2 : MPM sistemi. 67
Şekil 4.3 : Tanker-şamandıra bağlama sistemi bileşenleri. 77
Şekil 4.4 : Çapa-sinker bağlama. 78
Şekil 4.5 : Katineri bağlama sistemi. 78
Şekil 4.6 : Çok noktalı bağlama sistemi çapa çeşitleri. 79
Şekil 5.1 : Tanker-şamandıra bağlama sistemi için bağlama seçenekleri. 96
Şekil 5.2 : Rüzgar iklimi belirleme noktası (40.710 N, 29.290 E). 97
Şekil 5.3 : Yıllık rüzgar gülü. 98
Şekil 5.4 : Mevsimsel rüzgar gülleri. 98
Şekil 5.5 : Aylık ortalama ve en yüksek rüzgar hızları. 99
Şekil 5.6 : Yıllık en büyük rüzgar hızlarının en büyük değerler istatistiği. 99
Şekil 5.7 : Yıllık dalga gülü. 100
Şekil 5.8 : Mevsimsel dalga gülleri. 100
Şekil 5.9 : Dalga yüksekliği (H_s) ve dalga periyodu (T_m) ilişkisi. 101
Şekil 5.10 : Aylık ortalama ve en yüksek dalga yükseklikleri. 101
Şekil 5.11 : Yıllık en büyük belirgin dalga yükseklikleri istatistiği. 102
Şekil 5.12 : Koordinat sistemi. 103
Şekil 5.13 : OrcaFlex programı eksen takımı. 105
Şekil 5.14 : OrcaFlex programı görünümü. 109
Şekil 5.15 : Şamandıra sistemi. 109
Şekil 5.16 : Şamandıra geometrisi. 110
Şekil 5.17 : 3 Boyutlu şamandıra görünümü. 110

Şekil 5.18 : Kıç iskele şamandıra halatına gelen maksimum yük. 112
Şekil 5.19 : Kıç sancak şamandıra halatına gelen maksimum yük. 112
Şekil 5.20 : Baş iskele şamandıra halatına gelen maksimum yük. 113
Şekil 5.21 : Baş sancak şamandıra halatına gelen maksimum yük. 113
Şekil 5.22 : Gemi ortasındaki maksimum hareket miktarı. 114
Şekil 5.23 : Gemi başındaki maksimum hareket miktarı. 114
Şekil 5.24 : Gemi kıçındaki maksimum hareket miktarı. 114
Şekil 5.25 : 6 Noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemi (A12). 115
Şekil 5.26 : A_{10} hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü kuzey). 116
Şekil 5.27 : A_{10} hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü kuzey doğu). 116
Şekil 5.28 : A_{10} hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü güney). 116
Şekil 5.29 : A_{10} hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü güney batı). 117
Şekil 5.30 : Global eksen takımında halatların konumları 118
Şekil 6.1 : Dalga yapıcı cihaz. 125
Şekil 6.2 : Dalga jeneratörü kontrol yazılımı. 126
Şekil 6.3 : Dalga analiz programı. 127
Şekil 6.4 : 2 Noktadan bağlı sistem (Model 45^0 açılı). 128
Şekil 6.5 : 3 Noktadan bağlı sistem. 128
Şekil 6.6 : 4 Noktadan bağlı sistem. 129
Şekil 6.7 : Load-cell halat bağlantısı. 129
Şekil 6.8 : 1 saniye periyotluk dalgada 4 noktadan bağlı sistem. 130
Şekil 6.9 : Baştan gelen dalgalarda 2 noktadan bağlı sistemde halat gerilmeleri. 130
Şekil 6.10 : Baş sancak omuzluk dalgalarında halat gerilmeleri. 131
Şekil 6.11 : Baş sancak omuzluk dalgalarında baş halatı gerilme değeri. 131
Şekil 6.12 : Baş sancak omuzluk dalgalarında kıç halatı gerilme değeri. 131
Şekil 6.13 : Model deney düzeneği. 132
Şekil 6.14 : Halat gerilmeleri (kN/m) ve yük paylaşım yüzdeleri. 136
Şekil 7.1 : Çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemi seçenekleri. 138
Şekil 7.2 : Tanker-şamandıra sistemi seçimi hiyerarşi ağacı. 142
Şekil 7.3 : Tanker-şamandıra bağlama sistemi hata ağacı (A7 için). 153
Şekil 7.4 : Bağlama sistemlerinde zirve olayı olma olasılığı değerleri. 155
Şekil 7.5 : Zirve olay olasılığı. 157
Şekil 7.6 : A8 için bulanık önem göstergesi. 158

AÇIK DENİZ YAPILARI BAĞLAMA SİSTEMLERİNİN DİZAYNINDA BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİNİN UYGULANMASI

ÖZET

Karar verme, olası bir grup seçenekler arasından birtakım ölçütler ışığı altında en iyisini seçme işlemidir. Tüm karar verme işlemleri, insanoğlunun temel bir etkinliği olmasının yanısıra, bulanık ve belirsiz ortamlarda çok sayıda ve birbirleriyle çatışan ölçütler nedeniyle de oldukça zor bir süreçtir.

Karar verme işlemleri genellikle Çok Ölçütlü Karar Verme kavramı altında incelenirler ve çoğunlukla karar vericilerin öznel yargılarını ve tercihlerini içerirler. Çok Ölçütlü Karar Verme, ele alınan problemin bir seçim problemi ya da tasarım problemi olmasına göre ikiye ayrılır: Çok Öz Nitelikli Karar Verme ve Çok Amaçlı Karar Verme (Lai ve Hwang, 1994). Çok Öz Nitelikli Karar Verme yöntemleri, çok sayıdaki öz nitelikler tarafından tanımlanan sınırlı sayıdaki seçenekleri değerlendirerek en uygun olanını seçerler. Çok Amaçlı Karar Verme ise, birbirleriyle çelişen ve aynı anda gerçekleştirilemeyen bir grup amaçlardan oluşur. Çok Amaçlı Karar Verme, çeşitli amaç fonksiyonlarına sahip olup, genellikle sürekli karar uzayları üzerine yoğunlaşır ve matematik programlama teknikleri ile çözülebilirler.

Mevcut Çok Ölçütlü Karar Verme yöntemleri, bir problemin çözümünde kullanılan karar matrisinin oranlarının bulanık olduğu durumlarda yetersiz kalır. Gerçek dünyada pek çok problem bulanıklık ve belirsizlik içerir ve karar vericiler pek çok seçenek arasından en iyi seçeneği belirlemek için oldukça zorlanırlar. Bu nedenle, Bulanık Çok Öz Nitelikli Karar Verme yöntemleri yukarıda anlatılan zorlukların üstesinden gelmek için kullanılırlar. Bulanık Çok Öz Nitelikli Karar Verme, tanımlamalarında belirsizlik bulunan karmaşık sistemlerin çözümündeki başarısı ile en güçlü yönünü ortaya koyar. Bulanık Çok Öz Nitelikli Karar Verme, diğer klasik Çok Öz Nitelikli Karar Verme yöntemleri ile karşılaştırıldığında çok sayıda karmaşık, belirsiz ve klasik yöntemlerle çözüme ulaşılamayan problemleri çözmesi nedeniyle oldukça avantajlıdır.

Çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemi, belirli coğrafik konumlarda, pek çok olası hava koşulu altında tankerlerin yükleme-boşaltma terminallerine sabit bir konumda bağlanmasında kullanılan bir yöntemdir. Bu sistemler, çeşitli su derinliklerinde kurulabilmeleri, değişik tonajdaki gemilerin bağlanmasına olanak sağlamaları ve uzun servis yaşamları nedeniyle oldukça yaygın bir şekilde kullanılan bağlama şeklidirler.

Çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sisteminin tasarımını etkileyen ilk yatırım maliyeti, işletme maliyeti, tanker geometrisi ve ana boyutları, güverte donanımı özellikleri, güvenilirlik, şamandıra bağlama donanımı özellikleri, işlem zamanı, dalga, rüzgar ve akıntı kuvvetlerinin etkisindeki sistem hareket miktarı ve bağlama yükü büyüklükleri gibi çeşitli öz nitelikler vardır. İlk yatırım maliyeti, işletme maliyeti gibi bazı öz nitelikler belirgin özellikler içerirken, güvenilirlik, güverte donanımı özellikleri gibi bazı öz nitelikler ise bulanık özellikler içerirler. Bu nedenle,

farklı coğrafik bölgelerde kullanılacak en uygun bağlama sisteminin seçim kararlarına rehberlik edecek bir bulanık algoritmaya gereksinim vardır. Pek çok belirsizliğe sahip tanker-şamandıra bağlama sistemi konfigürasyonlarının seçim işleminde, Bulanık Çok Öz Nitelikli Karar Verme yöntemlerinin kullanımı problemin bulanık doğası nedeniyle uygun bir yaklaşım olacaktır.

Bu çalışmanın amacı, Marmara Denizinin doğusunda Yarımca açıklarında yerleşmiş bulunan gaz şirketlerinin kullanabileceği, en uygun bağlama şekline karar verebilecek bir yöntem geliştirmektir. Bu amaçla 12 farklı çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemi seçeneği düşünülmüş ve bu seçenekler arasından en iyisini seçmek için Bulanık Küme Teorisini esas alan Bulanık Çok Öz Nitelikli Karar Verme yöntemleri kullanılmıştır. Bulanık Küme Teorisi nitel, kesin olmayan ve kötü düzenlenmiş karar verme problemlerinin üstesinden gelebilmek için ilk kez Zadeh (1965) tarafından ortaya atılmış ve yaygın bir kullanım alanı bulmuştur.

Önerilen yöntem, bulanık ortamda çok noktalı bağlama sistemi seçim probleminin çözümü ve öz niteliklerin ağırlıklarının belirlenmesi aşamasında bulanık AHP, bağlama sistemlerinin sıralanması ve seçimi aşamasında ise bulanık TOPSIS yöntemlerinden oluşur.

Tezin ikinci amacı, bir grup uzlaşım kararı elde etmek için tanker-şamandıra bağlama sistemleri konusunda uzman olan karar vericilerden gelen fikirleri birleştirmektir. Öz niteliklerin ve seçeneklerin ikili karşılaştırma matrislerini elde etmek için başlangıçta on kişiden oluşan bir uzman grubuna ayrı ayrı anketler uygulanmıştır. Daha sonra anketlerden elde edilen bilgiler matris formatına dönüştürülmüş ve her bir karar verici için ayrı ayrı Bulanık Çok Öz Nitelikli Karar Verme yöntemleri kullanılarak bireysel tercihler belirlenmiştir. Son olarak da, grup uzlaşım kararını elde etmek için geometrik ortalama yöntemi kullanılmıştır.

Tezde diğer önemli bir amaç da, çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemleri için risk ve emniyet çözümlemesini yapan bir yöntem geliştirilmiştir. Kıyıdan uzakta yükleme ve boşaltma işlemleri gerçekleştirilen bağlama sistemlerde, sistem emniyetini sağlamak temel bir gereksinimdir. Ekstrem hava koşullarında ve çeşitli işlem koşullarında, çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemi ve bu sistemi oluşturan ana ve alt bileşenlerin risk limitlerinin belirlenmesi büyük bir öneme sahiptir. Tanker yükleme-boşaltma işlemi, dinamik bir ortamda gerçekleştiği ve tehlikeli kazalara yol açan teknik, insani ve işlemsel işlev bozukluklarından da oldukça etkilendiği için yüksek seviyede risklere maruz kalmaktadır. Bu nedenle, bağlama sistemi seçeneklerinin ve bu seçeneklerin alt bileşenlerinin emniyet ve risk çözümlemesi için Bulanık Hata Ağacı Çözümlemesi yöntemini kullanan yeni bir sistem emniyet tayin yöntemi geliştirilmiştir. Kaza olaylarının göreceli frekanslarıyla ilgili olarak, Hata Ağacı Çözümlemesi yöntemi pek çok olayda yetersiz ve eksik bilgi ile sonuçlanmaktadır. Oysa ki, çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemlerinde, temel olaylar statik veya ergodik bir yapıya sahip değildirler. Klasik olasılık teorileri kullanılarak bağlama sistemini oluşturan ana ve alt bileşenlerin hata paylarının emniyetli bir şekilde hesaplanması mümkün değildir. Bu zorlukların üstesinden gelebilmek için, Bulanık Küme Teorisi tabanlı Hata Ağacı Çözümlemesi yöntemi kullanılmıştır. Bulanık Hata Ağacı Çözümlemesi yöntemiyle elde edilen sonuçların karşılaştırılması ve bağlama sistemini oluşturan ana ve alt bileşenlerinin risk olasılık değerlerinin hesaplanması için klasik Hata Ağacı Çözümlemesi yöntemi kullanılarak da hesaplamalar yapılmıştır. Klasik Hata Ağacı Çözümlemesi yöntemi hesaplamalarını gerçekleştirmek için Relex Studio^{TM} programı kullanılmıştır.

Bu yapılan çalışmalara ilave olarak, 12 farklı bağlama seçeneği için, bulanık ağırlık göstergesi kullanılarak sistemin hassasiyet çözümlemesi yapılmıştır. Bu gösterge her bir temel olayın dağılımını ölçmek ve böylece farklı temel olayların dağılımlarını değerlendirmek için kullanılmaktadır. Hassasiyet çözümlemesinin yapılması, sistemin ve sistem alt bileşenlerinin güçlü-zayıf yönlerini ortaya çıkarmakta olup, bu sonuçlar, sistem tasarımcılarının, sistemi ve sistemi oluşturan ana ve alt bileşenleri yeniden gözden geçirmeleri ve bir takım değişiklikler yapmaları için yol gösterici olacaktır.

Çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemi seçim işleminde, Türkiye'de kullanılan veya kullanılması olası 12 farklı bağlama sistemi seçeneği için, 9 farklı öz niteliğin etkisi göz önüne alınmış ve hesaplamalara katılmıştır. Öz niteliklerin ikili karşılaştırma ağırlıkları ve öz nitelik bazında seçeneklerin ağırlıklarının elde edilmesinde, karar vericilerden elde edilen bilgiler kullanılmıştır. Bu öz niteliklerden ikisi bağlama sistemi hareket miktarı ve bağlama halatları gerilme büyüklükleri olup, karar vericiler için bu iki öz niteliğe göre bağlama seçeneklerini karşılaştırmak ve ağırlıklandırmak çok zordur. Bu nedenle, seçilen bölgedeki çevre koşulları dikkate alınarak, her bir bağlama seçeneği için sistemin hareket miktarı ve bağlama halatları gerilme hesapları, OrcaFlex^{TM} programı kullanılarak elde edilmiştir. OrcaFlex^{TM} programı, açık deniz yüzer yapılarının dinamik çözümlemesinde kullanılan benzetim programlarından biridir. Ayrıca farklı dalga, akıntı ve rüzgar kuvvetleri etkisindeki bağlama sistemleri ve bu sistemleri oluşturan ana ve alt bileşenlerin hata olasılıklarının hesabı için de OrcaFlex^{TM} programı kullanılarak bir takım benzetim çalışmaları yapılmıştır. OrcaFlex^{TM} programı ile elde edilen hesapların mertebe kontrolü ve programın güvenilirliğini test etmek için yarı-statik hesaplamalar da yapılmıştır.

Bu çalışmalara ek olarak, periyodik dalgalara maruz kalan çok noktadan bağlı bir tankerin, halatlarına etkiyen yüklerin paylaşımının tahmini için, İTÜ Ata Nutku Gemi Model Deney Havuzu büyük çekme tankında, bir takım deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Aynı ortam şartları OrcaFlex^{TM} programında da girilerek hesaplamalar yapılmış ve elde edilen sonuçlar, deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Tezde, en uygun çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemi seçimi ve bu sistemin seçimi için önerilen 12 farklı bağlama seçeneği için sistemi oluşturan tüm ana ve alt bileşenlerin risk tahminleri, önerilen seçim ve risk yöntemleri kullanılarak oldukça esnek, sağlam ve realistik bir biçimde yapılabilmektedir. Ayrıca, seçim işlemlerinde ve risk çözümleme işlemlerinde kullanılan bu yöntemler çok yönlü ve esnek bir yapıya sahiptirler. Bu nedenle, geliştirilen yöntemler deniz endüstrisinin diğer seçim ve risk çözümleme problemlerinde de, yapılacak küçük değişikliklerle kolay bir şekilde kullanılabilir ve uygulanabilirler.

Bu çalışmanın sonuç kısmında, bulanık seçim işlemi ile klasik ve bulanık risk çözümleme işlemlerinin sonuçları değerlendirilmiştir. Önerilen melez Bulanık Çok Öz Nitelikli Karar Verme yöntemi sonuçları, en iyi bağlama seçeneğinin A10 (2 çapa ve 3 şamandıralı sistem) olduğunu göstermektedir. Bu nedenle bu sistem seçilmelidir. Ayrıca, risk çözümleme yöntemi A2 (2 şamandıra)'nin maksimum risk değerine sahip olduğunu göstermektedir. Birde, tez çalışmasının bu alanda yapılan çalışmalara kazandırdığı katkılar ve sonuçlar tartışılarak, gelecekte yapılabilecek çalışmalar konusunda da tavsiyelerde bulunulmuştur.

APPLICATION OF FUZZY MULTI ATTRIBUTE DECISION MAKING METHODS IN OFFSHORE MOORING SYSTEMS DESIGN

SUMMARY

Decision-making is a procedure to find the best alternative among a set of feasible alternatives. All decision making processes are basically fundamental activities of human being, they also become difficult processes in consequence of having multiple and conflicting criteria in vagueness and fuzziness.

Decision making procedures are usually called Multiple Criteria Decision Making and mostly involve Decision Makers' subjective judgments and preferences. Multiple Criteria Decision Making is classified into two categories depending on whether the problem is a selection problem or a design problem, namely, the Multiple Attribute Decision Making and the Multiple Objective Decision Making (Lai and Hwang, 1994). Multiple Attribute Decision Making methods evaluate and select the desired one from a finite number of alternatives, which are characterized by multiple attributes. Multiple Objective Decision Making procedure consists of a set of conflicting goals that can not be achieved simultaneously. Usually Multiple Objective Decision Making method concentrates on continuous decision spaces, has several objective functions and can be solved with mathematical programming techniques.

The present Multiple Attribute Decision Making methods become defective when the rates of a decision matrix are foggy. Whereas, most of the real life problems involve vagueness and fuzziness, and decision makers have difficulty to choose the best alternative among the many alternatives. Consequently, Fuzzy Multiple Attribute Decision Making techniques and methods have to be used to overcome the aforementioned difficulties. Fuzzy Multiple Attribute Decision Making presents its most powerful aspect by actualizing the complex systems which have uncertainty in their definitions. Fuzzy Multiple Attribute Decision Making has an advantage compared to the other techniques for the solution of systems which are most complex, ambiguous and uncured with traditional methods.

The spread mooring system (or multiple point mooring system) is an offshore loading/unloading system that allows a tanker to moor at a fixed geographic location at many possible weather conditions. These systems can be utilized extensively for the terminal applications that require long service life for various sizes of vessels deployed at various water depths.

There are several criteria affecting the design of a multiple point tanker-buoy mooring system such as investment cost, operational cost, tanker geometry and main dimensions, deck equipment properties, reliability, buoy anchoring equipment properties, operation time, motion displacement and the mooring load magnitudes on the system in the presence of wave, wind and current. Some of these criteria like investment cost, operational cost depend on deterministic factors while the others such as reliability, deck equipment properties have fuzzy parameters. Therefore, there is a requirement of a fuzzy algorithm that guides decision makers to choose to

the most proper type of mooring system for different regions. The approach of using Fuzzy Multiple Attribute Decision Making will become the most proper method for tanker-buoy system configuration selection that has much uncertainty.

The objective of this thesis is to improve a methodology for selecting the most appropriate multiple point mooring configurations for the gas companies situated near Yarimca on the Eastern Marmara Sea Region in Turkey. For this purpose, Fuzzy Multiple Attribute Decision Making methods based on Fuzzy Set Theory are employed to select the best one of 12 different tanker-buoy mooring alternatives. Fuzzy Set Theory, which was first introduced by Zadeh (1965) to deal with the kind of qualitative, imprecise information or ill-structured decision problems, has been applied for modeling tool for complex systems in the recent years.

In this study, proposed methodology is based on fuzzy AHP method in analyzing the structure of the mooring system selection problem and determining of the weights of the attributes, and fuzzy TOPSIS method for ranking the mooring systems in fuzzy environment.

The other scope of this dissertation is to combine a group of experts' opinions to form a group consensus decision. To obtain pair-wise comparison matrix of attributes and alternatives, at first a questionnaire was asked 10 decision makers separately. Then, the results taken from expert opinions were converted matrix forms. Subsequently, fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods were utilized for each decision maker. Finally, in order to calculate consensus decision, a geometric mean method was employed.

In this dissertation, a risk analysis methodology is also applied to multiple point mooring systems. System safety is an essential requirement in all kinds of offshore loading and offloading systems. The estimation of risk limits for tanker-buoy mooring system occuring top-event and sub-event components under the extreme environmental conditions and various operation conditions are also very important. The tanker loading-offloading operation is associated with a high level of uncertainty, because it is usually conducted in a dynamic environment and it is greatly influenced by the technical, human, and operational malfunctions that may lead to hazardous accidents. So that, a new system safety assessment methodology based on Fuzzy Fault Tree Analysis methodology was developed for probabilistic analysis of top-event and sub-event components of spread mooring system alternatives. Conventional Fault Tree Analysis in many cases results with insufficient information concerning the relative frequencies of hazard events. As the basic events are not stationary and ergodic, the tolerances of the induced and head events cannot be calculated reliably based on the classical probability theory for tanker-buoy mooring system risk analysis. To overcome the aforementioned difficulties, Fuzzy Set Theory and Fault Tree Analysis methods are jointly employed. To compare the Fuzzy Fault Tree Analysis risk estimation results and to calculate risk probabilities of the system components, the Fault Tree Analysis method was additionally used in the current study. For Fault Tree Analysis calculations, the Relex Studio^{TM} programme was utilized.

In addition to these studies, the sensitivity analysis based on investigating the fuzzy weighted index is carried out for the 12 tanker-buoy mooring system alternatives. This index is used to measure the contribution of the each basic event. The fuzzy weighted index can also be used to evaluate the contribution of different basic events. Taking the sensitivity analysis is determined the robust and weak points of

the mooring systems and sub-events of these systems. So that, these calculations result in surveying and changing the weak components of the systems for the designers.

For the multiple attribute selection procedure of the spread mooring system, 12 different mooring alternatives and the effects of 9 criteria were taken into account and incorporated the calculation. For pair wise comparison of criteria and alternatives, decision makers' opinion was utilized. Motion displacement and mooring load magnitudes of the tanker-buoy system were also defined as two criteria for the selection problem. It is not possible to compare the 12 different alternatives for the two criteria using the expert opinions. So that, motion displacement and mooring load magnitudes were calculated by using OrcaFlex™ programme. OrcaFlex™ is used for the dynamic analysis of conventional tanker-buoy spread mooring systems. In addition to this, in order to calculate failure probabilities of tanker-buoy mooring system components occurred due to different wave, wind and current combinations, a set of simulation studies has been carried out by using OrcaFlex™ programme. The quasi-static calculations were carried out for comparing and checking the OrcaFlex™ programme results with the predicted ones. The experimental model test results were compared with the OrcaFlex™ simulation studies.

In order to investigate the mooring rope load share of a tanker in periodic waves, a set of experiment has been carried out at the large towing tank of ITU Ata Nutku Ship Model Testing Laboratory. Eventually, to compare and test the experimental studies, the OrcaFlex™ simulation studies were done for using the experimental conditions.

These results show that the best multiple point tanker-buoy mooring system selection problem and risk investigation of all components of these systems can be handled in a more flexible, robust and realistic way through the proposed solution methodologies. Also, these methodologies that used for selection and risk analysis problems have very versatile and flexible in applications. Therefore, they can easily be used and applied with slight modifications in other marine technology related selection processes or risk analysis problems.

In the conclusion part of the study, the results of the both fuzzy selection process and fuzzy risk analysis process are evaluated. The proposed hybrid Fuzzy Multiple Attribute Decision Making methodology results indicate that A10 (2 anchors and 3 aft buoy mooring) is the best alternative, so this alternative system has to be selected. Also, the risk analysis methodology shows that A2 (2 buoy mooring) has the maximum risk value.

In addition to this, the outcomes and contributions of this study are discussed in this area and some recommendations are put forward to solve the marine industry related problems.

1. GİRİŞ

Çok noktalı bağlama sistemi, açık denizde demirlemiş tankerlerin kargo yükleme/boşaltma işlemleri için kullanılan bir sistemdir. Bu sistem uzun servis ömrü, değişik su derinliklerinde kullanılabilme faydası ve değişik tonajdaki tankerlere hizmet verebilme ve kısa zamanda yerleştirilebilme özellikleri ile yaygın bir bağlama şeklidir.

Endüstride pek çok işlem sürecinde etkin ve doğru karar verme yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Karar verme, belirli bir problemi çözmek ve istenilen amaca ulaşmak için, birtakım ölçütler ışığında, mevcut tüm seçenekler arasından bir ya da birkaçını seçme işlemidir. Endüstrinin pek çok uygulama alanında olduğu gibi, gemi ve deniz yapıları problemlerinin çözümünde de karar verme sürecinin önemi gün geçtikçe daha iyi bir şekilde anlaşılmaktadır. Karar verici (KV), geliştirilmiş olan pek çok karar verme algoritmalarından bir veya birkaçını kullanarak ya da yeni bir karar verme algoritması geliştirerek, çok sayıda ve birbirleriyle çelişen ölçütlerin ışığı altında, mevcut seçenekler arasından doğru seçimler yapmaya çalışır.

Çok Ölçütlü Karar Verme (ÇÖKV) teknikleri iki ana gruba ayrılır (Yoon ve Hwang, 1995): Çok Öz Nitelikli Karar Verme (ÇÖNKV) ve Çok Amaçlı Karar Verme (ÇAKV). ÇÖNKV, eldeki çoklu ve çelişen öz niteliklerle tanımlanan seçenekler arasından tercih yapılması esasına dayanır. ÇAKV ise, ÇÖNKV'den farklı olarak birbirleriyle çelişen amaçlar kümesiyle en iyi seçeneği tasarlamaya çalışır. Diğer bir deyişle ÇÖNKV önceden belirlenmiş seçenekler arasından en iyi seçeneği seçme işleminde kullanılırken, ÇAKV yeni bir sistem tasarlamak için kullanılır (Zimmermann, 2001).

Bir problemin çözümünde kullanılan karar matrisindeki oranların sözel ve/veya bulanık olduğu durumlarda mevcut ÇÖNKV yöntemleri yetersiz kalır. Belirsiz ve/veya bulanık verilere sahip olan problemlerin çözümünde Bulanık Çok Öz Nitelikli Karar Verme (BÇÖNKV) yöntemlerinin kullanılması önerilir (Bellman ve Zadeh, 1970). BÇÖNKV yöntemleri, olası pek çok seçim ölçütüne bağlı, belirli bir grup seçenek arasından en uygun olanını seçmek için Bulanık Küme Teorisini (BKT)

kullanır. BKT, belirgin olarak belirtmenin çok zor olduğu sistemleri modellemek için kullanılır. Bir yöntem olarak BKT, bulanık, belirsiz veya eksik bilgiyi model formülasyonu ve seçim süreçlerine dahil eder. BKT'nin temel elamanlarını aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür (Sousa ve Kaymak, 2002):

- Seçenekler kümesi,
- Amaçlar ve/veya sınırlamalar (ölçütler) kümesi,
- Her seçenek ve ölçüt için alınan kararlar (oranlar veya üyelik değerleri): Alınan kararlar her seçenek için ölçütlerin memnuniyet derecesini ifade eder.
- Önem derecesini ifade eden ağırlık faktörleri,
- Performans fonksiyonu: Amaçlar ve sınırlamalar (ölçütler) için memnuniyet derecelerine göre seçeneklerin sıralanması,
- Seçeneklerin düzenlenmesi için bir düzenleme mekanizması.

Çok noktalı tanker–şamandıra bağlama sistemi tasarımında, gerek bağlama tipi, gerekse bölgedeki çevresel koşullara ait veriler göz önüne alınarak, bağlanan tankerin denizdeki hareketlerinin belirlenmesi, tasarım metotlarının uygulanması, malzeme seçimi, bakım ve bölge işlemlerinin tanımlaması, tankerin hareket miktarı, halat gerilmeleri vb. gibi pek çok faktör etkili olmaktadır. Bu faktörlerden bir kısmı belirgin özellikler içerirken (maliyet), bir kısmı belirsiz veya bulanık parametreler içermektedir (güvenilirlik). Bağlama sistemlerinin farklı bölgeler için en uygun şekline karar verebilecek, tasarım seçeneklerini ve ölçütlerini hesaba katan, matematik modellere dayanan, petrol yükleme-boşaltma gibi kullanım amacına bağlı özellikleri kapsayan ve karar verme mekanizmasının içerisine sokabilen bir algoritmaya ihtiyaç vardır. Pek çok belirsizliğe sahip çevre şartlarına maruz kalan çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemi seçiminde, klasik ÇÖNKV yöntemleri yerine, belirsiz ve/veya bulanık verileri hesaba katan BÇÖNKV yöntemlerini kullanmak daha uygun bir yaklaşım olacaktır. BÇÖNKV yöntemleri; tanımlamalarında belirsizlik ve bulanıklık bulunan karmaşık sistemlerin çözümündeki başarısı ile en güçlü yönünü ortaya koymaktadır. Çok karmaşık, belirsizlik içeren ve klasik ÇÖNKV yöntemleriyle çözülemeyen sistemlerin çözümüne olanak tanıması BÇÖNKV yöntemlerinin kullanımını sürekli arttırmaktadır (Mentes, 2000).

Açık deniz bağlama sistemleri konusunda, mühendislikte uzman sistemler adı altında yapılan bir takım çalışmalar vardır. Simoes ve diğ. (2002) derin su kabulü altında bağlı bir kule tip yüzer üretim, depolama ve boşaltma gemisi (FPSO: Floating Production Storage and Offloading) ile bir servis gemisi (shuttle ship)'nin oluşturduğu sistemin dinamik davranışının modellenmesi ve çözümlemesi için zaman serisi yaklaşımı ve yapay sinir ağları (YSA) benzetimi şeklinde iki sinir ağları çözümünü kullanmışlardır. YSA insan beyninin çalışma ve düşünebilme yeteneğinden yola çıkılarak oluşturulmuş bir bilgi işleme teknolojisidir. Bu çalışmada, sistemin çarpışmasını önlemek için, hareket miktarlarını ve halat gerilme değerlerini YSA ile modellemişler ve elde edilen sonuçları karşılaştırmak için bir dinamik benzetim programı (DYNASIM) kullanmışlardır.

Lee ve diğ. (2002), sondaj gemilerinin dinamik yerleştirme problemi için Yamamota ve Morooka (2005), yarı batık platformların dinamik yerleştirme konumu problemi için bulanık denetleyiciyi kullanmışlardır. Zadeh (1965)'e göre bir bulanık denetleyici, insanların işlemleri kontrol etmekte kullandıkları tecrübe ve sezgi gibi mantık kurallarından oluşan kontrol algoritmalarını esas alır. Bunun tersine, klasik denetleyiciler cebir veya diferansiyel denklemler tarafından tanımlanan kontrol algoritmalarını kullanır.

Carbono ve diğ. (2005) ve Shafieefar ve Rezvani (2007), yüzen platformların bağlama tasarımı en iyilenmesi ve hareket miktarlarının minimize edilmesi için genetik algoritma (GA)'yı kullanarak yeni bir usül geliştirmeye çalışmışlardır. GA, en iyilenme problemlerinin çözümünde kullanılan çok kullanışlı bir yöntemdir. Shafieefar ve Rezvani hesaplamalarında Maffra'nın ve Carbono'nın modellerine göre sistemi dinamik olarak modellemişlerdir. Sistemin dinamik hesaplarının elde edilmesinde de MIMOSA^{TM} (2002) programını kullanmışlardır.

Yapılan bu çalışmalar dikkate alındığında, literatürde farklı bağlama şekillerini içeren (çapa ve bağlama halatı kombinasyonları) çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemi seçiminde, ilk yatırım maliyeti, bakım-tutum-işletme masrafları, tanker geometrisi-ana boyutları-tonajı, tanker güverte donanımı özellikleri, halat gerilme büyüklükleri, şamandıra zincirleme donanımı özellikleri, işlem süresi, tanker hareket miktarı, güvenilirlik gibi belirgin-belirsiz-bulanık öz nitelikleri özünde barındıran öz nitelikleri hesaba katan ve bunun için BÇÖNKV yöntemini kullanan

herhangi bir çalışma yapılmadığı görülmüştür. Yapılan bu çalışma ile bu açığının kapatılması hedeflenmiştir.

Çok noktadan bağlı tanker-şamandıra sistemleri zaman zaman uç hava koşulları altında da işleme devam ederler. Bu tip sistemlerin emniyetli bir şekilde yükleme/boşaltma işlemlerini yapabilmesi, olası kaza risk limitlerini doğru bir şekilde tayin etmekle mümkün olabilir. Kazaların tahmini, önlenmesi ve azaltılması için pek çok risk çözümleme yöntemleri geliştirilmiştir (Pillay ve Wang, 2003). Bu yöntemlerden klasik hata ağacı (KHA) yöntemi, 1962 yılında Amerika Birleşik Devletlerinde bulunan Bell Telefon Laboratuvarlar'ında, kıtalararası balistik füze hedefleme kontrol sisteminin emniyet değerlendirmesini sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. KHA, karmaşık sistemlerin emniyet ve güvenilirlik hesaplamalarında sıklıkla kullanılan çok yaygın ve güçlü bir tekniktir (Lee ve diğ., 1985). KHA yöntemi, sistem hatalarını, sistem ve sistem bileşenlerinin hatalarındaki ilişkiyi gösteren mantıksal diyagramlardır. Bu yöntemde sistem bileşenlerine ait olan hata oranları belirgindir. Gerçekte ise, sistem modellemede kullanılan veriler, belirsiz ve bulanık özellikler içerirler. Bulanık hata ağacı çözümlemesi yöntemi (BHA), bulanık küme teorisini kullanarak belirsiz, eksik ve hatalı bilgiyi kullanarak risk çözümlemesi yapar (Singer, 1990).

Gemi ve açık deniz yapıları emniyet ve risk çözümlemesi konusunda yapılan pek çok çalışma mevcuttur:

Aldwinckle ve Lewis (1984), yüzen üretim sistemleri için hangi risk çözümleme yönteminin ve nasıl uygulanabileceği konusunda bir çalışma yapmış ve yüzen üretim sistemlerinden LNG (Liquefied Natural Gas) transferi konusunda birtakım örnek uygulamalar vermişlerdir. Eleye-Datubo ve diğ. (2008), deniz ve kıyıdan uzak yapıların risk çözümlemesi ve karar destek çözümlemesi için birleştirilmiş Bulanık Bayes Ağları (BBA) yöntemini önermişlerdir. BBA, özünde bulanıklık ve rastgelelik olan belirsiz kombinasyonları ilişkilendirme, birleştirme ve dönüştürme teknikleri kullanarak modelleme ve muhakeme işlemlerini yaparlar. Abhulimen (2009), FPSO/rayzer karmaşık üretim sistemi risk ve güvenilirlik çözümlemesi için Monte-Carlo Benzetimi ve Markov Zinciri (MZ) algoritmalarını kullanmıştır. MZ modellemesi, riskli sistemlerin bir durumdan diğer duruma geçişlerini, frekans denge yaklaşımını kullanarak zamanında tahmin etmeye olanak sağlar. Abhulimen (2009), yeni FPSO tasarım projelerinde kaza oranlarının ve hatalı veri göstergelerinin

bilinememesinden dolayı, Monte-Carlo algoritmasını kullanarak hatalı veri türetmiştir. Sii ve diğ. (2005), Ren ve diğ. (2005) FPSO sisteminin emniyet çözümleme modellemesi için, tahmini muhakeme ve kesin muhakeme yaklaşımlarını kullanmışlardır. Bu yaklaşımlar, Beklenen Fayda Yaklaşımı (BFY) gibi ÇÖKV çözümleme yöntemlerinin çözümde başarısız olduğu eksik, bulanık veya belirsiz bilgilerin üstesinden gelebilen bir yaklaşımdır. Celik ve diğ. (2009a), gemide meydana gelen kazaların tahmini ve azaltılması için BHA yöntemini kullanmışlardır. Turan ve diğ. (2003) balıkçı gemilerinde can kayıplarıyla sonuçlanan kazalarda BHA yöntemini kullanarak risk çözümlemesi yapmışlardır.

Bu çalışmada, çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemlerinde bulanık bir seçim yöntemi geliştirmenin yanısıra, sistem emniyet ve risk çözümlemesini yapacak bir yöntemi de geliştirilmeye uğraşılmıştır. Bu amaçla, KHA ve BHA yöntemlerini kullanan bir algoritma geliştirilmiştir. Seçilen 12 farklı tanker-şamandıra bağlama şekli için, kargo hattının zarar görmesi olayı zirve olay olarak seçilmiş ve KHA ve BHA yöntemleri kullanılarak sistemin emniyet ve risk çözümlemesi yapılmıştır. Kargo hattının zarar görmesine sebep olan tüm ana ve alt olayların çözümlemesi yapılarak, sistem üzerindeki tüm bileşenlerin risk haritası çıkartılmıştır.

1.1 Tezin Amaç ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı, Marmara Denizi'nin doğusunda Yarımca bölgesi civarında hizmet verecek çok noktalı tanker-şamandıra sistemi için, en uygun bağlama şeklini seçecek bir BÇÖNKV yöntemi geliştirmektir. Seçim işlemi için 12 farklı tanker-şamandıra bağlama şekli ve bu seçimde etkili olacak 9 öz nitelik kullanılmıştır. Ölçütlerin ve ölçüt esasında seçeneklerin ikili karşılaştırma matrislerinin elde edilebilmesi için, alanında uzman karar vericilere bir dizi anket uygulanmış ve anketlerden elde edilen sonuçlar kullanılarak ölçüt ve ölçüt esasında seçeneklerin oran ağırlıkları elde edilmiştir. Elde edilen ağırlıklar, bulanık AHP (Analytic Hierarchy Process) ve bulanık TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemleri kullanılarak bir grup uzlaşım kararıyla en uygun bağlama şekli elde edilmeye çalışılmıştır.

Ayrıca, çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemleri için, klasik hata ağacı (KHA) ve bulanık hata ağacı çözümlemesi (BHA) yöntemlerini kullanarak, bir emniyet ve risk çözümleme yöntemi geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu yöntem, çok

noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemleri için risk limitlerinin tayini, karşılaştırması, hataya sebep olan olayların (bağlama halatı kopması, çapa kaybı vb.) hata olasılıklarının tespiti ve birbirleriyle kıyaslanması için oldukça yararlı bir yaklaşım olacağı düşünülmüştür. Bağlama sistemini oluşturan bileşenlerin (bağlama halatı, yatak zinciri vb.) hassasiyet çözümlemesi (HA)'de yapılarak, sistem bileşenlerinin güçlü-zayıf yönlerinin tespiti hedeflenmiştir. HA sonuçları, tanker-şamandıra sistemi tasarımcılarına, sistemin tüm bileşenlerini yeniden gözden geçirme olanağı sağlayacaktır. Böylece, tasarımcının sistemdeki zayıf bileşenlerden kaynaklanan hata oranlarını yok etmek veya azaltmak için zamanında etkin kararlar alabilmesi mümkün olabilecektir.

Tez, çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemi karar verme ve risk problemlerinin çözümünde, önerilen yöntemler için yapılacak hesaplamalarda kullanılmak üzere, 12 farklı tanker-şamandıra bağlama sistemi elemanlarına (bağlama halatları, tanker zincir ve çapaları, çabuk çözülür kanca, atak zincirleri ve çapaları) gelen gerilme değerlerinin ve farklı tonajdaki tankerlerin baş, orta ve kıç kısımlarındaki hareket miktarlarının hesabı için OrcaFlex^{TM} programı kullanılarak yapılan bir dizi benzetim çalışmalarını da (240 benzetim) içermektedir. Ayrıca, bu çalışma periyodik dalgalara maruz kalan çok noktadan bağlı bir tankerin, baştan ve baş sancak omuzluktan (45^0 açıyla) gelen dalgalarda, halatlarına etkiyen yüklerin paylaşımının tahmini için, İTÜ Ata Nutku Gemi Model Deney Havuzu büyük çekme tankında yapılan deneysel çalışmaları da kapsamaktadır. Bağlama sistemi için yapılan deneysel çalışmalar, OrcaFlex programı ile yapılan hesaplamalarla desteklenmiştir.

1.2 Tez Planlaması

Tezde yapılacak çalışmalar şu şekilde sıralanabilir:

İkinci bölümde karar verme ile bu konudaki temel kavramlar ele alınıp, klasik ÇÖNKV yöntemleri incelenecek ve bu konuda yapılan çalışmalardan bahsedilecektir. Klasik ve bulanık küme teori kavramları incelenerek, bulanık kümelerin temel özellikleri verilecektir. Daha sonra, BÇÖNKV yöntemleri ve bu alanda yapılan çalışmalardan bahsedilecektir. Çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemi seçimi için geliştirilen yöntemin safhaları bu bölümde anlatılacaktır.

Bölümün sonunda, geliştirilen bu yöntemi test etmek için, manevra ve sevk sistemi seçim problemini ele alan örnek bir mühendislik uygulaması verilecektir.

Üçüncü bölümde risk çözümlemesi konusu ele alınarak bu konuda yapılan çalışmalar ve kullanılan yöntemler hakkında bilgiler verilecektir. Tanker-şamandıra bağlama sistemi risk çözümlemesinde kullanılacak olan KHA ve BHA yöntemleri ayrıntılı bir şekilde incelenecektir. Risk çözümlemesi konusunda geliştirilen yöntemin aşamaları bu bölümde anlatılacaktır.

Dördüncü bölümde tanker-şamandıra bağlama sistemi incelenmiştir. Bu bölümde serbest gemi hareketleri ve yüzen yapılar, halat ve halat sistemleri, bağlı sistemin matematik modellenmesi, bağlama sistemi üzerinde etkili olan çevre yüklerinden bahsedilerek ve literatürde bu konularda yapılan çalışmalar hakkında bilgiler verilecektir.

Beşinci bölümde başlangıçta uygulama konusu olan çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemi için sistemin konumlandırılacağı bölge seçilecek ve bölgede etkin rüzgar/dalga/akıntı gibi çevresel yüklerin karakteristik özelliklerinden bahsedilecektir. Daha sonra, çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sisteminde, halat, çapa, şamandıra kancası, yatak zincirleri vb. üzerinde etkili olan gerilme büyüklükleri ve seçilen tankerlerin hareket miktarları hesapları üzerinde durulacaktır. Bu hesaplamaları yapmak için kullanılan OrcaFlex™ programının genel özelliklerinden bahsedildikten sonra, bu program ile yapılan hesaplamalara, ayrıca Fortran ve Excel programı kullanılarak yapılan yarı-statik hesaplamalara da bu bölümde yer verilecektir.

Altıncı bölümde İ.T.Ü. Ata Nutku Model Deney Havuzunda, tanker-şamandıra bağlama sisteminde, bağlama halatları üzerindeki yük paylaşımını görmek için yapılan deneysel çalışmalardan bahsedilmektedir. Yapılan deneysel çalışmaların kontrolü için aynı çevre koşulları kullanılarak, OrcaFlex™ programında yapılan hesaplamalar da yine bu bölümde verilecek ve deneysel bulgularla karşılaştırılacaktır.

Yedinci bölüm tezin uygulama kısmıdır. Bu bölümde çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemleri (bağlama seçenekleri) ve bu sistemler üzerinde etkili olan öz nitelikler belirlendikten sonra, bulanık AHP ve bulanık TOPSIS yöntemlerini esas alan BÇÖNKV yönteminin çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemi seçim

problemine uygulaması verilecektir. Ayrıca, bağlama sistemlerini ve bu sistemleri oluşturan ana ve alt sistem bileşenlerinin emniyet ve risk çözümlemesi için geliştirilen, klasik KHA ve bulanık FTA yöntemlerini içeren yöntemin uygulaması da bu bölümde verilecektir.

Sekizinci bölümde elde edilen sonuçlar incelenerek gelecekte yapılması olası çalışmalar konusunda görüş bildirilecektir.

2. KARAR VERME VE BULANIK MANTIK

Çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemlerinin gerek modelleme gerekse uygun bağlama şeklinin seçimi aşamalarında çok sayıda öz nitelik etkili olmaktadır. Seçilen çalışma bölgesinin özelliklerine bağlı olarak değişiklik gösteren bu öz niteliklere örnek olarak tanker-şamandıra bağlama sistemi hareket miktarı, bağlama halatlarına gelen gerilme büyüklükleri, sistemin ilk yatırım maliyeti, işlem süresi, güvenilirlik vb. verilebilir. Çok noktalı tanker-şamandıra sistemi üzerinde etkili olan bu tip öz nitelikler, kimi zaman belirgin kimi zaman da belirsiz veya bulanık özellikler içerebilmektedir. Bu nedenle, tanker-şamandıra bağlama sistemi seçim probleminde, belirgin öz niteliklere göre seçim yapan çok öz nitelikli karar verme yöntemleri yerine, sistemin özünde var olan belirsiz, bulanık öz nitelikler nedeniyle bulanık çok öz nitelikli karar verme yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Geleneksel çok ölçütlü karar verme yöntemleri, özünde belirsizlik ve bulanıklık bulunan karar verme problemlerinin çözümünde yetersiz kalmaktadır.

Bu bölümde çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemi seçiminde etkili olan karar verme kuramı ve genel özellikleri anlatılıp, geleneksel karar verme yöntemlerinden bahsedilecektir. Daha sonra bulanık mantık kavramı tanımlanarak, bulanık çok öz nitelikli karar verme konusu ve temel özelliklerinden bahsedilecektir. Literatürde sıklıkla rastlanılan bulanık çok öz nitelikli karar verme yöntemleri konusunda genel bilgiler verildikten sonra, çok noktalı tanker-şamandıra sistemi seçimi için önerilen yöntemde kullanılacak olan bulanık AHP ve bulanık TOPSIS yöntemleri hakkında detaylı bir inceleme yapılacaktır. Bu bölümün sonunda da İstanbul boğazında çalışacak çift başlı yolcu ferileri için uygun manevra-sevk sistemi seçimi problemi, örnek bir uygulama olarak verilecektir.

2.1 Karar Verme

Karar Verme belirli bir problemi çözmek ve istenilen amaca ulaşmak için, birtakım ölçütler ışığında, mevcut tüm seçenekler arasından bir ya da birkaçını seçme işlemidir.

Tüm karar verme problemlerinde karar vericiler genellikle çok sayıda ve birbirleriyle rekabet halindeki ölçütler arasından seçim yapmaya çalışırlar. Bu ölçütler, örneğin tanker-şamandıra bağlama sistemi seçimi için ilk yatırım maliyeti, halat gerilme büyüklükleri, işlem süresi, bağlama donanımı özellikleri, tanker tonajı vb. gibi özünde belirginlik, belirsizlik veya bulanıklık içeren parametrelerden oluşabilir.

Çok ölçütlü karar verme problemleri ile uğraşırken bazı temel kavramları anlamak problem çözümü için önemli kolaylıklar sağlayacaktır. Bu kavramlar hakkında gerekli bilgiler aşağıda açıklanmıştır (Mentes, 2000):

Seçenekler (alternatives): Bir problemdeki tercih seçenekleridir. Ele alınan problemlerde yerine göre birkaç, yerine göre yüzlerce seçenek söz konusu olabilir. Bu seçenekler önce eleme, sonra seçim ve son olarak da sıralama işlemlerine tabi tutulurlar.

Ölçüt ve öz nitelik (criteria and attribute): Literatürde ölçüt ve öz nitelik kavramı ufak tefek farklar olsa da sıklıkla birbirlerinin yerine kullanılır. Öz nitelikler ölçütlerin temel alt gruplarıdır. Öz nitelikler; seçeneklerin temel özellikleri, kaliteleri veya verimlilik parametreleri olarak tanımlanır ve karar vericinin değer yargılarına bağlı olarak, tanımlanıp ölçümlendirilirler. Öz nitelikler hem nesnel hem öznel özelliklerden oluşabilmektedirler.

Amaçlar (objectives): Ölçütlerin karar vericinin arzuları doğrultusunda yönlendirilmiş şekli olarak tanımlanabilir.

Hedefler (goals): Amaçların daha da somutlaşarak belirli değerlere dönüşmüş şekilleridir.

Karar Matrisi (decision matrix): Bir ÇÖNKV probleminde, eldeki mevcut seçenek ve ölçütlerin karşılaştırılmaları ile elde edilen karşılaştırma göstergeleri matris formunda ifade edilir. Karar verme problemine yardımcı olacak bu matrislerde, satırlar birbirleriyle rekabet halinde olan seçenekleri, sütunlar ise seçeneklerin değerlendirileceği öz nitelikleri ifade eder. Bu nedenle bir matrisin x_{ij} elemanı, i' inci seçeneğin (A_i), j' inci öz niteliğe (X_j) göre performans oranı olarak verilir (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1: Karar verme matrisi.

Öz nitelikler	Seçenekler			
	A_1	A_2	…..	A_i
X_1	x_{11}	x_{12}	…..	x_{1j}
X_2	x_{21}	x_{22}	…..	x_{2j}
…..	…..	…..	…..	…..
X_j	x_{2j}	x_{3j}	…..	x_{ij}

Veri Çeşitleri:

Veriler; nominal, ordinal, aralıklı değişken ve sayısal veriler diye sınıflandırılabilir. İstatistiksel işlemlere uygunluk açısından, en uygun veriler sayısal, uygun olmayan veriler ise nominal verilerdir.

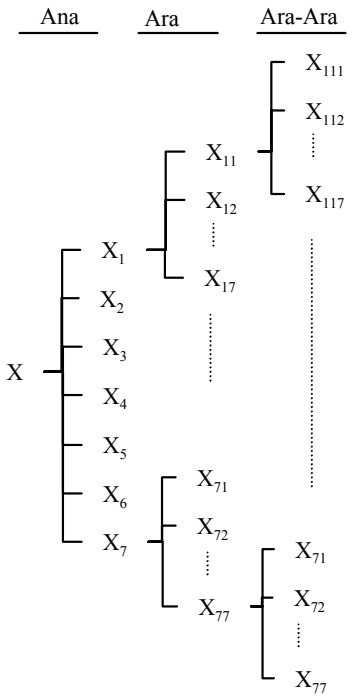
1. Nominal veriler: Sıralamaları belli bir yönde hareketi belirtmeyen verilerdir. Örnek olarak cinsiyet değişimlerini verecek olursak belli bir yönde 1.erkek 2.kadın diye bir artma ya da azalma söz konusu olamaz. Bu tür verilerin ortalaması alınamaz, frekans dağılımı yapılabilir ve çapraz tablo kullanılır.
2. Ordinal veriler: Sıralamanın belli bir anlamı vardır ama aradaki mesafenin belli bir önemi yoktur. Örneğin; 1.kötü, 2.orta, ve 3. iyi gibi.
3. Aralıklı değişken veriler: Likert ölçeği ile sayısallaştırılırlar. Bu tür verilerle tüm istatistiksel işlemler yapılabilmektedir.
4. Sayısal veriler: Araştırmalarda en az karşılaşılan, buna karşın uygulama koşulları en iyi olan veri tipleridir.

Öz Nitelik Türetme :

ÇÖNKV yöntemleri, rekabet halindeki seçenekler arasından bir çözüme ulaşmak için, farklı boyutlara sahip verilerden anlamlı göstergeler oluşturmaya çalışır. Bir problemin çözümlemesinde, ilgili hedeflere ulaşabilmek için başlangıçta öz nitelikler türetilir. Seçenekler, türetilen öz nitelikler için karşılaştırmaya tabi tutulur.

ÇÖNKV çözümlemesinde, bir problemin çözümüne ulaşabilmek için, ilk basamak öz nitelik türetmedir. Keeney ve Raiffa (1976), kaynak araştırması ya da bir forumda uzmanların görüşünü alarak öz nitelik türetmeyi önermişlerdir. Öz nitelik türetirken, bir ana hedef belirlenmeli ve öz nitelikler hiyerarşik olarak bu ana hedefe göre türetilmelidir. Öz nitelikler tespit edilirken, öz niteliklerin birbirinden bağımsız olması son derece önemlidir.

Şekil 2.1‘de öz nitelikler için hiyerarşi ağacı görülmektedir. Burada 350 ölçüt hiyerarşik bir şekilde türetilmiştir. Ana ve alt öz nitelikler yedi sayısı ile sınırlandırılmış olup bu yedi sayısı Miller (1956) teorisini esas almaktadır. Miller’e göre, bir gözlemcinin bir nesne üstünde tahminlerde bulunurken nesnel yaklaşımla verebileceği öz nitelik sayısı, iki eksiği ya da fazlasıyla yedi tanedir.



Şekil 2.1 : Öz nitelikler için hiyerarşi ağacı.

Öz nitelik ağırlıklandırma:

Ağırlıklar, her öz niteliğin diğer öz niteliğe göre göreceli olarak önem derecesi olup, KV’den KV’ye göre değişir. Karar verici için tüm öz nitelikler eşit öneme sahip olmadığından, öz nitelikler arasında bir ağırlık dağılımı oluşturmak, karar verici (KV) için çok önemlidir. Ağırlıkların tayini ÇÖNKV yöntemlerinde önemli bir rol teşkil eder. Literatürde sıklıkla kullanılan iki tip ağırlık dağılımı yöntemi vardır. Bunlar; sıralama yoluyla ağırlıkların elde edilmesi ve oran ağırlıklandırma yöntemleridir (özdeğer yöntemi).

Sıralama yoluyla ağırlıkların elde edilmesi: Ağırlık tayininde en basit yol, ölçütleri önem sırasına göre dizmektir. Buna göre en önemli öz nitelik başta ve en önemsizi de sonda olacak şekilde bir sıralama yapılır. En önemli ölçütün değeri 1 olacak şekilde, tüm ölçütler için sayısal ağırlıklar Stillwell ve diğ. (1981)’e göre aşağıdaki formüllerden elde edilebilir:

$$w_j = \frac{\frac{1}{r_j}}{\sum_{k=1}^{n} \frac{1}{r_k}} \qquad \textbf{(2.1)}$$

$$w_j = \frac{\left(n - r_j + 1\right)}{\sum_{k=1}^{n} \left(n - r_k + 1\right)} \qquad \textbf{(2.2)}$$

Bu formüllerde; n değeri eldeki ölçüt sayısını, r_j ise j' inci ölçütün sıralamadaki yerini gösterir. Denklem (2.1)'den elde edilen sıralama ağırlığına "karşılıklı ağırlıklar", denklem (2.2)'den elde edilen ağırlığa da "toplam ağırlıklar" denir.

Bu denklemleri kullanırken, aynı önem sırasına sahip ölçütlerin mevcut olduğu durumlarda, bulundukları yerdeki tüm ölçütlerin ortalaması alınarak ölçütlerin önem sırası hesaplanır. Aynı anda bir çok ölçüt mevcut ise, bunlar arasında bir sıralama yapmak çok zordur. Bunun da önüne geçmek için ölçüt ikili karşılaştırmaya tabi tutulur (Morris, 1964).

Oran ağırlıklandırma (Özdeğer yöntemi): Bu teknik, iki öz niteliğin, birbirlerine göre önem oranlarını bularak ağırlık dağılımını elde etmeye çalışır. "Bir öz nitelik, başka bir öz niteliğe göre kaç kez önemlidir?" sorusuna cevap aranır. n adet öz nitelik arasında bir karşılaştırma yapabilmek için (n-1)/2 adet ikili karşılaştırmaya ihtiyaç duyulur. n(n-1)/2 adet ikili karşılaştırma verisini içeren Saaty (1980)'nin özdeğer yöntemi şu adımlardan oluşur:

1. Adım. Giriş Kodlaması: KV, ölçütler arasında n(n-1)/2 adet önem (ağırlık) oranı tespit eder. Bu bilgi, (nxn) elemanlı bir a_{jk} matrisinin üst ya da alt üçgeni için düzenlenir. Burada $a_{jk} = w_j / w_k$ olup j. satır ve k. sütundaki ağırlık oranıdır.

2. Adım. Hesaplama: (nxn) elemanlı matrisin her satırının geometrik ortalaması alınır. Bulunan değerler normalize edilir.

Öz nitelik çeşitleri :

KV tarafından kullanılan pek çok tipte öz nitelik mevcuttur. Bu çalışmada sıklıkla kullanılan iki tip öz nitelik sunulmuştur.

1. Yarar tipi öz nitelikler: Bu tip öz niteliklerin en önemli özelliği değerleri arttıkça tercih edilebilirliklerinin de artmasıdır. Bu tip öz niteliklere örnek olarak çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemi seçiminde "güvenilirlik" verilebilir.
2. Maliyet tipi öz nitelikler: Yarar tipi öz niteliklerin aksine değerleri arttıkça tercih edilebilirliği azalan öz niteliklerdir. Çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemi seçim problemindeki "işlem süresi" maliyet tipi öz niteliğe örnek olarak verilebilir.

Ölçüt Oranlarının Normalizasyonu:

Karar matrisindeki farklı ölçüm birimlerinden dolayı ortaya çıkan hesapsal zorlukları yenebilmek için normalize edilmeleri gerekir. Normalizasyonun amacı, öz nitelikler arasında karşılaştırma yapabilmek için karar verme matrisindeki değerlerin boyutsuz hale dönüştürülmesidir.

Doğrusal Normalizasyon: Bu yöntemde ölçütlerin değerleri, içlerindeki maksimum ölçüt değerine bölünmesiyle elde edilir. x_{ij} 'nin normalize edilmiş değeri;

$$r_{ij} = x_{ij} / x_j^*, \text{ i} = 1,\ldots,\text{m, j} = 1,\ldots,\text{n} \qquad \textbf{(2.3)}$$

Burada x_j^*, j. öz niteliğin maksimum değeridir. r_{ij} 'nin değeri [0,1] aralığındadır. Yarar tipi öz nitelikler için değeri 1'e yaklaştıkça tercih edilebilirliği artar.

Vektör Normalizasyonu: Her ölçütün değeri, o ölçütün normuna bölünmek suretiyle normalize işlemi yapılır. x_{ij} 'nin normalize değeri;

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}^2}}, \text{ i} = 1,\ldots,\text{m, j} = 1,\ldots,\text{n} \qquad \textbf{(2.4)}$$

(2.3) ve (2.4) normalizasyon denklemleri, yarar tipi öz nitelikler içindir. Maliyet tipi öz nitelikler için x_{ij} değerlerinin tersi alınarak $(1/x_{ij})$ değeri denklem (2.3) ve (2.4) denklemlerinde yerine konulur ve böylece yarar tipi öz niteliğe dönüşmüş olur. Doğrusal normalizasyon maliyet tipi öz nitelik için aşağıda verilen denklemle hesaplanır.

$$r_{ij} = \frac{1/x_{ij}}{\max_k \{1/x_{kj}\}} = \frac{1/x_{ij}}{1/\min_k \{x_{kj}\}} = \frac{\min_k \{x_{kj}\}}{x_{ij}} = \frac{\bar{x}_j}{x_{ij}} \quad \textbf{(2.5)}$$

Burada görüldüğü gibi $\bar{x}_j$, *j.* öz niteliğin minimum değeridir.

2.2 Karar Verme Türleri

Karar vermeyi, kullanılacak ölçüt sayısına, kullanılacak bilginin niteliklerine ve karar vericilere göre sınıflandırmak mümkündür.

2.2.1 Ölçüt sayısına göre karar verme türleri

Karar verme, ele alınan ölçüt sayısına göre ikiye ayrılabilir: Değerlendirmelerin bir ölçüt göre yapıldığı tek ölçütlü karar verme veya birden fazla ölçüt göre yapılan çok ölçütlü karar verme olarak ikiye ayrılabilir (Daft, 1991).

Tek ölçüt karar verme: Karar verme problemlerinde, tek bir ölçüt göre karar vericilerin karar vermesidir. Eldeki mevcut seçeneklerin değerlendirilmesi de yine tek ölçüte göre yapılır. Tek ölçütlü karar vermeye örnek olarak doğrusal programlama verilebilir.

Çok ölçütlü karar verme (ÇÖKV): ÇÖKV, çok sayıda ve birbirleriyle rekabet halinde olan ölçütler için seçeneklerin fayda ve zararlarını değerlendirip, en iyi karar verme seçiminin yapıldığı karar verme şeklidir. ÇÖKV karar süreçlerine destek olmak ve rekabet halindeki çoklu ölçütlere göre oluşturulan seçenekler kümesinden bir ya da daha fazla seçeneğin seçimi veya derecelendirilmesinde kullanılmaktadır.

TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), AHP (Analytical Hierarchical Process), PROMETHEE (Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations), ELECTRE (ELimination Et Choix Traduisant la REalité : Elimination and Choice Expressing the Reality), AAS (Analytical Network Process) yöntemleri ÇÖKV için örnek oluşturan oldukça yaygın yaklaşımlardır.

2.2.2 Mevcut bilgi açısından karar verme türleri

Karar verme bilginin durumuna göre belirlilik ve belirsizlik altında karar verme diye ikiye ayrılır (Daft, 1991).

Belirlilik altında karar verme: Belirlilik karar vericinin ihtiyaç duyduğu tüm bilgilerin elde edilebilmesini ifade eder. Belirlilik altındaki kararlar gerçekleşecek olay hakkındaki bilginin eksiksiz olarak bilindiği varsayımına dayanır. Belirlilik altında karar vermede karar verici, olası sonuçları bilerek mevcut seçenekler arasından kendisine en yüksek faydayı sağlayanı seçer.

Belirsizlik altında karar verme: Belirsizlik seçenekler hakkındaki bilgilerin yetersiz ve eksik, gelecekte gerçekleşmesi muhtemel olayların ise bilinememesi durumudur. Karar vericinin durum hakkında yeterince bilgi sahibi olmaması onu belirsizliğe iter. Belirsizlik altında karar verme, karar vericinin karar seçeneklerinin sonuçları hakkında tam bilgi sahibi olmaksızın karar vermesidir. Belirsizlik altında verilen kararlar sonuçlara ilişkin bilginin kesin olmadığı kararlardır.

Belirsizlik altında kararların verildiği ve aynı zamanda amaç ve kısıtların belirgin olmadığı ortam, bulanık ortamdır. Verilen kararların birçoğu amaçlar ve kısıtların yer aldığı bir ortamda gerçekleşir.

2.2.3 Karar verici(ler) açısından karar verme türleri

Bu tip karar vermeler bireysel ve grup kararları diye ikiye ayrılır. Kararın tek kişi tarafından verilmesi durumunda bireysel kararlar, birden fazla karar vericinin bir araya gelerek karar vermesiyle de grup kararları alınır.

Bireysel karar verme: Bireysel karar verme, kararların bir kişi tarafından verildiği karar verme türüdür. Bireysel karar vermede, karar verici mevcut seçenekler arasından bir seçeneği seçer. Bireysel kararlar, grup kararlarına göre daha çabuk alınabilir ve yanlış karar verildiği fark edildiğinde de, kararlar kolayca düzeltilebilir. Ancak, bu tür kararlarda az sayıda seçenek ve yaratıcı fikir üretilir.

Grup karar verme: Grup, ortak amaca sahip, grup özdeşliğinin ve sınırlarının bilincinde, karşılıklı ilişkileri düzenleyen çeşitli ortak değer ve normları olan topluluktur. Grup kararı, karar sürecine çok kişinin katılmasını ve farklı kişisel tercihlerin tek bir tercih halini almasını ifade eder. Bu kararlar, genelde fikir birliğine

varılarak veya çeşitli oylama yöntemleri kullanılarak elde edilir. Grup, seçenekleri analiz etmek için yeterli bilgi sağlayabilir.

KV'nin kararlarında, kişisel tecrübelerinin, öğrenme şekillerinin ve ruhsal durumlarının etkisi vardır ve KV'nin tercihleri birbirlerine göre büyük farklılıklar gösterebilir. Bu nedenle karar vericiler, karar verme problemlerinde, her seçenek çifti ikili karşılaştırma işlemlerinde tercihlerini ifade ederken, farklı temsil biçimleri kullanırlar. Karar vericiler tarafından karar verme problemlerinde kullanılan farklı belirgin tercih biçimleri vardır. Bunlara örnek olarak tercih sıralaması, yarar fonksiyonları, bulanık tercih ilişkileri ve çarpımsal tercih ilişkileri verilebilir (Saaty, 1980).

Karar verme problemlerinin çoğunda aşağıdaki noktalar göz önünde tutulur.

1. Verilen kararlar zaman baskısı altındadır ve bilgiler genelde eksiktir.
2. KV'lerin dikkatleri ve bilgi işleme kapasiteleri sınırlıdır.
3. Söz konusu problem bölgesinde tecrübeler, KV'den KV'ye değişiklik gösterir.

Bu sebeplerden dolayı belirgin tercih biçimleri yerine KV tarafından karar verme bilgileri, klasik sözel tercih ilişkileri ve belirsiz sözel tercih ilişkileri gibi farklı tercih yapıları kullanılarak ifade edilmesi daha gerçekçi bir yaklaşım olacaktır.

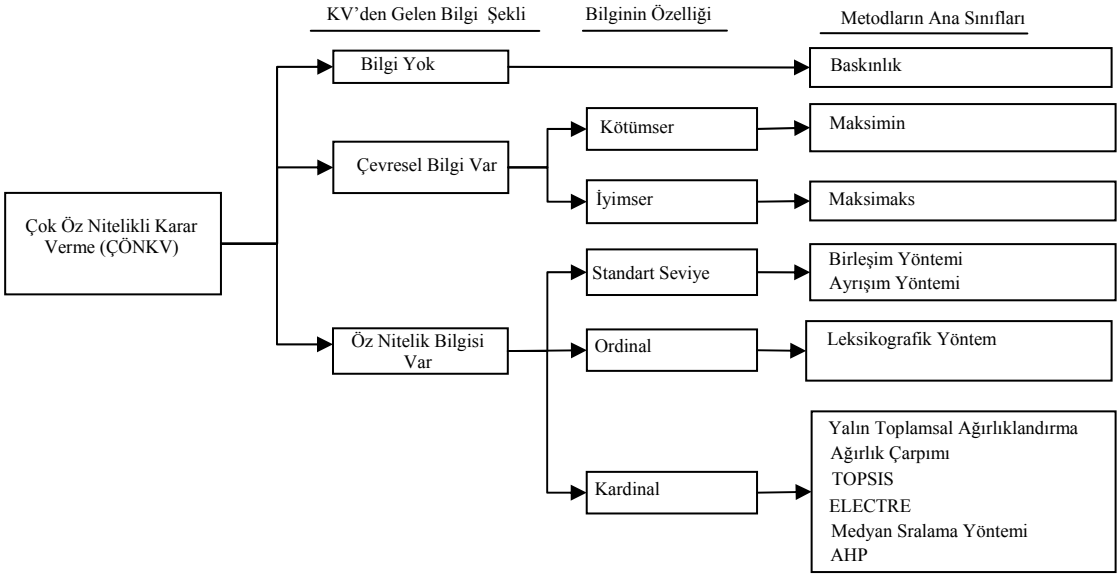
2.3 Çok Öz Nitelikli Karar Verme Yöntemleri

ÇÖNKV problemlerinin çözümü için çok sayıda yöntem kullanılmaktadır (Saaty, 1980, 2000; Hwang ve Yoon, 1981; Chen ve Hwang, 1992; Yoon ve Hwang, 1995; Triantaphyllou, 2000; Figueira ve diğ., 2004). Her yöntem kendine has birtakım özelliklere sahiptir. ÇÖNKV yöntemlerini sınıflandırmanın pek çok çeşidi vardır. Sınıflandırma yöntemlerinden biri kullanılan verinin cinsine (belirgin, stokastik veya bulanık veri) göredir. Diğer bir sınıflandırma şekli karar verme işlemindeki karar verici sayısına (tek karar verici, grup karar vericileri) göre sınıflandırmadır.

Yoon ve Hwang (1995), KV'den alınan bilginin tipine ve göze çarpan özelliklerine göre 13 ÇÖNKV yöntemi sınıflandırmışlardır (Şekil 2.2):

1. Baskınlık,
2. Maksimin,

3. Maksimaks,
4. Birleşim yöntemi,
5. Ayrışım Yöntemi,
6. Leksikografik Yöntem,
7. Görünüme Göre Eleme Yöntemi,
8. Basit Eklenen Ağırlıklandırma Yöntemi,
9. Ağırlıklı Çarpım Yöntemi,
10. TOPSIS Yöntemi,
11. ELECTRE Yöntemi,
12. Orta Değer Sıralama Yöntemi,
13. AHP Yöntemi.



Şekil 2.2 : ÇÖNKV yöntemleri için bir sınıflandırma (Yoon ve Hwang, 1995).

2.4 Bulanık Küme Teorisi

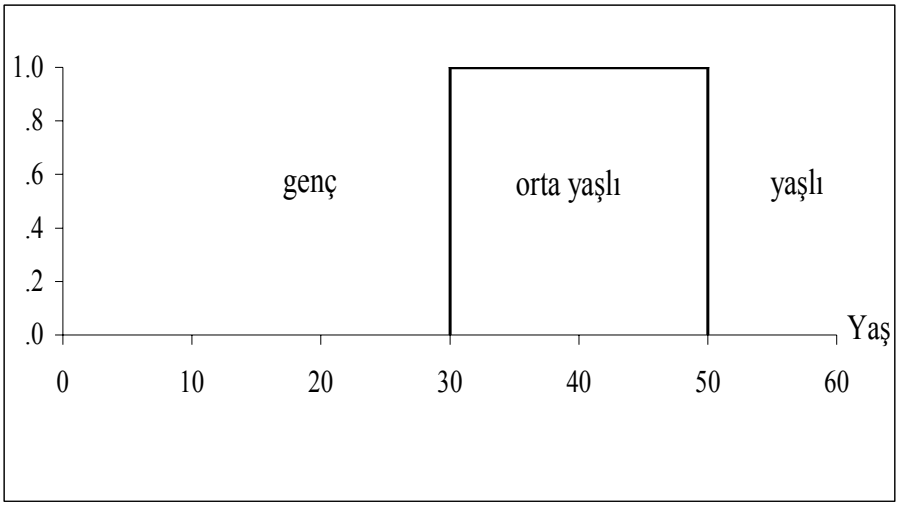
Bulanık küme teorisi ve bulanık mantık kavramı ilk kez Zadeh (1965) tarafından ortaya atılmış ve hızla gelişerek bir çok bilim adamının ilgisini çeken araştırmaya açık yeni bir bilim dalı olmuştur.

Bulanık küme teorisi temelde, insan düşünce ve algılarındaki belirsizliklerle ilgilenir ve bu belirsizlikleri sayısallaştırmaya çalışır. Bu teori klasik matematiğin çok

yetersiz kaldığı, özünde belirsizlik veya kesinlik içermeyen karar verme problemlerine, kesinlik kazandırıp çözümdeki sorunları ortadan kaldıran, kavramlar ve yöntemler sunmaktadır. Günlük hayatta sıklıkla kullandığımız yüksek, biraz yüksek, çok yüksek, az, çok az, çok fazla, ileri, çok ileri gibi belirsizlik ifade eden terimler üzerine kurulmuştur.

Bulanık mantık; tanımlamalarında belirsizlik bulunan karmaşık sistemlerin gerçekleştirilmesindeki başarısı ile en güçlü yönünü ortaya koyar. Çok karmaşık, belirsizlik içeren ve geleneksel yöntemlerle oluşturulamayan sistemlerin oluşturulmasına ve çözülmesine olanak tanıması bulanık mantığın faydalarındandır. Ayrıca, bulanık mantığın insan düşünüş tarzına yakın olması, matematiksel modellere uyum sağlaması, uygulamalarının hızlı ve ucuz olması, insan davranışlarını formüle etmesi ve yeni gelişmelere açık olması bulanık mantığın en önemli faydaları arasındadır.

Bulanık küme teorisinin ana özelliğini şu şekilde açıklamamız mümkündür. Klasik küme teorisinde, bir kümeyi oluşturan elemanlar kesin (belirgin) elemanlar olup, bir eleman kümenin ya elemanı olmakta ya da olmamaktadır (0 veya 1). Bu tür kümeler kesin kümelerdir. Klasik küme ile bulanık küme arasındaki farkı anlamak için bir örnek olarak yaş kavramını inceleyelim (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 : Yaş gruplarının kümelendirilmesi (kesin kümeler).

40 yaşının orta yaş olarak kabul edildiği bir toplumda, klasik küme kavramına göre 30 yaşın altındakiler "genç", 30-50 yaş arası "orta yaşlı", 50 yaşın üstü de "yaşlı" kümeleri olarak sınıflandırılabilir. Dolayısıyla 29.5 yaşındaki birisi "genç" iken 30.5

yaşındaki biri de "orta yaşlı" olarak tanımlanacaktır. İşte bulanık mantık burada devreye girmektedir. Keskin dünya da genç / yaşlı, açık / kapalı, soğuk / sıcak, hızlı / yavaş gibi ikili değişkenlere karşılık gerçek dünyadaki daha az yaşlı / çok yaşlı, az açık / az kapalı, serin / ılık, biraz hızlı / biraz yavaş gibi değişkenleri kullanarak bulanık kümede daha gerçekçi bir yaklaşım sunulur.

Üyelik Fonksiyonu:

Sözel ifadeler genellikle yaklaşıklık ve bulanıklık anlamları içerdiğinden dolayı bu ifadeler üzerinde matematiksel işlemler yapabilmek için bir küme ve bu kümeye ait olma üyelik fonksiyonu ile tanımlanmalıdırlar.

Üyelik fonksiyonu veya karakteristik fonksiyon, E evrensel kümesine ait bir x elemanının, A alt kümesine ait olma derecesini veren bir fonksiyondur ve $\mu_A(x)$ ile gösterilir. $\forall x \in E \, için \;\; \mu_A(x) \in [0,1]$ olmaktadır. Burada [0,1], 0'dan 1'e kadar olan kapalı aralığı temsil etmektedir. $\mu_A(x)$ alt kümesi, bulanık alt küme veya bulanık küme olarak adlandırılır. Bulanık küme, yalnızca 0 (ait değil) veya 1 (ait) değerlerini almamakta bunlardan başka 0 ve 1 arasında değerler de alabilmektedir (0.2, 0.3, 0.453, 0.795, 0.8, 0.99 gibi).

Klasik bir küme ile bulanık bir küme arasındaki temel farklılık elemanlarının aldığı üyelik derecelerinden kaynaklanmaktadır. Klasik bir kümenin elemanlarının üyelik dereceleri yalnızca 0 ve 1 değerlerini alırken, bulanık bir kümenin elemanlarının üyelik dereceleri, [0,1] kapalı aralığındaki herhangi bir değer olabilmektedir.

Bir bulanık kümenin üç özelliği sağlaması gerekir (Şen, 2004).

- Bulanık küme normal olmalıdır. Bu, o kümede bulunan öğelerden en az bir tanesinin en büyük üyelik derecesi olan 1'e eşit olması gerekliliğini ifade eder.
- Bulanık küme monoton olmalıdır. Bu, üyelik derecesi 1'e eşit olan öğeye yakın sağdaki ve soldaki üyelerin üyelik derecelerinin de 1'e yakın olması gerekliliğini ifade eder.
- Üyelik derecesi 1'e eşit olan öğeden sağa ve sola eşit mesafede hareket edildiği zaman bulunan öğelerin üyelik dereceleri birbirine eşit olmalıdır. Bu özelliğe simetrik olma özelliği denilir.

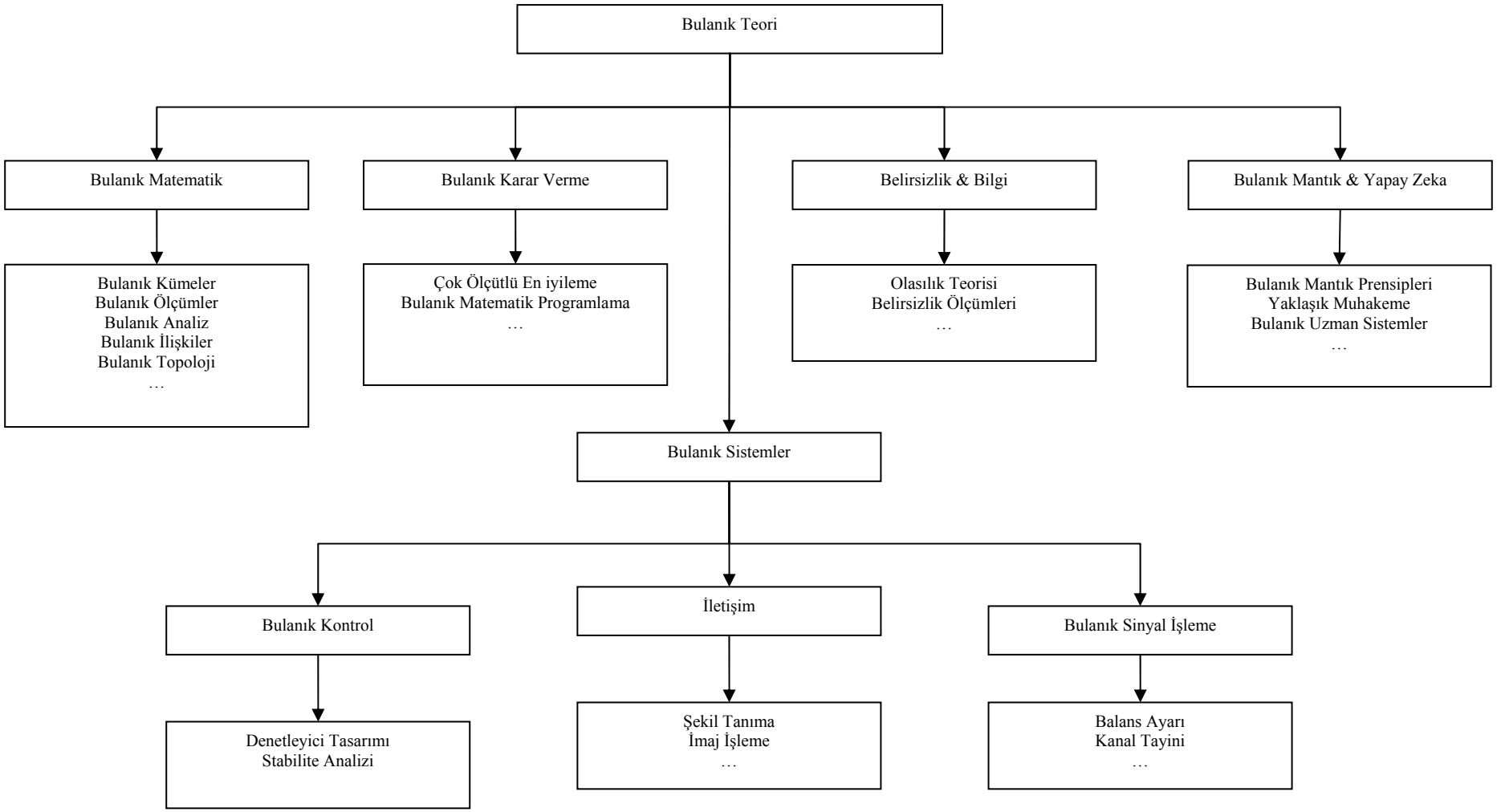
Bulanık bir kümenin bu üç özellikten ilk ikisini mutlaka sağlayacak biçimde değişik üyelik derecesi fonksiyonuna sahip olması gerekmektedir. Bulanık küme simetrik olma şartını sağlamak zorunda değildir.

Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde klasik ve bulanık küme yaklaşımlarını kullanmanın yanında pek çok farklı yaklaşım mevcuttur (Şen, 2004). Bunlar sezgi, çıkarım, mertebeleme, açılı bulanık kümeler, yapay sinir ağları, genetik algoritmalar ve çıkarımcı muhakeme gibi değişik yaklaşımlardır. Yapılan çalışmada, bulanık küme yaklaşımı kullanıldığı için, diğer yaklaşımlar bu çalışmada verilmeyecektir.

Bulanık teori, bulanık küme teorisi temel kavramlarını veya üyelik fonksiyonlarını kullanır. Bulanık küme teorisini beş ana koldan oluşan bir yapıda sınıflandırmak mümkündür (Wang, 1997) (Şekil 2.4):

- Bulanık matematik: (Klasik küme ve klasik matematik ile bunlara ait temel kavramlar bulanık ortamda bulanık küme, bulanık ölçümler, bulanık analiz, bulanık ilişkiler ve bulanık topoloji gibi kavramlara genişletilmektedir)
- Bulanık sistemler (kontrol, iletişim ve sinyal işleme süreçleri için bulanık mantık yaklaşımlarını içerir)
- Bulanık karar verme (çok öz nitelikli en iyileme ve bulanık matematik programlamadan oluşur)
- Belirsizlik ve bilgi (farklı tipteki belirsizliklerin analizleri yapılır)
- Bulanık mantık ve yapay zeka (klasik mantığa yakınsama yaklaşımları vardır ve bulanık bilgi ve tahmini muhakemeyi esas alan uzman sistemler geliştirilmiştir)

Elbette, bu beş kol birbirinden tamamen bağımsız değildir. Aksine aralarında güçlü bağlantılar vardır. Örneğin, bulanık kontrol bulanık matematikten bulanık mantığa kadar pek çok kavramı kullanır.



Şekil 2.4 : Bulanık küme teorisi için bir sınıflandırma (Wang, 1997).

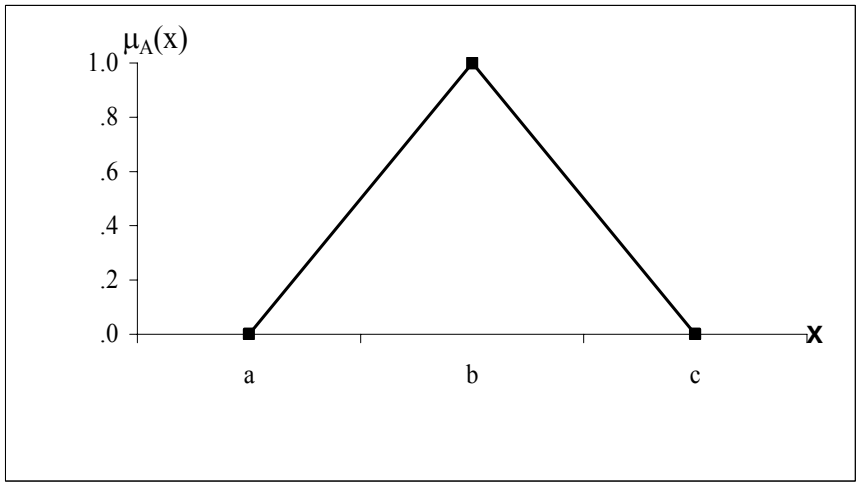
Bulanık Sayılar:

Üyelik fonksiyonları klasik kümelerde bir dikdörtgen ile ifade edilirken bulanık kümelerde bunlara ilaveten doğrusal veya eğrisel bir fonksiyon şeklinde de ifade edilebilmektedir. Bulanık sayılar en çok üçgen veya yamuk üyelik fonksiyonlarla ifade edilmekte olup bu fonksiyonlar aşağıda verilmiştir.

1. Üçgen Bulanık Sayılar:

Üçgen bulanık sayılar (a, b, c) şeklinde üç elemandan oluşan sayılardır. (Şekil 2.5)'de gösterilen üçgen bulanık sayı için üyelik fonksiyonu aşağıda verilmiştir.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & , x < a \\ \dfrac{x-a}{b-a} & , a \le x < b \\ \dfrac{c-x}{c-b} & , b \le x < c \\ 0 & , x > c \end{cases} \qquad \textbf{(2.6)}$$

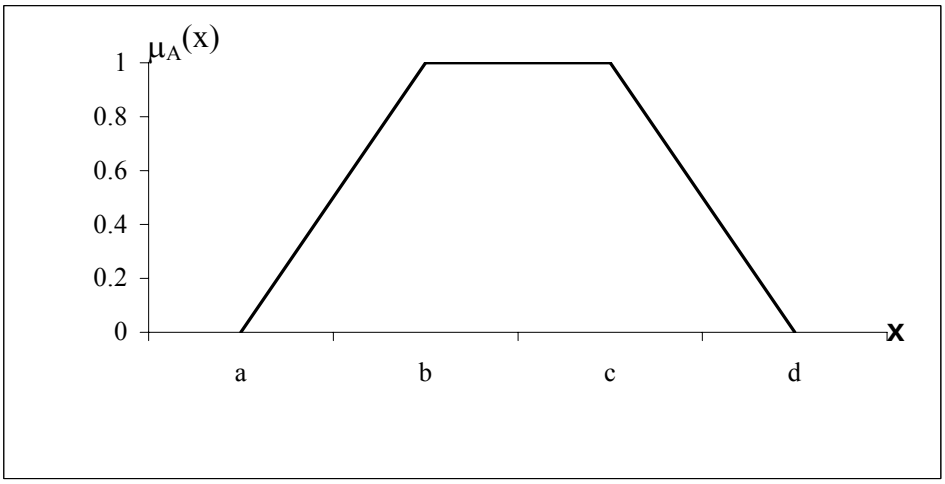


Şekil 2.5 : Üçgen bulanık sayı.

2. Yamuk Bulanık Sayılar:

Yamuk bulanık sayılar (a, b, c, d) şeklinde dört sayı ile temsil edilen sayılardır. (Şekil 2.6)' de gösterilen yamuk bir bulanık sayı için üyelik fonksiyonu aşağıdaki ifade ile belirlenir.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & , \text{x} < \text{a} \\ \dfrac{x-a}{b-a} & , \text{a} \le x < b \\ 1 & , \text{b} \le x < c \\ \dfrac{d-x}{d-c} & , \text{c} \le x < d \\ 0 & , \text{x} \ge \text{d} \end{cases} \quad \textbf{(2.7)}$$



Şekil 2.6 : Yamuk bulanık sayı.

3. Bulanık Sayılarda İşlemler:

$\tilde{M}_1 = (l_1, m_1, u_1)$ ve $\tilde{M}_2 = (l_2, m_2, u_2)$ iki üçgen bulanık sayı olmak üzere, aşağıdaki aritmetik işlemler geçerlidir (Triantaphyllou, 2000):

$$\tilde{M}_1 \oplus \tilde{M}_2 = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2) \quad \textbf{(2.8)}$$

$$\tilde{M}_1 \Theta \tilde{M}_2 = (l_1 - l_2, m_1 - m_2, u_1 - u_2) \quad \textbf{(2.9)}$$

$$\tilde{M}_1 \otimes \tilde{M}_2 = (l_1 l_2, m_1 m_2, u_1 u_2) \quad \textbf{(2.10)}$$

$$\tilde{M}_1 \varnothing \tilde{M}_2 = (l_1 / u_2, m_1 / m_2, u_1 / l_2) \quad \textbf{(2.11)}$$

Aynı aritmetik işlemler $\tilde{M}_1 = (a_1, b_1, c_1, d_1)$ ve $\tilde{M}_2 = (a_2, b_2, c_2, d_2)$ şeklindeki iki yamuk bulanık sayı içinde aşağıdaki gibidir.

$$\tilde{M}_1 \oplus \tilde{M}_2 = (a_1 + a_2, b_1 + b_2, c_1 + c_2, d_1 + d_2) \quad \textbf{(2.12)}$$

$$\tilde{M}_1 \Theta \tilde{M}_2 = (a_1 - a_2, b_1 - b_2, c_1 - c_2, d_1 - d_2) \quad \textbf{(2.13)}$$

$$\tilde{M}_1 \otimes \tilde{M}_2 = (a_1 a_2, b_1 b_2, c_1 c_2, d_1 d_2) \quad \textbf{(2.14)}$$

$$\tilde{M}_1 \varnothing \tilde{M}_2 = (a_1 / d_2, b_1 / c_2, c_1 / b_2, d_1 / a_2) \quad \textbf{(2.15)}$$

2.5 Bulanık Çok Ölçütlü Karar Verme

Klasik ÇÖNKV yöntemlerinde kullanılan ölçüt ve ölçüt ağırlıkları genelde belirgin değerler içerir. Özünde bulanıklık içeren karar verme problemlerin çözümünde, seçeneklerin oranlaması ve sıralanması işlemlerinde, klasik ÇÖNKV yöntemlerinin belirgin yaklaşımları yetersiz kalır. Gerçek dünyada verilen kararların çoğunda, öz nitelik performansları nitel veya sözel terimler kullanılarak ifade edilirler. Klasik ÇÖNKV problemlerinin uygulaması, kesin olmayan veya doğuştan belirsizlik içeren ölçütlerden oluşan bilgiler nedeniyle imkansızdır (Kahraman, 2008).

ÇÖNKV problemlerinde öz niteliklerin belirgin oranlarla ifade edilmesi için, oranları ve önem derecelerinin tümü kesin olarak bilinmelidir. Ancak, gerçek dünyada karşılaştığımız karar verme problemlerinde amaçlar, kısıtlamalar, olası sonuçların çoğu belirgin olmayan bir ortamda gerçekleşir (Bellman ve Zadeh, 1970). Bu nedenle bulanık (fuzzy) ve deteministik değerlerin bir arada olduğu karar verme problemlerinde klasik ÇÖNKV yöntemlerini kullanmak uygun olmaz.

Bulanık kelimesi, öz nitelik ya da amaçların belirgin olarak ifade edilmediği durumu ifade eder. Bulanıklığın anlamı, bir araştırıcının incelediği konunun kendisi tarafından tam kesinlikle bilinmemesi durumunda sahip olduğu eksik ve belirsiz bilgilerin tümüdür. Böylece araştırıcı, klasik analitik yöntemler ile dinamik ve korunum ilkeleri (enerjinin, maddenin, momentumun korunumları gibi) ile elde ettiği denklemleri, verilerinde ve bilgilerinde belirsizlik yani bulanıklık bulunduğu için doğrudan kullanamaz. Araştırıcının incelediği olay veya mekanizma sadece kesin kurallı, çıkarımlarda kabul ve varsayımlar olan denklemler yerine, onların

tamamlayıcısı olarak sözel, bulanık ve oldukça belirsiz bilgiler içerecek şekilde daha gerçekçi bir şekilde modellenebilir (Şen, 2004).

Mevcut bilginin değerlendirme için yeterli olmadığı veya gerçek durumları modellemede belirgin değerlerin eksik olduğu durumlar içinde benzer durumlar söz konusudur. Klasik ÇÖNKV yöntemleri, öz niteliklerin tüm performans değerlerinin bilindiği ve belirgin sayılarla ifade edildiği durumlarda işlem yapabildiği için, bulanık problemlerin çözümünde yetersizdir. Bulanık küme teorisinin ÇÖNKV'nin çalışma alanına uygulanması, amaçlar ve kazanımların belirgin olarak değil, bulanık küme kullanılarak tanımlanmasıyla kendini kanıtlamıştır (Zimmermann, 1987). ÇÖNKV problemlerindeki belirsizlik ve bulanıklığın varlığı, karar verme olgusunun karmaşıklığını açık bir şekilde arttırır. Bulanık veya nitel veriyi belirgin veriye göre işlemek hem çok zordur hemde seçilecek seçeneğin sıralama işlemi için hesaplama gereksinimleri daha fazladır (Chen ve Hwang, 1992).

2.6 Bulanık Sıralama Yöntemleri

Karar verme problemlerinde, bulanık sayıların sıralanması ya da derecelendirilmesi pratikte büyük bir öneme sahiptirler (Lin, 2002). Örneğin; en iyiyi seçme işlemi, sıralama veya karşılaştırma işlemlerini tam anlamıyla yapmak suretiyle gerçekleşir (Chang ve diğ., 2006). Bulanık sayıları sıralama işleminin nasıl yapılacağı, bulanık karar verme problemlerinin çözümündeki en önemli basamaklardan biridir. Bu nedenle, bulanık sayıların karşılaştırılmasında literatürde pek çok araştırıcı tarafından önerilmiş bulanık sıralama yöntemleri mevcuttur. Sıralama işlemleri bulanık kümelerin değişik özelliklerine göre yapılabilmektedir (ideal derece, Hamming mesafesi vb.). Zimmermann (1987), Lee ve Li (1988), Chen ve Hwang (1992) mevcut yöntemleri karşılaştırmışlardır. Chen ve Hwang (1992), bulanık sıralama yöntemlerini tercih ilişkileri, bulanık ortalama ve dağılımları, bulanık skorlama ve sözel ifadeler altında 4 ana grupta toplamışlardır (Çizelge 2.2).

Yapılan çalışmada skorlama aşamasındaki durulaştırma işlemi için Liou ve Wang (1992)'ın yöntemi kullanıldığı için bu yöntemin açıklamaları yeterli görülmüştür.

Liou ve Wang (1992) bulanık sayıların sıralamak için, karar vericinin tutumuna bağlı toplam integral değeri yöntemini kullanmıştır.

Çizelge 2.2: Bulanık sıralama yöntemleri sınıflaması (Chen ve Hwang, 1992).

	Kıyaslama şekli	İlgili teknik	Yaklaşımlar
Bulanık sıralama	Tercih ilişkisi	İdeal derece	Baas ve Kwakernaak (1977) Baldwin ve Guild (1979) Watson ve diğ. (1979)
		Hamming mesafesi	Yager (1980) Kerre (1982) Nakamura (1986) Kolodziejczyk (1986)
		α-kesimi	Adamo (1980) Buckley ve Chanas (1989) Mabuchi (1988)
		Karşılaştırma fonksiyonu	Tsukamoto ve diğ. (1983) Dubois ve Prade (1983) Delgado ve diğ. (1988)
		Cazibe göstergesi	Nojavan ve Ghazanfari (2006)
	Bulanık ortalama ve dağılımı	Olasılık dağılımı	Lee ve Li (1988)
	Bulanık skorlama	İdeal oranı	McCahone (1987)
		Sol/sağ derecesi	Jain (1978) Chen (1985) Chen ve Hwang (1992) Kim ve Park (1990) Chen ve diğ. (1989)
		Ağırlık merkezi göstergesi	Yager (1978) Murakami ve diğ. (1983)
		Alan ölçümleri	Yager (1980) Choobineh ve Li () Liou ve Wang (1992)
	Sözel anlatımlar	Önsezi	Efstathiou ve Tong (1980)
		Sözel tahminler	Tong ve Bonissone (1984)

Bu yöntemde $\tilde{A} = (a,b,c)$ üçgen sayı ve α iyimserlik göstergesi olmak üzere,

$$I_T^{\alpha}(\tilde{A}) = \frac{1}{2}\left[\alpha a_3 + a_2 + (1-\alpha)a_1\right] \qquad \textbf{(2.16)}$$

şeklinde toplam integral değeri hesaplanır.

Karar vericinin iyimserlik göstergesi olan α değeri $[0,1]$ aralığındadır. α büyüdükçe iyimser bir karar verici, küçüldükçe karamsar bir karar verici söz konusudur. Tarafsız

bir karar verici için gösterge değeri 0.5 olmaktadır. 0 değeri tam kötümser karar verici, 1 değeri ise tam iyimser karar vericiyi temsil eder.

2.7 Bulanık Çok Öz Nitelikli Karar Verme Yöntemleri

Bellman ve Zadeh (1970) ve Zimmermann (1978) bulanık küme kavramını, klasik ÇÖNKV çalışma alanına uygulamışlardır. Klasik ÇÖNKV teknikleri ile çözülemeyen ya da kabul edilemiyen problemleri çözecek yeni teknikler için yeni bir yöntem açıklamışlardır. Bellman ve Zadeh (1970) bulanık ortamda karar verme konusunda ilk yöntemi sunmuşlardır. Bulanık amaçlar ve sınırlamaların bir seçenek uzayında sistematik bir şekilde bulanık küme olarak tanımlanabileceğini ifade etmişlerdir.

Zimmermann (1987) bulanık ÇÖNKV yöntemlerinin iki fazdan oluştuğunu ifade etmiştir. İlk faz, her bir seçenek için tüm öz niteliklerin performans oranlarının (veya memnuniyet dereceleri) bulunması safhası, ikincisi ise tüm performans oranlarının toplanmasına göre seçeneklerin derecelendirilmesi için, bulanık sıralama yöntemlerinin uygulanması safhasıdır.

Baas ve Kwakernaak (1977)' in yaklaşımı, BÇÖNKV yöntemi olarak pek çok klasik çalışmada yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Diğer benzer bulanık karar verme modelleri için bir ölçü olmuştur. Bulanık kümeyi kullanan, çok sayıdaki öz niteliklerin oranlanması ve seçeneklerin sıralanması evreleri şeklinde iki safhadan oluşan ÇÖNKV yaklaşımıdır.

Yager (1977, 1978) bir karar bulanık kümesini, tüm bulanık amaçların bir kesişimi olarak ifade etmiştir. En iyi seçenek, tüm ölçüt değerlerine göre en büyük üyelik fonksiyonuna sahip olabilir ama bu durum ÇÖNKV problemlerinde nadiren gerçekleşir. En iyi kabul edilebilir seçeneğe ulaşabilmek için maksimum ve minimum operatörlerinin kombinasyonunu içeren bir uzlaşma çözümü önermiştir. Her öz niteliğin göreceli önemini hesaplamak için karşılaştırma matrisini esas alan Saaty (1977)'nin ikili karşılaştırma yöntemini önermiştir.

BÇÖNKV yöntemleri konusunda literatürde pek çok çalışma ve uygulama mevcuttur. Liang ve Wang (1991) bulanık ortamda tesis yeri seçimi problemi için bir algoritma geliştirmiştir. Liang ve Wang (1993) bu algoritmayı aynı zamanda robot seçim problemine de uygulamışlardır. Liang (1999) ağırlıklı uygunluk karar matrisini

geliştirmeyi hedeflemiş ve çeşitli öz niteliklere karşılık gelen farklı seçeneklerin ağırlıklı uygunluğunu elde etmek için, pozitif ve negatif ideal noktaları esas alan yeni bir BÇÖNKV yöntemi geliştirmiştir. Yeh ve diğ. (2000) şehir içi yolcu taşıma sistemi problemi çözümünde belirgin sıralama değerleri veren bir BÇÖNKV yöntemi kullanmıştır. Perego ve Rangone (1998), ileri üretim teknolojilerinin seçimi problemi için BÇÖNKV yöntemi uygulaması için iyi bir kaynak çalışması sunmuşlardır. Ekel (1999) en iyileme problemlerinin çözümü için genel bir yaklaşım sunmuştur. Mentes (2000) manevra ve sevk sistemi seçim problemi çözümünde iki farklı BÇÖNKV yöntemini önermiştir. Ölçer ve Odabaşı (2005) gemi inşaa sanayinde problemlerin çözümü için homojen ve heterojen grup ağırlıklarını hesaba katan yeni bir BÇÖNKV yöntemi önermişlerdir. Wang ve Parkan (2005) ÇÖNKV problemlerinin çözümünde seçeneklerin bulanık tercih bilgisini kullanır ve sıralama işleminde de özdeğer yöntemini önermişlerdir. Ling (2006) öz nitelik ağırlıkları ve karar matrisi elemanlarının bulanık değişkenlerden oluştuğu bir BÇÖNKV yöntemi sunmuştur. Xu ve Chen (2007), bulanık ortamda çok öz nitelikli grup kararları için karşılıklı etkileşimli bir yöntem geliştirmişlerdir.

BÇÖNKV konusunda çok sayıda iyi inceleme mevcuttur (Luhandjula, 1989; Chan ve Hwang (1992; Sakawa, 1993; Fodor ve Roubens, 1994).

Perego ve Rangone (1998) BÇÖNKV tekniklerini dört ana gruba ayırmışlardır. Bunlar bulanık amaç yöntemi, bulanık sözel modeller, ikili karşılaştırmaları esas alan bulanık hiyerarşik modeller ve bulanık mantığı esas alan sezgisel modellerdir.

Literatürde kullanılan BÇÖNKV yöntemleri için iyi bir sınıflama Ölçer ve Odabaşı (2005) tarafından verilmiştir (Çizelge 2.3)

Çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemi seçim probleminde bulanık AHP ve bulanık TOPSIS yöntemlerinden oluşan melez bir yöntem kullanılacağı için, tüm BÇÖNKV yöntemlerini incelemek yerine bu tezde kullanılacak yöntemler ilerleyen bölümlerde ayrıntılı bir şekilde ele alınacaktır.

2.7.1 AHP yöntemi

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), karmaşık karar verme problemlerinin çözümünde kullanılan en yaygın analitik çözüm tekniklerden biridir (Saaty, 1980, 2000).

Çizelge 2.3 : Literatürdeki BÇÖNKV yöntemlerinin sınıflandırması.

BÇÖNKV Yöntemleri	Performans Oranları		Öz Nitelik Ağırlıkları		Faz I Sonuçları	GKV
	Belirgin	Bulanık	Belirgin	Bulanık		
SAW tabanlı yöntemler						
Baas ve Kwakernaak (1977)		√		√	Bulanık	
Kwakernaak (1979)		√		√	Bulanık	
Dubois ve Prade (1983)		√		√	Bulanık	
Cheng ve McInnis (1980)		√		√	Bulanık	
Bonissone (1982)	√	√	√	√	Bulanık	
AHP tabanlı yöntemler						
Laarhoven ve Pedrcz (1983)		√		√	Bulanık	√
Buckley (1985b)		√		√	Bulanık	√
Ruoning ve Xiaoyan (1992)		√		√	Bulanık	√
Chang (1996)		√		√	Bulanık	√
Outranking ilişkili yöntemler						
Roy (1977)	√		√		Belirgin	
Siskos ve diğ. (1984)	√		√		Belirgin	
Brans ve diğ. (1984)	√		√		Belirgin	
Takeda (1982)	√		√		Belirgin	
Wang (1997)		√		√	Belirgin	
Implied Conjunction yöntemleri						
Bellman ve Zadeh (1970)		√			Belirgin	
Yager (1977, 1978)		√	√		Belirgin	
Bulanık sözel yöntemler						
Liang ve Wang (1991, 1993)		√		√	Bulanık	√
Chang ve Chen (1994)		√		√	Bulanık	√
Wang ve Chang (1995)		√		√	Bulanık	√
Chen (1997)		√		√	Bulanık	√
Rangone (1998)		√		√	Bulanık	
Liang (1999)		√		√		
Yeh ve diğ. (2000)		√		√		
Chen (2001)		√		√		
Olcer ve Odabasi (2005)	√	√		√	Bulanık	√
Kulak ve Kahraman (2005a)	√	√	√	√	Bulanık	√
Li (2007)		√	√	√	Bulanık	
Diğer BÇÖNKV yöntemleri						
Efstathiou (1979)		√			Bulanık	√
Dubois ve diğ. (1988)		√	√		Belirgin	
Negi (1989)	√	√		√	Belirgin	
Chen ve Hwang (1992)	√	√	√		Bulanık	
Aouam ve diğ. (2003)	√	√	√	√	Bulanık	
Chen ve Larbani (2006)				√	Bulanık	
Xu ve Yager (2008)				√	Bulanık	

Karmaşık bir problemi, sezgisel hiyerarşik bir yapı kullanarak formüle eden temellere dayanır. AHP'yi bilmek hiyerarşik ağaç yapısını kullanarak çözülen problemleri anlamak açısından oldukça önem taşımaktadır. Bu şekilde oluşturulmuş bir hiyerarşi en az üç seviyeden meydana gelir. En üst seviye de hedef, orta seviye de seçeneklerin değerlendirildiği öz nitelikler, en alt seviyede de seçenekler yer almaktadırlar. Eğer öz nitelikler çok soyut veya geniş kapsamlı ise orta kademe daha fazla seviyeden oluşturulur.

Çok sayıda fonksiyonel karakteristiklere sahip olması AHP' yi kullanışlı bir yöntem haline getirir. Bunlar; öznel muhakeme, çok sayıda karar vericiyi hesaba katma, tercih tutarlılığı yeteneği gibi özelliklerdir (Triantaphyllou, 2000). AHP nesnel ve öznel öz nitelikleri hesaba katar.

Geometrik ortalama yöntemini kullanan AHP yönteminin ana usulleri şu şekilde sıralanabilir:

1. Karar vericinin amacı doğrultusunda öz nitelikler ve onlara ait alt öz nitelikler belirlenir, değerlendirilir ve hiyerarşi ağacı oluşturulur. Bu ağaçta üst seviyeye bir hedef ya da amaç, ikinci seviyeye seçenekleri tanımlayan öz nitelikler, üçüncü seviyeye ise seçimi yapılacak seçenekler yerleştirilir.
2. Amaç ve hedeflerle ilgili olarak mevcut öz niteliklerin göreceli önemleri ve ağırlıkları belirlenir.

Göreceli önem ölçeğini kullanarak ikili karşılaştırma matrisleri elde edilir. Matrislerin oluşturulması için, (Çizelge 2.4)' de verilen 1 ile 9 arasında tam sayılardan oluşan bir dönüşüm ölçeği kullanılır (Saaty, 1980, 2000).

Çizelge 2.4 : Saaty karar ölçeği.

Önem Derecesi	Tanımlama
1	Eşit öneme sahip
3	Biraz daha fazla önemli
5	Güçlü derecede daha fazla önemli
7	Çok güçlü derecede daha fazla önemli
9	Kesinlikle daha fazla önemli
2,4,6,8	Ara önem değerleri

$A_{n\times n}$ matrisindeki a_{ij} elemanı, i. öz nitelikle j. öz niteliğin ikili karşılaştırma oranını göstermektedir.

$$A_{n\times n}=\begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & . & . & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & a_{23} & . & . & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & 1 & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & . & . & 1 \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} 1 & w_1/w_2 & w_1/w_3 & . & . & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & 1 & w_2/w_3 & . & . & w_2/w_n \\ w_3/w_1 & w_3/w_2 & 1 & & & \\ . & & & . & & \\ . & & & & . & \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & w_n/w_3 & & & 1 \end{bmatrix} \quad \textbf{(2.17)}$$

$i=1,2,...,n;\ j=1,2,...,n$

Her öz niteliğin göreceli normalize ağırlık değeri w_j,

a) i. satırın geometrik ortalaması hesaplanarak,

b) karşılaştırma matrisindeki satırların geometrik ortalamalarının normalizasyonu ile bulunur. Bu, aşağıdaki denklemler kullanılarak elde edilir.

$$GM_j=\left[\prod_{j=1}^{m} a_{ij}\right]^{1/m} \quad \textbf{(2.18)}$$

$$w_j=\frac{GM_j}{\sum_{j=1}^{m} GM_j} \quad \textbf{(2.19)}$$

AHP hesap tahminlerindeki uyumsuzlukların az olması, kullanımının basit olması ve maksimum öz değerinin kolay hesaplanması nedeniyle öz niteliklerin göreceli normalize ağırlıklarının hesabında yaygın bir şekilde kullanılır.

3. Seçeneklerin ikili karşılaştırılmaları yapılır.
4. Seçeneklerin toplam performans skorları elde edilir. Bunun için her öz niteliğin normalize ağırlık w_j değerleri ile seçeneklerin bunlara karşılık gelen normalize ağırlık değerleri çarpılır ve her seçenek için bu değerler toplanır.

AHP yönteminde ikili karşılaştırma matrisleri elde edildikten sonra, öz değer ($\lambda_{\max}$) hesaplanarak tutarlılık analizi yapılır. Tutarlılık göstergesi (CI: Consistency Index), n boyutlu matris için şu şekilde hesaplanır:

$$CI=(\lambda_{\max}-n)/(n-1) \quad \textbf{(2.20)}$$

Tutarlılık oranı CR, (Çizelge 2.5)'deki rassal tutarlılık göstergesi (RI) (Saaty, 1996) ile CI oranına eşittir. Kullanılan RI, tesadüfü bir göstergedir. Eğer CR oranı %10 ve altında ise kabul edilebilir, %20'ye kadar hoşgörülebilir ama daha fazla ise değerlendirme matrisi tutarsızdır. Tutarsızlığı gidermek için tekrar değerlendirme işlemine tabi tutulur.

$$CR = \frac{CI}{RI} \tag{2.21}$$

Çizelge 2.5 : Rassal gösterge değerleri.

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

2.7.2 Bulanık AHP yöntemi

Klasik AHP yönteminde, Karar vericiler değerlendirmelerde bulunurken belirgin sayılar kullanmaktadırlar. Gerçek dünya pek çok eksik, belirsiz veya bulanık bilgileri içeren problemlerden oluşur. Bu nedenle BKT'yi içine alan AHP yöntemlerine geçiş bir zorunluluk haline gelmiştir.

AHP yöntemi ve varyasyonları modern karar verme anlayışında güçlü pek çok özellikleri ile bir dönüm noktası olmuştur (Tong ve Bonissone, 1984; Zimmermann, 1987; Chen ve Hwang, 1992; Deng, 1999):

- Belirsiz, kesin olmayan ve sözel veriyi kullanma yeteneği,
- Sıralama problemlerini çözmedeki yeteneği,
- Yöntem açıklığı ve matematiksel basitliği,
- Bulanık mantık ve BKT'ye olan elverişliliği

Çeşitli araştırmacılar tarafından önerilmiş çok sayıda bulanık AHP yöntemi vardır. Bu yöntemler seçeneklerin seçimi ve karar verme problemlerinin yorumlanmasında, BKT (Zadeh, 1965) kavramını ve hiyerarşik yapı analizini kullanan sistematik çözüm yaklaşımlarıdır. Karşılaştırma işleminin belirsiz ve bulanık doğası nedeniyle, Karar vericilerin tercihleri kesin değildir. Bu nedenle karar vericiler, karar verme aşamalarında sabit değerli tahminlerde bulunmak yerine, yaklaşık tahminlerde bulunmanın daha emniyetli olduğunu düşünürler.

Bulanık AHP konusundaki ilk çalışmalar Van Laarhoven ve Pedrycz (1983) tarafından yapılmış olup, bu çalışmalarda bulanık karşılaştırma oranları üçgen bulanık sayılarla ifade edilmiştir. Buckley (1985b) bulanık karşılaştırma oranlarının bulanık önceliklerinin hesabında yamuk üyelik fonksiyonunu kullanmıştır. Stam ve diğ. (1996) AHP'deki tercih oranlarını tahmin etmek veya hesaplamak için yapay zeka tekniklerini kullanmışlardır. Onlar, ileri beslemeli sinir ağları (feed-forward neural network) formülasyonunun, kesin olmayan veya bulanık oran ölçekli tercih yargılarına sahip soyut çok öz nitelikli karar problemlerinin analizi için güçlü bir araç olduğunu ortaya koymuşlardır. Chang (1996), bulanık AHP yönteminde uzatılmış analiz yöntemi denilen yeni bir yaklaşım ortaya koymuştur. Bu yöntemde üçgen bulanık sayıları ve ikili karşılaştırma matrislerini kullanmışlardır. Cheng (1997), denizden atılan taktik füze sistemlerinin değerlendirmesi için üyelik fonksiyonu sınıflandırma değerine dayanan yeni bir bulanık AHP yöntemi geliştirmiştir. Weck ve diğ. (1997) farklı üretim döngüsü seçeneklerini, klasik AHP' ye bulanık mantık matematiğini ekleyerek değerlendiren bir yöntem önermişlerdir.

Literatürde bulanık AHP yöntemini kullanarak yapılan pek çok çalışma vardır: Cheng ve diğ. (1999) ağır silah sistemlerinin değerlendirmesi için sözel değişken ağırlığını esas alan yeni bir AHP yöntemi önermiştir. Zhu ve diğ. (1999) uzatılmış analiz yöntemi ve bulanık AHP'nin uygulaması konusunda yorumlarda bulunmuşlardır. Bozdağ ve diğ. (2003) bilgisayar destekli imalat sistemlerinin seçimi için AHP yi kullanmışlardır. Kahraman ve diğ. (2004) en iyi müşteri memnuniyetini sağlayan en iyi Türk yiyecek-içecek sağlama servisini seçmek için analitik bir araç önermişlerdir. Ayağ ve Özdemir (2008) imalat makinesi seçeneklerinin değerlendirmesi için bulanık AHP yönemini kullanmışlardır. Pan (2008) uygun köprü yapım yönteminin seçimi için bulanık AHP yöntemini kullanmıştır. Güngör ve diğ. (2009) personel seçim problemi için bulanık AHP yöntemini kullanmışlardır. Çelik ve diğ. (2009) ticaret filosu kaydının seçimi konusunda bulanık uzatılmış AHP yöntemini kullanmışlardır.

Chang (1992, 1996)'in Bulanık AHP Yöntemi:

Chang (1992, 1996) bulanık karar verme problemlerinin çözümü için derece analiz modelini (extent analysis model) geliştirmiştir. Bu yöntemde, $X = \{x_1, x_2, ..., x_n\}$ nesneler kümesi ve $G = \{g_1, g_2, ..., g_n\}$ amaçlar kümesi olsun.

Böylece her bir nesne için m derece analiz değerleri, aşağıdaki adımlar takip edilerek elde edilebilir.

$$M_{gi}^{1}, M_{gi}^{2}, ..., M_{gi}^{m},\ i = 1,2,...,n \tag{2.22}$$

Bu denklemdeki tüm M_{gi}^{j} değerleri üçgen bulanık sayılardır. Chang (1992, 1996)'in derece analiz yöntemi aşağıdaki adımlardan oluşur.

1. Adım: i. nesneye karşılık gelen bulanık sentetik derece değeri,

$$S_i = \sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} \otimes \left[\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} \right]^{-1} \tag{2.23}$$

şeklinde tanımlanır.

$\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j}$'i elde etmek için, m derece analiz değerlerinin bulanık toplama işlemi aşağıdaki gibi yapılır:

$$\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} = \left(\sum_{j=1}^{m} l_i, \sum_{j=1}^{m} m_i, \sum_{j=1}^{m} u_i \right) \tag{2.24}$$

ve,

$$\left[\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} \right]^{-1} \tag{2.25}$$

denklemini elde etmek için, $\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j}$ değerlerinin bulanık ekleme işlemi gerçekleştirilir.

$$\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} = \left(\sum_{i=1}^{n} l_i, \sum_{i=1}^{n} m_i, \sum_{i=1}^{n} u_i \right) \tag{2.26}$$

Yukarıdaki denklemin tersi hesaplanırsa;

$$\left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j}\right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^{n} u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} l_i}\right) \quad \textbf{(2.27)}$$

elde edilir.

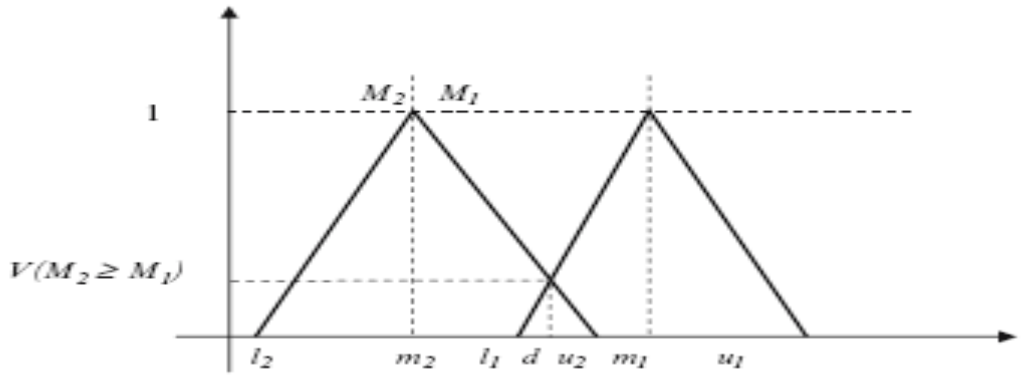
2. Adım: $M_2 = (l_2, m_2, u_2) \geq M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ ' in olasılık derecesi aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$V(M_2 \geq M_1) = \sup_{y \geq x}\left[\min(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y)\right] \quad \textbf{(2.28)}$$

Bu daha ayrıntılı olarak aşağıdaki şekilde yazılır.

$$V(M_2 \geq M_1) = hgt(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d) = \begin{cases} 1 & , \quad m_2 \geq m_1 \\ 0 & , \quad l_1 \geq u_2 \\ \dfrac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & , \quad diger \end{cases} \quad \textbf{(2.29)}$$

Burada, d, μ_{M_1} ve μ_{M_2} arasındaki en yüksek kesişim noktası ordinat değeridir (Şekil 2.7). M_1 ve M_2'yi karşılaştırmak için, $V(M_1 \geq M_2)$ ve $V(M_2 \geq M_1)$ değerlerine ihtiyaç vardır.



Şekil 2.7 : M_1 ve M_2 kesişimi.

3. Adım: Dış bükey bir bulanık sayının olasılık değeri, k dış bükey bulanık sayısından daha büyük olmalıdır. $M_i = (i = 1,2,...,k)$ aşağıdaki şekilde tanımlanabilir.

$$V(M_1 \geq M_1, M_2, ..., M_k) = V\left[(M \geq M_1) ve (M \geq M_2) ve ... ve (M \geq M_k)\right]$$
$$= \min V(M \geq M_i),\ i = 1,2,...,k) \quad \textbf{(2.30)}$$

eğer aşağıdaki uzaklık farz edilirse,

$$d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k),\ k = 1,2,...,n;\ k \neq i. \quad \textbf{(2.31)}$$

olur. Böylece ağırlık vektörü;

$$W = \left(d'(A_1), d'(A_2), ...d'(A_n)\right)^T \quad \textbf{(2.32)}$$

şeklinde verilebilir. Burada, $A_i (i = 1,2,...,n)$, n elemanlarıdır.

4.Adım: Normalizasyon yoluyla, normalize edilmiş ağırlık vektörü;

$$W = \left(d(A_1), d(A_2), ...d(A_n)\right)^T \quad \textbf{(2.33)}$$

şeklindedir. Burada w artık bulanık değil, belirgin sayıdır.

Bu yöntemde Çizelge 2.6'daki bulanık dönüşüm ölçeği kullanılır.

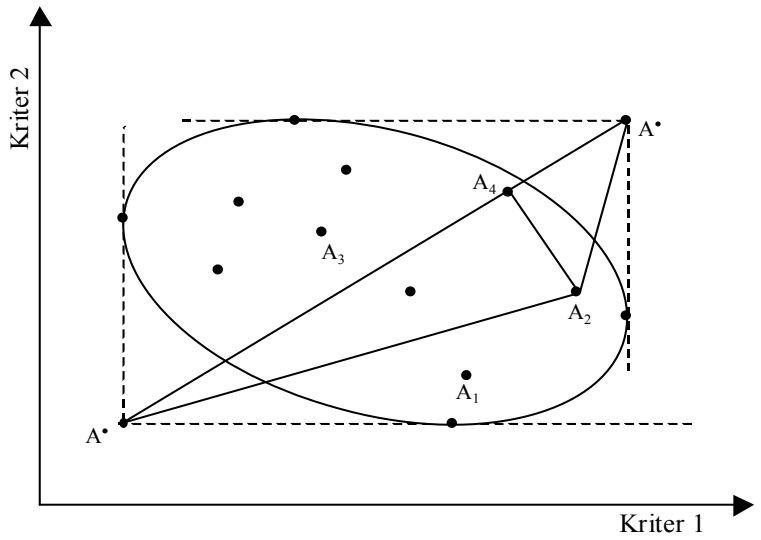
Çizelge 2.6 : Üçgen bulanık sayı dönüşüm ölçeği.

Sözel ölçek	Üçgen bulanık sayı
Sadece eşit	(1.00,1.00,1.00)
Eşit derecede önemli	(1.00,1.00,1.25)
Biraz daha fazla önemli	(1.25,1.50,1.75)
Güçlü derecede daha fazla önemli	(1.75,2.00,2.25)
Çok güçlü derecede daha fazla önemli	(2.25,2.50,2.75)
Kesinlikle daha fazla önemli	(2.75,3.00,3.00)

Chang'ın yönteminde dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta, denklem (2.29) kullanılarak hesaplanan öz nitelik ağırlık hesaplarının hatalı sonuçlar vermesidir. Buna rağmen literatürde yapılan ve yapılmaya devam eden pek çok çalışma vardır (Celik ve diğ., 2009; Bozbura ve Beskese, 2007). Bu tezde bundan sonra yapılacak çalışmalarda yanlış uygulama ve hesaplamaların önüne geçmek içinde bu durum vurgulanmıştır. Hatalı hesaplamaların önüne geçmek için tezde Chang'ın derece analiz yönteminin son adımı olan öz nitelik ağırlıklandırması aşamasında Liou ve Wang (1992)'ın toplam integral değeri yöntemi önerilmiştir.

2.7.3 TOPSIS yöntemi

Bir ÇÖNKV probleminde m adet seçenek ve bu seçeneklerin çözümünde kullanılan n adet öz nitelik, m noktalı ve n boyutlu bir uzay sistemi olarak düşünülebilir. Hwang ve Yoon (1981) tarafından geliştirilen TOPSIS yöntemi seçilen seçeneğin, pozitif ideal çözüme en yakın, negatif ideal çözüme en uzak mesafede olmasını esas alır (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 : İki boyutlu uzayda ideal çözümlere Öklit mesafeleri.

Bir ideal çözüm bütün öz nitelik bir arada düşünüldüğünde ideal seviyelerin (veya oranların) toplanması olarak düşünülebilir. Ancak, ideal çözüm genelde ulaşılamaz ya da tatbik edilemez bir çözüm olabilmektedir. Bu nedenle çözüme ulaşabilmek için, seçenekler arasından pozitif ideal çözüme en yakın, negatif ideal çözüme ise en uzak olan seçenek ön plana çıkartılır.

Pozitif ideal çözüm aşağıda verilmiştir.

$$A^* = \left(x_1^*, \ldots, x_j^*, \ldots, x_n^*\right) \tag{2.34}$$

Burada x_j^*, tüm mevcut seçenekler arasında en iyi olanıdır.

Negatif ideal çözüm aşağıda verilmiştir.

$$A^- = \left(x_1^-, \ldots, x_j^-, \ldots, x_n^-\right) \tag{2.35}$$

x_j^*, tüm mevcut seçenekler arasında en kötü olanıdır.

2.7.4 Bulanık TOPSIS yöntemi

Geçen 20 yılda bazı bulanık TOPSIS yöntemleri geliştirilmiştir (Kahraman, 2008) (Çizelge 2.7). Chen ve Hwang (1992), Hwang ve Yoon (1981)'un klasik TOPSIS yöntemini bulanık mantık ortamına dönüştürmüşlerdir. Liang (1999) ideal ve ideal olmayan kavramlarını esas alan bir BÇÖNKV yöntemi sunmuştur. Bulanık küme teorisi ve hiyerarşik yapı analizi kavramları, ağırlık uygunluk karar matrisini geliştirmek ve çeşitli ölçütlere karşılık gelen farklı seçeneklerin ağırlık uygunluğunu değerlendirmek için kullanılmıştır. Triantaphyllou ve Lin (1996) her seçenek için bulanık göreceli yakınlığın hesabında bulanık aritmetik işlemleri esas alan, TOPSIS yönteminin bulanık bir nüshasını geliştirmişlerdir. Bu bulanık TOPSIS yöntemi her seçenek için bulanık bir göreceli yakınlık önerir. Bulanık aritmetik işlemlerden dolayı bu yakınlık aşırı şişirilmiş ve sapmıştır. Chen (2000) üçgen bulanık sayılarla ifade edilen ve sözel terimlerle tanımlanan her seçeneğin oranını ve her ölçütün ağırlığını tanımlar. İki üçgen bulanık sayı arasındaki mesafeyi hesaplamak için Tepe (vertex) yöntemi denilen bir yöntemi önerir. Cheng ve diğ. (2002), Chen ve Hwang (1992)'ın bulanık TOPSIS yöntemini katı atık yönetimi problemini çözmek için kullanmışlardır. Dört farklı ÇÖKV yöntemini bu katı atık yönetimi analizi için uygulamışlardır: Basit toplam ağırlıklandırma, ağırlıklı çarpım, yardımcı oyun teorisi ve ELECTRE. Seçeneklerin çözümlerinin sıralaması farklı sonuçlar vermiştir. Bu nedenle ortalama sıralama prosedürü diye adlandırdıkları bir agregasyon yaklaşımı kullanarak sonuçları analiz etmişlerdir. Zhang ve Lu (2003) karar vericilerin tercihlerinin bulanıklığı ile baş edebilmek için tümleşik bir bulanık grup karar verme yöntemi sunmuşlardır.

Chen ve Tzeng (2004) bulanık integral tekniğiyle bulanık ÇÖKV problemini, bulanık olmayan ÇÖKV ortamına dönüştürürler. Her seçeneğin göreceli yakınlığının tespitinde mesafe kullanmak yerine gri ilişkili derecelendirme kullanırlar. Abo-Sinna ve Abou-El-Enien (2005) bulanık değişkenler içeren geniş ölçekli nesnel programlama problemlerini çözmek için uzatılmış TOPSIS yöntemini kullanırlar. Wang ve Elhag (2006) alfa takım seviyesini esas alan bir bulanık TOPSIS yöntemi kullanarak, doğrusal olmayan programlama çözüm (NLP) usulünü önerirler. Ayrıca bulanık TOPSIS ve bulanık ağırlıklı ortalama (FWA) arasındaki ilişkiyi tartışmışlardır. Bu iki yöntemi köprü risk tayini konusundaki üç örneğe uygulayarak, yöntemleri karşılaştırmışlardır. Johanshahloo ve diğ. (2006) çalışmalarında aralıklı

veri içeren karar verme problemlerini TOPSIS yöntemine genişletmeye çalışmışlardır. TOPSIS yönteminin genişletilmesiyle aralıklı değere sahip veriler için, tüm olası seçimler arasında en fazla tercih edilebilecek seçimi saptayacak bir algoritma sunmuşlardır. Bulanık TOPSIS yöntemi aşamalarını sekiz adımdan oluşan bir yöntemle açıklanabilir Chen (2000).

Çizelge 2.7 : Bulanık TOPSIS yöntemleri.

Yöntem	Öz nitelik ağırlığı	Bulanık sayı tipi	Sıralama Yöntemi	Normalizasyon Yöntemi
Chen ve Hwang (1992)	Bulanık	Yamuk	Genelleştirilmiş ortalama yöntemi (Lee ve Li, 1988)	Doğrusal normalizasyon
Liang (1999)	Bulanık	Yamuk	Maksimize ve minimize küme sıralaması yöntemi (Chen, 1985)	Manhattan mesafesi
Chen (2000)	Bulanık	Üçgen	Tepe (Vertex) yöntemi (Chen, 2000)	Doğrusal normalizasyon
Chu (2002)	Bulanık	Üçgen	$\alpha = 1/2$ 'li toplam integral değerli sıralama yöntemi (Liou ve Wang, 1992)	Değiştirilmiş Manhattan mesafesi
Tsaur ve diğ. (2002)	Belirgin	Üçgen	Alan merkezi yöntemi (Zhao ve Govind, 1991)	Vektör normalizasyonu
Zhang ve Lu (2002)	Belirgin	Üçgen	Chen (2000)' in Tepe (Vertex) yöntemi	Manhattan mesafesi
Chu ve Lin (2003)	Bulanık	Üçgen	Yerdeğiştirmelerin uzaklaştırılması yöntemi (Kaufmann ve Gupta, 1988)	Doğrusal normalizasyon
Cha ve Yung (2003)	Belirgin	Üçgen	Bulanık mesafe operatörü yöntemi (Cha ve Yung, 2003)	Doğrusal normalizasyon
Yang ve Hung (2005)	Belirgin	Üçgen	Tepe (Vertex) yöntemi (Chen, 2000)	Normalize edilmiş bulanık oranları kullanır
Wang ve Elhag (2006)	Belirgin	Üçgen	Tepe (Vertex) yöntemi (Chen, 2000)	Doğrusal normalizasyon
Jahanshahloo ve diğ. (2006)	Belirgin	Aralıklı veri	Jahanshahloo ve diğ. (2006) yöntemi	Jahanshahloo ve diğ. (2006) normalizasyonu

ÇÖKV problemi bir karar matrisi biçiminde aşağıdaki şekilde gösterilir.

$$\tilde{D} = \begin{array}{c} \\ A_1 \\ A_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ A_m \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} C_1 & C_2 & \ldots & C_n \end{array} \\ \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \ldots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & & x_{2n} \\ \cdot & & & \\ \cdot & & & \\ \cdot & & & \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \ldots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix} \end{array}, \qquad \tilde{W} = \begin{bmatrix} \tilde{w}_1 & \tilde{w}_2 & . & . & \tilde{w}_n \end{bmatrix}, i = 1,2,...,m; \quad \textbf{(2.36)}$$

$$j = 1,2,...,n$$

Burada, $\tilde{D}$ bulanık karar matrisi ve $\tilde{W}$ matrisi ise bulanık ağırlıklar matrisidir. $\tilde{D}$ bulanık karar matrisi, m sayıda seçenek ve n sayıda öz nitelikten meydana gelir. $\tilde{x}_{ij}$, C_j öz niteliğine göre A_i seçeneğinin öz nitelik değerini, w_j ise C_j öz niteliğinin önem ağırlığını göstermektedir. Bulanık karar matrisi kullanılarak, normalize edilmiş $\tilde{R}$ bulanık karar matrisi elde edilir.

$$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n},\ i = 1,2,...,m = 1,2,...,n \quad \textbf{(2.37)}$$

Yarar tipi ölçütlerin normalize edilmiş değeri $\tilde{r}_{ij}$, aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{l_{ij}}{u_j^+}, \frac{m_{ij}}{u_j^+}, \frac{u_{ij}}{u_j^+} \right),\ u_j^+ = \max_i u_{ij} \quad \textbf{(2.38)}$$

Benzer şekilde maliyet tipi ölçütlerin normalize edilmiş değeri $\tilde{r}_{ij}$, aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{l_j^-}{u_{ij}}, \frac{l_j^-}{m_{ij}}, \frac{l_j^-}{l_{ij}} \right),\ l_j^- = \min_i u_{ij} \quad \textbf{(2.39)}$$

Her bir karar ölçütünün farklı ağırlıkları göz önünde bulundurularak ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisi elde edilir. Seçeneklerin her ölçütten aldığı değerler, o ölçütlerin ağırlığı ile çarpılır.

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{w}_j \tilde{r}_{ij}, \quad i = 1, \ldots\ldots, m, \quad j = 1, \ldots\ldots, n \tag{2.40}$$

Pozitif ve negatif ideal çözümlerin bulunması: A^* ve A^- ağırlıklandırılmış normalize karar matrisinin elemanları arasından seçilir.

$$\begin{aligned}
A^* &= \left\{ \tilde{v}_1^*, \tilde{v}_2^*, \ldots\ldots, \tilde{v}_j^*, \ldots\ldots, \tilde{v}_n^* \right\} \\
A^* &= \left\{ \left(\max_i \tilde{v}_{ij} \mid j \in J_1 \right), \left(\min_i \tilde{v}_{ij} \mid j \in J_2 \right) \mid i = 1, \ldots\ldots, m \right\} \\
A^- &= \left\{ \tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \ldots\ldots, \tilde{v}_j^-, \ldots\ldots, \tilde{v}_n^- \right\} \\
A^- &= \left\{ \left(\min_i \tilde{v}_{ij} \mid j \in J_1 \right), \left(\max_i \tilde{v}_{ij} \mid j \in J_2 \right) \mid i = 1, \ldots\ldots, m \right\}
\end{aligned} \tag{2.41}$$

Burada, J_1 yarar tipi öz niteliği, J_2 ise maliyet tipi öz niteliği ifade eder.

Ayrım ölçümlerinin bulunması: Ayrım ölçüsü pozitif ya da negatif ideal çözümden olan uzaklığı ifade eder. Seçenekler arasındaki uzaklık Vertex Yöntemi kullanılarak hesaplanır.

İki üçgen bulanık sayı $A_1 = (a_1, b_1, c_1)$ ve $A_2 = (a_2, b_2, c_2)$ olmak üzere, aralarındaki mesafe Vertex yöntemine göre aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır.

$$d(A_1, A_2) = \sqrt{\frac{1}{3}\left((a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2 + (c_1 - c_2)^2 \right)} \tag{2.42}$$

Her seçeneğin bulanık pozitif ideal çözüme (BPİÇ) olan uzaklık değeri şöyle verilir:

$$D_i^+ = \sum_{j=1}^{n} d\left(v_{ij}, v_{ij}^+ \right) \tag{2.43}$$

Aynı şekilde, her seçeneğin bulanık negatif ideal çözüme (BNİÇ) olan uzaklık değeri ise aşağıdaki formülle bulunur.

$$D_i^- = \sum_{j=1}^{n} d\left(v_{ij}, v_{ij}^- \right) \tag{2.44}$$

Grup sentezleri ve önceliklerinin birleştirilmesi: Her karar verici için, BPİÇ ve BNİÇ mesafeleri, geometrik ortalama yöntemi kullanılarak grup mesafeleri birleştirilebilir.

$$\overline{D_i^+} = \left(\prod_{j=1}^{k} D_{ij}^+ \right)^{1/k}, \; i = 1,2,...,m \tag{2.45}$$

$$\overline{D_i^-} = \left(\prod_{j=1}^{k} D_{ij}^- \right)^{1/k}, \; i = 1,2,...,m \tag{2.46}$$

Grup kararlı ideal çözüme göreceli yakınlık değeri hesabı: İdeal çözüme i. seçeneğin göreceli yakınlığı, CC_i, aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\overline{CC_i} = \frac{\overline{D_i^-}}{\overline{D_i^+} + \overline{D_i^-}}, \; i = 1,2,...,m \tag{2.47}$$

Tercihlerin sıralanması: $\overline{CC_i}$ değerlerini büyükten küçüğe doğru sıralayarak seçeneklerin sıralaması yapılır. $\overline{CC_i}$'nin büyük değeri daha iyi bir seçenek olduğunu ifade eder.

Bulanık AHP ve TOPSIS yöntemlerinin karşılaştırması:

Literatürde sıklıkla kullanılan ve en çok bilinen karar verme yöntemlerinden ikisi bulanık AHP ve bulanık TOPSIS yöntemleridir. Bulanık AHP ve bulanık TOPSIS yöntemleri arasında iki temel fark vardır. Bunlar;

AHP yöntemi, öz nitelikler ve seçenekler için ikili karşılaştırmalar yapar. TOPSIS yönteminde ikili karşılaştırmalar yoktur.

AHP yöntemi öz nitelik ve seçenekler için bir hiyerarşi kullanır. TOPSIS yönteminde bu hiyerarşi bulunmaz.

Çok öz nitelikli karar verme problemlerinin çözümünde kullanılan bu hiyerarşik yapı, AHP yöntemine büyük bir üstünlük verir. Geliştirilmiş bulanık TOPSIS yöntemleri, çok öz nitelikli karar verme problemlerinin çözümünde bu hiyerarşileri kullanmaz. Bulanık TOPSIS yöntemi, faz II denilen seçeneklerin seçimi ve sıralanması safhasında üstünlüğünü ortaya koyar. Bu çalışma bu nedenle bulanık

AHP (faz I) ve bulanık TOPSIS (faz II) yöntemlerini kullanan bir melez çözüm yöntemini kullanmaktadır.

2.8 Önerilen Melez BÇÖNKV Yöntemi ve Yapısı

Çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemi seçim probleminde, bulanık AHP ve bulanık TOPSIS yöntemlerinin birlikte kullanıldığı melez bir çözüm yöntemi önerilmiştir. Önerilen yöntem aşağıdaki adımlardan oluşur (Şekil 2.9). Yöntemin kompakt bir yapıya sahip olması, gemi, deniz yapıları ve endüstrideki diğer tüm karar verme problemlerine rahatlıkla uygulanabilmesi istendiğinden, yöntemin adımları burada genel olarak tanımlanmıştır.

Problem Tanımlama/Amaçlar/Bilgi Toplama: Bu adımda BÇÖNKV problemi tanımlanır, amaçlar ve hedefler belirlenir. Uygulanacak karar verme problemiyle ilgili ön çalışma niteliğinde literatür/saha çalışması/uzman mülakatları vb. teknikler kullanılarak bilgi toplanır.

Olası Seçeneklerin Belirlenmesi: Problem için mevcut seçenekler belirlenir.

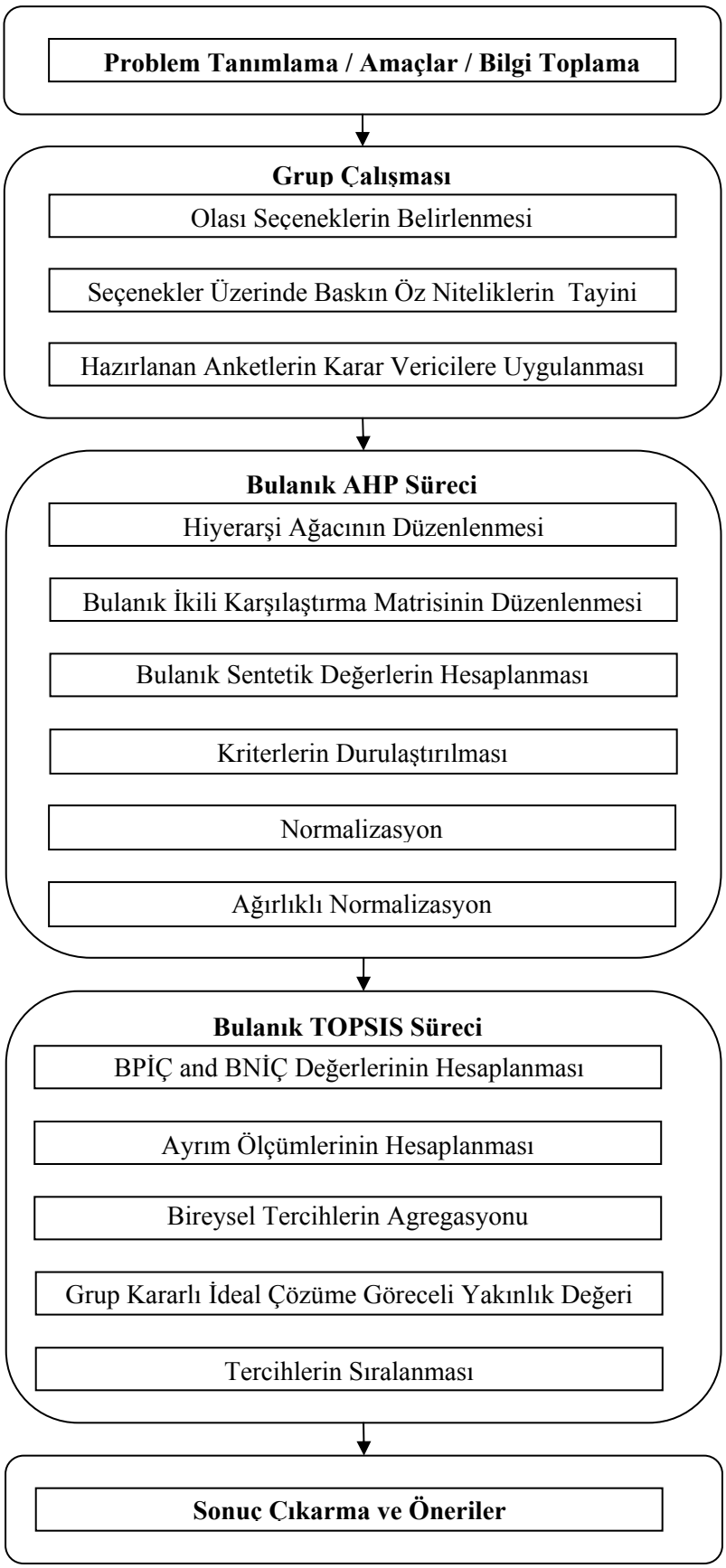
Seçenekler Üzerinde Baskın Öz Niteliklerin Tayini: Tüm seçenekler üzerinde etkili öz nitelikler seçilir, sınıflandırılır (yarar, maliyet vb.).

Hazırlanan Anketlerin Karar Vericilere Uygulanması: Karar verme probleminin çözümü için uzman fikirleri ve ağırlıkları büyük bir önem taşır. Hazırlanan bir anketle uzmanların fikirleri alınır. Uzmanlardan seçenekleri, ölçütleri değerlendirmeleri ve aralarında ikili karşılaştırma yapmaları istenir.

Hiyerarşi Ağacının Düzenlenmesi: En üstte amaçlar, orta kademede öz nitelikler, en alt safhada da seçenekler olacak şekilde hiyerarşi ağacı düzenlenir.

Bulanık İkili Karşılaştırma Matrisinin Düzenlenmesi: Anketlerden elde edilen ikili karşılaştırma sonuçları matris formunda yazılır. Gelen bilgilere göre oranlar belirgin, sözel veya bulanık şekillerde olabilir. Tüm ikili karşılaştırma oranları üçgen veya yamuk ölçekler kullanılarak bulanık sayılara dönüştürülür.

Bulanık Sentetik Değerlerin Hesaplanması: Bulanık sentetik değerlerin hesabında Chang (1996) yöntemi kullanılır.



Şekil 2.9 : Bulanık Çok Öz Nitelikli Karar Verme (BÇÖNKV) yöntemi.

Öz Niteliklerin Durulaştırılması: Durulaştırma işlemi için Liou ve Wang (1992)'ın denklem (2.16)'da verilen toplam integral değeri yöntemi kullanılır.

Normalizasyon: Bu aşamada, mevcut matrislerdeki öz nitelikler fayda/maliyet şekline göre normalizasyon işlemine tabi tutulur. Bunun için denklem (2.38) ve (2.39) kullanılır.

Ağırlıklı Normalizasyon: Normalizasyon işlemi ile her seçenek için elde edilen öz nitelik ağırlıkları, 8. adımdaki durulaştırma işlemi ile elde edilen öz nitelik ağırlıkları ile çarpılarak ağırlıklı normalize değer matrisi elde edilir.

BPİÇ ve BNİÇ Değerlerinin Hesaplanması: Denklem (2.41) kullanılarak BPİÇ ve BNİÇ değerleri hesaplanır.

Ayrım Ölçümlerinin Hesaplanması: Denklem (2.43) ve (2.44) kullanılarak, BPİÇ ve BNİÇ'den olan mesafeler hesaplanır.

Bireysel Tercihlerin Agregasyonu: Her KV için hesaplanan değerlerin geometrik ortalaması alınarak bireysel tercihler birleştirir.

Grup Kararlı İdeal Çözüme Göreceli Yakınlık Değeri: Denklem (2.47) kullanılarak her seçeneğin göreceli yakınlık değeri hesaplanır. Seçeneğin göreceli yakınlığının büyük olması, daha fazla tercih edilmesini ifade etmektedir.

Tercihlerin Sıralanması: Seçeneklerin elde edilen göreceli yakınlık değerleri büyükten küçüğe ya da tersi sıralanarak tercihler belirlenir.

Sonuç Çıkarma ve Öneriler: Karar verme problemi çözümünde elde edilen sıralama sonuçları değerlendirilerek, yorum ve önerilerde bulunulur.

2.9 Örnek Uygulama – Pervane ve Sevk Sistemi Seçim Problemi

Önerilen yöntemin geçerliliğini test etmek için; boğaz hattında çalışacak çift başlı yolcu ferileri için, uygun sevk-manevra sistemi seçimi problemi ele alınmıştır (Mentes, 2000). Bu probleme, önerilen BÇÖNKV yöntemini sırayla uygulayalım:

İTÜ Arge Grubu'nun Türkiye Denizcilik İşletmeleri (TDİ) için yaptığı projenin verileri bu çalışmada esas alınmıştır (Odabaşı ve diğ., 1992). Boğaz hattında çalışacak çift başlı yolcu ferileri için uygun manevra ve sevk sisteminin seçimi büyük bir önem taşımaktadır. Amaç çok yoğun deniz trafiğine sahip olan İstanbul

Boğazında, yolculuk zamanını azaltacak ve aynı zamanda ekonomik bir sevk-manevra sistemi elde etmektir (Insel ve Helvacioglu, 1997).

Sevk-manevra sistemi seçiminde üç seçenek söz konusudur. Bu seçenekler;

Sabit Hatveli Pervane ve Vec-Twin Dümen,

Dönebilir İticiler,

Sikloidal Pervaneler olup Şekil 2.10, 2.11 ve 2.12'de verilmektedir.



Şekil 2.10 : Sabit Hatveli Pervane ve Vec-Twin Özel Dümen (2x1).



Şekil 2.11 : Dönebilir İticiler (2x2).



Şekil 2.12 : Sikloidal Pervane (2x1).

Burada 2x2 feribotun baş ve kıçında ikişer, 2x1 ise birer sevk ünitesi olduğunu göstermektedir.

Bu seçeneklerin seçiminde etkili olan öz nitelikler ise 7 tanedir. Bunlar;

Manevra yeteneği (C1),

Gürültü, titreşim (C2),

İlk yatırım maliyeti (C3),

İşletme maliyeti (bakım, tutum, tamir vb.) (C4),

Güvenilirlik (C5),

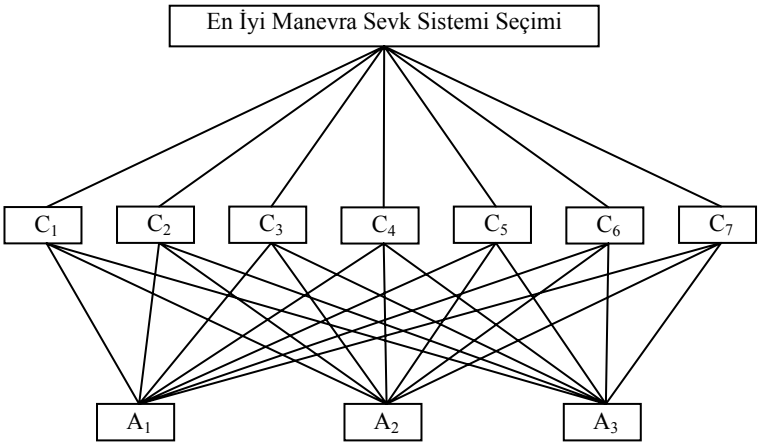
İhtiyaç duyulan sevk sistemi gücü (C6) ve

Sevk sistemi yerleşim ihtiyacı (C7)'dir.

Bu ölçütlerden C1 ve C5 fayda / yarar tipi ölçüt, diğerleri ise maliyet tipi ölçütlerdir.

Karar vericilerin değerlendirmeleri (Odabasi ve diğ., 1992)'nin yaptığı çalışmalardan elde edilmiştir.

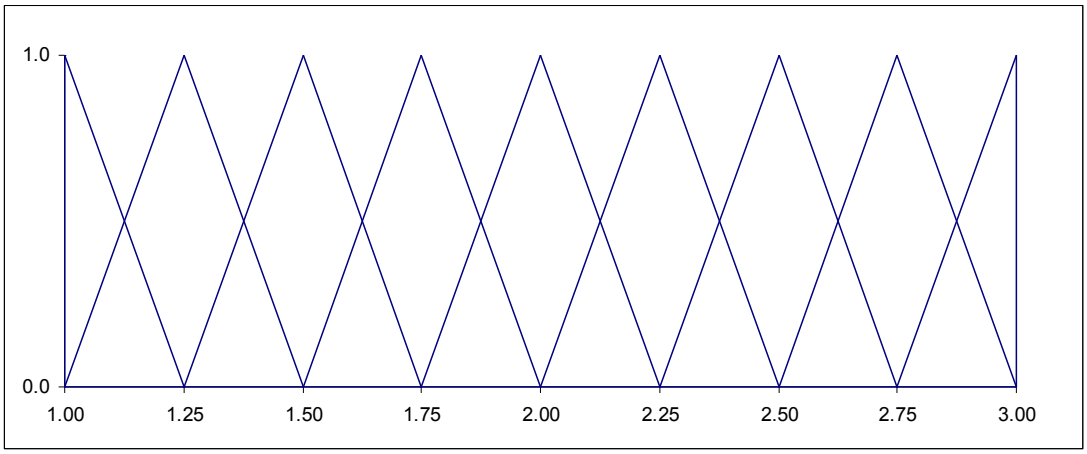
Manevra-sevk sistemi seçimi problemi için hiyerarşi ağacı Şekil 2.13'da görülmektedir.



Şekil 2.13 : Manevra-sevk sistemi seçimi hiyerarşi ağacı.

Anketlerle elde edilen öz niteliklerin ikili karşılaştırma matrisleri Çizelge 2.8'de düzenlenmiştir. Şekil 2.14'deki dönüşüm ölçeği kullanılarak, öz nitelikler bulanık üçgen sayılar şeklinde ifade edilebilmektedir (Çizelge 2.9).

Çizelge 2.10'daki bulanık üçgen matrisin bulanık sentetik değerleri hesaplanırsa, Çizelge 2.10'daki değerler elde edilir.



Şekil 2.14 : Dönüşüm Ölçeği.

Çizelge 2.8 : Öz niteliklerin ikili karşılaştırma matrisi.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	1	9	5	6	2	7	7
C2	1/9	1	1/6	1/3	1/7	3	3
C3	1/5	6	1	2	1	8	5
C4	1/6	3	½	1	1/5	4	4
C5	½	7	1	5	1	5	7
C6	1/7	1/3	1/8	1/4	1/5	1	3
C7	1/7	1/3	1/5	1/4	1/7	1/3	1

Çizelge 2.9 : Öz niteliklerin bulanık ikili karşılaştırma matrisi.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	(1.00,1.00,1.00)	(2.00,2.50,3.00)	(1.00,1.50,2.00)	(1.25,1.75,2.25)	(0.25,0.75,1.25)	(1.50,2.00,2.50)	(1.50,2.00,2.50)
C2	(0.33,0.40,0.50)	(1.00,1.00,1.00)	(0.44,0.57,0.80)	(0.67,1.00,2.00)	(0.40,0.50,0.67)	(0.50,1.00,1.50)	(0.50,1.00,1.50)
C3	(0.50,0.67,1.00)	(1.25,1.75,2.25)	(1.00,1.00,1.00)	(0.25,0.75,1.25)	(1.00,1.00,1.00)	(1.75,2.25,2.75)	(1.00,1.50,2.00)
C4	(0.44,0.57,0.80)	(0.50,1.00,1.50)	(0.80,1.33,4.00)	(1.00,1.00,1.00)	(0.50,0.67,1.00)	(0.75,1.25,1.75)	(0.75,1.25,1.75)
C5	(0.80,1.33,4.00)	(1.50,2.00,2.50)	(1.00,1.00,1.00)	(1.00,1.50,2.00)	(1.00,1.00,1.00)	(1.00,1.50,2.00)	(1.50,2.00,2.50)
C6	(0.40,0.50,0.67)	(0.67,1.00,2.00)	(0.36,0.44,0.57)	(0.57,0.80,1.33)	(0.50,0.67,1.00)	(1.00,1.00,1.00)	(0.50,1.00,1.50)
C7	(0.40,0.50,0.67)	(0.67,1.00,2.00)	(0.50,0.67,1.00)	(0.57,0.80,1.33)	(0.40,0.50,0.67)	(0.67,1.00,2.00)	(1.00,1.00,1.00)

Çizelge 2.10 : Bulanık sentetik değerler.

	l	m	u
C1	8.500	11.500	14.500
C2	3.837	5.470	7.967
C3	6.750	8.920	11.250
C4	4.740	7.067	11.800
C5	7.800	10.330	15.000
C6	4.001	5.407	8.073
C7	4.208	5.470	8.670
Toplam	39.836	54.163	77.260

Bulanık sentetik değerlerin tersi alınırsa Çizelge 2.11'deki değerler elde edilir.

Çizelge 2.11 : Tersi alınmış bulanık sentetik değerler.

	l	m	u
C1	0.110	0.212	0.364
C2	0.050	0.101	0.200
C3	0.087	0.165	0.282
C4	0.061	0.130	0.296
C5	0.101	0.191	0.377
C6	0.052	0.100	0.203
C7	0.054	0.101	0.218

elde edilir. Liou ve Wang (1992)'ın toplam integral değeri (2.16) denklemi ve $\alpha = 0.5$ değeri alınarak hesaplanır (Çizelge 2.12).

Çizelge 2.12 : Toplam integral değerleri.

I_{C_1}	I_{C_2}	I_{C_3}	I_{C_4}	I_{C_5}	I_{C_6}	I_{C_7}
0.225	0.113	0.175	0.155	0.215	0.114	0.119

şeklinde hesaplanır. Öz nitelik bazında seçeneklerin ikili bulanık karşılaştırma matrisi Çizelge 2.13'de verilmiştir.

Çizelge 2.13 : Bulanık karşılaştırma matrisi.

	A1	A2	A3
C1	1.000,1.500,2.000)	(1.500,2.000,2.500)	(2.000,2.500,3.000)
C2	(1.500,2.000,2.500)	(1.000,1.500,2.000)	(2.000,2.500,3.000)
C3	(1.500,2.000,2.500)	(1.500,2.000,2.500)	(0.500,1.000,1.500)
C4	(1.500,2.000,2.500)	(1.250,1.750,2.250)	(0.500,1.000,1.500)
C5	(1.000,1.500,2.000)	(1.000,1.500,2.000)	(1.000,1.500,2.000)
C6	(1.000,1.500,2.000)	(1.000,1.500,2.000)	(0.500,1.000,1.500)
C7	(1.000,1.500,2.000)	(1.500,2.000,2.500)	(1.000,1.500,2.000)

Bu matris değerleri normalize edilirse Çizelge 2.14'deki değerler elde edilir.

Çizelge 2.14 : Normalize edilmiş bulanık karşılaştırma matrisi değerleri.

	A1	A2	A3
C1	(0.500,0.600,0.667)	(0.750,0.800,0.833)	(1.000,1.000,1.000)
C2	(0.750,0.800,0.833)	(0.500,0.600,0.667)	(1.000,1.000,1.000)
C3	(1.000,1.000,1.000)	(1.000,1.000,1.000)	(0.333,0.500,0.600)
C4	(1.000,1.000,1.000)	(0.833,0.875,0.900)	(0.333,0.500,0.600)
C5	(1.000,1.000,1.000)	(1.000,1.000,1.000)	(1.000,1.000,1.000)
C6	(1.000,1.000,1.000)	(1.000,1.000,1.000)	(0.500,0.667,0.750)
C7	(0.667,0.750,0.800)	(1.000,1.000,1.000)	(0.667,0.750,0.800)

Çizelge 2.12'de hesaplanan toplam integral değerleri ile normalize edilmiş bulanık karşılaştırma matrisleri çarpılırsa, Çizelge 2.15'de verilen ağırlıklı normalize bulanık karşılaştırma matris değerleri elde edilir.

Çizelge 2.15 : Ağırlıklı normalize bulanık karşılaştırma matrisi değerleri.

	A1	A2	A3
C1	(0.112,0.135,0.150)	(0.168,0.180,0.187)	(0.225,0.225,0.225)
C2	(0.085,0.090,0.094)	(0.056,0.068,0.075)	(0.113,0.113,0.113)
C3	(0.175,0.175,0.175)	(0.175,0.175,0.175)	(0.058,0.087,0.105)
C4	(0.155,0.155,0.155)	(0.129,0.135,0.139)	(0.052,0.077,0.093)
C5	(0.215,0.215,0.215)	(0.215,0.215,0.215)	(0.215,0.215,0.215)
C6	(0.114,0.114,0.114)	(0.114,0.114,0.114)	(0.057,0.076,0.085)
C7	(0.079,0.089,0.095)	(0.119,0.119,0.119)	(0.079,0.089,0.095)

Ağırlıklı normalize bulanık karşılaştırma matrisi değerleri arasından denklem (2.41) kullanılarak Bulanık Pozitif İdeal Çözüm (BPİÇ) ve Bulanık Negatif İdeal Çözüm (BNİÇ) değerleri elde edilir (Çizelge 2.16-2.17). Burada dikkat edilecek önemli bir nokta kullanılacak öz niteliğin maliyet tipi bir öz nitelik mi yoksa yarar (fayda) tipi bir öz nitelik mi olduğudur. Bir öz niteliğin değeri arttıkça tercih edilebilirliği artıyorsa yarar (fayda) tipi bir öz nitelik, değeri arttıkça tercih edilebilirliği azalıyorsa maliyet tipi bir öz niteliktir.

Çizelge 2.16 : BPİÇ değerleri.

	A1	A2	A3
C1	(0.013,0.008,0.006)	(0.003,0.002,0.001)	(0.000,0.000,0.000)
C2	(0.001,0.001,0.000)	(0.003,0.002,0.001)	(0.000,0.000,0.000)
C3	(0.000,0.000,0.000)	(0.000,0.000,0.000)	(0.014,0.008,0.005)
C4	(0.000,0.000,0.000)	(0.001,0.000,0.000)	(0.011,0.006,0.004)
C5	(0.000,0.000,0.000)	(0.000,0.000,0.000)	(0.000,0.000,0.000)
C6	(0.000,0.000,0.000)	(0.000,0.000,0.000)	(0.003,0.001,0.001)
C7	(0.002,0.001,0.001)	(0.000,0.000,0.000)	(0.002,0.001,0.001)

Çizelge 2.17 : BNİÇ değerleri.

	A1	A2	A3
C1	(0.000,0.001,0.001)	(0.003,0.005,0.006)	(0.013,0.013,0.013)
C2	(0.001,0.001,0.001)	(0.000,0.000,0.000)	(0.003,0.003,0.003)
C3	(0.014,0.014,0.014)	(0.014,0.014,0.014)	(0.000,0.001,0.002)
C4	(0.011,0.011,0.011)	(0.006,0.007,0.008)	(0.000,0.001,0.002)
C5	(0.000,0.000,0.000)	(0.000,0.000,0.000)	(0.000,0.000,0.000)
C6	(0.003,0.003,0.003)	(0.003,0.003,0.003)	(0.000,0.000,0.001)
C7	(0.000,0.000,0.000)	(0.002,0.002,0.002)	(0.000,0.000,0.000)

Denklem (2.43) ve (2.44) kullanılarak D^+ ve D^- ayrım ölçümleri hesaplanır (Çizelge 2.18).

Çizelge 2.18 : Pozitif ve negatif ayrım ölçümleri.

	D+			D-		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
C1	0.026	0.007	0.000	0.002	0.013	0.038
C2	0.002	0.007	0.000	0.003	0.000	0.010
C3	0.000	0.000	0.026	0.041	0.041	0.003
C4	0.000	0.001	0.020	0.032	0.021	0.002
C5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
C6	0.000	0.000	0.005	0.010	0.010	0.001
C7	0.003	0.000	0.003	0.000	0.005	0.000

Çizelge 2.18'deki değerler toplanarak, üçgen bulanık sayılar belirgin sayılara dönüştürülür (Çizelge 2.19).

Çizelge 2.19 : Belirgin pozitif ve negatif ayrım ölçümleri.

	D+			D-		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
C1	0.094	0.047	0.000	0.025	0.067	0.112
C2	0.024	0.047	0.000	0.033	0.013	0.056
C3	0.000	0.000	0.093	0.117	0.117	0.032
C4	0.000	0.021	0.083	0.103	0.083	0.028
C5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
C6	0.000	0.000	0.043	0.057	0.057	0.020
C7	0.032	0.000	0.032	0.011	0.040	0.011

Her seçenek tüm öz nitelik skorlarına göre toplanırsa, toplam pozitif ve negatif ayrım ölçümleri elde edilir (Çizelge 2.20).

Çizelge 2.20 : Toplam pozitif ve negatif ayrım ölçümleri.

D+			D-		
A1	A2	A3	A1	A2	A3
0.149	0.115	0.250	0.346	0.375	0.259

elde edilir. Denklem (2.47) kullanılarak, tüm seçenekler için göreceli yakınlık skorları elde edilir:

A1 = 0.699, A2 = 0.766, A3 = 0.509

Buradan; $A_2 > A_1 > A_3$ bulunur. Boğaz hattında çalışacak çift başlı yolcu ferileri için en iyi sevk sistemi dönebilir iticiler olarak bulunmuştur.

2.10 Sonuçlar

Bu bölümde tezin özünü oluşturan karar verme konusu ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır. Başlangıçta karar verme problemlerinin çözümünde sıklıkla karşımıza çıkan temel kavramlar ve klasik ÇÖNKV yöntemleri açıklanmış, ayrıca literatürde bu konuda yapılan çalışmalara yer verilmiştir. Daha sonra bulanık mantık ve BKT hakkında bilgiler verilerek, BÇÖNKV konusu detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Bölüm 5'de ayrıntıları verilen çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemi seçim probleminde bulanık AHP ve bulanık TOPSIS yöntemlerinden oluşan melez bir yöntem kullanılacağı için, bu yöntemlerin yapısı, literatürde kullanılan çeşitleri ve kullanım alanları detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Bağlama sistemi seçim probleminde, yukarıdaki adı geçen iki yöntemi kullanan bir yöntem geliştirilmiştir. Bulanık AHP yöntemi, Faz I denilen ölçütlerin oranlanması safhası, bulanık TOPSIS ise seçeneklerin seçilmesi ve sıralanması aşamalarında kullanılır.

Bölümün sonunda, önerilen yöntem için örnek bir mühendislik uygulaması verilmiştir. Boğaz hattında çalışacak çift başlı yolcu ferileri için uygun manevra ve sevk sistemi seçim problemi ele alınmış, önerilen yöntem sırayla uygulanmıştır. Yöntemin kullanımının kolay olması, matematik işlemlerdeki basitliği, bulanık parametreleri işlemeye elverişli olması ve BKT'yi ve BÇÖNKV kullanması problemin çözümünü kolaylaştırmıştır.

3. TANKER-ŞAMANDIRA BAĞLAMA SİSTEMİ RİSK ANALİZİ

Yükleme/boşaltma işlemlerinde kullanılan açık deniz yapıları bağlama sistemlerinde, sistem emniyetini sağlamak temel bir gereksinimdir. Bu çeşit işlemlerde sıklıkla kullanılan çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemleri, zaman zaman uç hava koşulları altında da yükleme/boşaltma işlemlerine devam ederler. Bu tür sistemlerin emniyetli bir şekilde yükleme/boşaltma işlemlerini gerçekleştirebilmesi, olası kaza risk limitlerinin doğru bir şekilde tahmin edilmesi ile mümkün olabilmektedir.

Risk analiz problemlerinde genellikle aşağıdaki sorulara cevap aranmaktadır (Aldwinckle ve Lewis, 1984):

- Potansiyel kayıplar nelerdir?
- Potansiyel kayıpların olası sıklıkları nelerdir?
- Bu kayıpların olası sonuçları nelerdir?
- Mal/mülk, can kaybı ve çevre kirlenmesi ile sonuçlanan riskler nelerdir?

Bu nedenle, tasarım bileşenlerinin ve işlevsel özelliklerin analiz edilmesi temel bir gereksinim haline gelmektedir. İstenilmeyen tehlikeli olaylara sebep olabilecek kritik alanlara, olası kombinasyonlara sistematik bir yolla güvenilirlik yaklaşımlarını uygulamak zorunlu hale gelmektedir.

Risk analizi için kullanılabilecek pek çok teknik mevcuttur. Hangi risk analiz tekniğinin uygulanacağı, projenin hangi safhada olduğu ile direkt ilgilidir. Örneğin sayısal yöntemler, tasarım detaylarının sayısal bir çalışma yapmak için yeterli olmamasından dolayı, kavram tasarımı safhasında uygulanamaz. Bunun yerine nitel yöntemleri bu safhaya uygulamak daha güvenilir bilgiler verecektir. Risk analiz yöntemleri, projelerin aşağıda verilen çeşitli safhaları için seçilir ve uygulanırlar:

- Kavram
- Tasarım onay
- Planlama

- Yapım
- Sipariş
- İşletme

Kazaların tahmini, önlenmesi veya azaltılması için çeşitli risk analiz yöntemleri geliştirilmiş ve önerilmiştir (Kristiansen, 2005, Vose, 2008). HAZOP (HAZOP: Hazard and Operability Study), Fonksiyonel Risk Analizi ve Hata Modları (Functional Hazard Analysis ve Failure Modes) ve Netice Analizi (Effect Analysis) gibi pek çok emniyet analiz yöntemleri nitel analiz yöntemleridir. Genellikle, bu yöntemler klasik Hata Ağacı (KHA) yöntemine yardımcı olmakta kullanılırlar (Hauptmanns, 1988; Lees, 1996; Ferdous et al., 2007).

KHA yöntemi (Lee ve diğ., 1985), 1962 yılında Bell Telefon Laboratuarlarında, kıtalararası balistik füze hedefleme kontrol sistemlerinin güvenlik değerlendirmesini gerçekleştirmek maksadıyla tasarlanmıştır. KHA, sistem hatalarını, sistem ve sistem bileşenlerinin hatalarındaki ilişkiyi gösteren mantıksal diyagramlardır. Karmaşık sistemlerin risk, emniyet ve güvenilirlik hesaplamalarında sıklıkla kullanılan bir yöntemdir (Chang ve diğ., 2006).

KHA, olaylar ve kapılar'dan oluşur ve Boolean cebrini kullanır. Sistem analizinin çeşitli seviyelerinde temel olaylar arasındaki grafik ilişkiyi ifade etmek için matematik mantık modellemesi kullanılır. Olaylar hata olasılıklarını, kapılar ise olaylar arasındaki ilişkiyi ifade ederler.

KHA'da, sistem bileşenlerinin hata olasılıkları belirgin değerlerle ifade edilir. Oysa ki sistem modelleme sürecinde sistem bileşenlerinin hata oranları genelde belirsiz ve bulanık bir ortamda gerçekleşir. Singer (1990)'e göre, pek çok olayda kaza olaylarının göreceli sıklıklarını kullanan KHA yöntemi eksik, yetersiz veya bulanık bilgilerle sonuçlanır. Temel olaylar genellikle statik ve ergodik değildirler. Klasik olasılık teorilerini kullanarak, güven etkilerini ve/veya ana olayları güvenilir bir şekilde hesaplamak mümkün değildir. Bu tür zorlukların üstesinden gelebilmek için bulanık hata ağacı analizi (BHA) yöntemi sıklıkla kullanılır. BHA yöntemi, BKT ve olasılık teorisini kullanır ve belirsiz, bulanık, nitel olarak eksik ve hatalı bilgileri kullanarak da işlemler yapar.

Çeşitli araştırmacılar işletme, mühendislik, yönetim vb. disiplinlerde BHA yöntemini başarılı bir şekilde kullanmışlardır (Turan ve diğ., 2004; Abhulimen, 2009; Ferdous ve diğ., 2009; Zio ve diğ., 2009; Dokas ve diğ., 2009; Celik ve diğ., 2009a).

Tanker yükleme-boşaltma işlemi dinamik bir ortamda gerçekleştiği ve büyük ölçüde teknik, personel ve işlevsel bozukluklarından kaynaklanan tehlikeli kazalara yol açtığı için yüksek seviyede belirsizlikler içermektedir. Bu çeşit sistemlerin davranışlarının modellenmesinde temel belirsizliklerin hesaba katılabilmesi için BHA yönteminin kullanılması doğru bir yaklaşım olacaktır.

Bu çalışmada, çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemlerinde farklı bağlama konfigürasyonları için risk limitlerinin belirlenmesi ve analiz edilmesinde BHA yöntemi tabanlı bir yaklaşım geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçların karşılaştırılması için KHA yöntemi kullanılarak, tüm bağlama seçenekleri için risk hesaplamaları yapılmıştır. KHA hesaplarının yapılmasında Relex Studio^{TM} programı kullanılmıştır.

3.1 Risk Analiz Yöntemleri

Risk analiz yöntemleri; nicel ve nitel yöntemler diye ikiye ayrılır. Nicel risk analiz yöntemi, matematiksel bir model kurmak için her kayıp bileşenin bilinen ve varsayılan karakteristiklerini kullanır ve bunun içinde aşağıda sıralanan bilgilerin bir kısmını veya tamamını birleştirir:

- Hata oranları,
- Tamir oranları,
- Hedeflenen zaman,
- Sistem mantığı,
- Tamir zamanlamaları,
- İnsan hatası.

Nicel risk analizi, risk hesaplarında sayısal yöntemlere başvurur. Nicel risk analizinde tehdidin olma ihtimali, tehdidin etkisi gibi değerlere sayısal değerler verilir ve bu değerler matematik ve mantık metotları ile işlenip risk değeri bulunur. Nicel risk değeri;

Risk = Tehdidin Olma İhtimali * Tehdidin Etkisi

formülü kullanılarak hesaplanır.

Nitel risk analizi, olası risk faktörlerini belirlemek ve olası risk faktörlerinin sonuçlarını veya sıklıklarını azaltmak için uygun tedbirleri saptamak için kullanılır. Bu teknik üzerinde düşünülen sistemin potansiyel kayıplarının bir listesini üretmeyi amaçlar. Bu nedenle yöntem bir giriş verisi olarak kayıp veriler yerine, mühendislik tahminlerine ve geçmiş tecrübelere dayanır. Nitel risk analizinde, risk değerini hesaplarken ve/veya ifade ederken sayısal değerler yerine yüksek, çok yüksek gibi tanımlayıcı sözel değerler kullanılır.

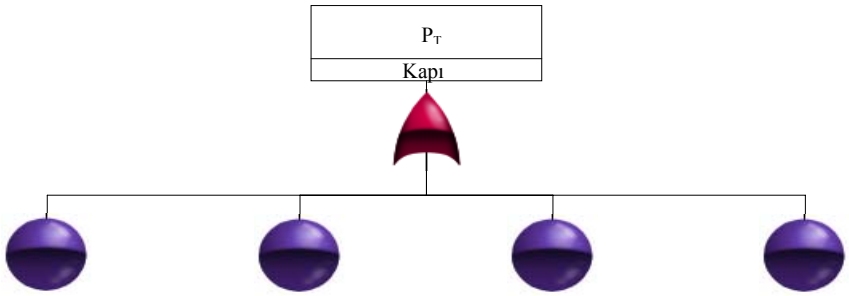
Risk analizi yöntemleri risk analizi sürecinin matematik işlemler ve yorumlarının yapıldığı çekirdek kısmını oluşturur. Aşağıdaki belli başlı risk analiz yöntemleri sıralanmıştır (Özkılıç, 2005):

- Risk Haritası Yöntemi,
- Başlangıç Tehlike Analizi Yöntemi,
- İş Güvenlik Analizi Yöntemi,
- "Eğer ne" Analizi,
- Birincil Risk Analizi Yöntemi
- Kontrol Listeleri Kullanılarak Birincil Risk Analizi Yöntemi,
- Risk Değerlendirme Karar Matrisi Yöntemi,
- Tehlike ve İşletilebilme Çalışması Yöntemi,
- Tehlike Derecelendirme İndeksi Yöntemi,
- SWOT Analizi Yöntemi,
- Hızlı Derecelendirme Yöntemi,
- Hata Ağacı Analizi Yöntemi,
- Olası Hata Türleri ve Etki Analizi Yöntemi,
- Güvenlik Denetimi Yöntemi,
- Olay Ağacı Analizi Yöntemi,
- Neden – Sonuç Analizi Yöntemi.

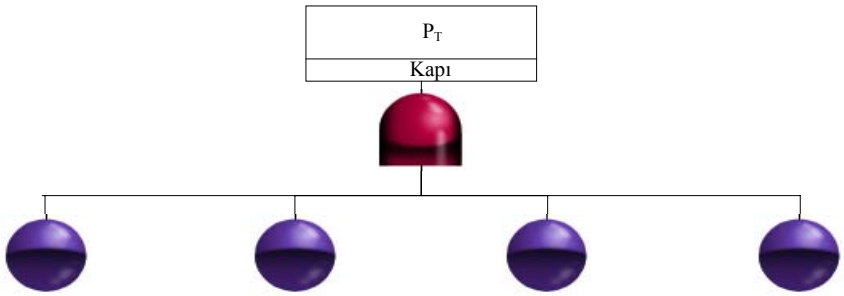
Hata ağacı analizi, tümdengelimli mantığa dayanan, sistematik ve grafik analiz tekniğidir. Bu yöntem kök olayların ve belirli istenmeyen bir kazanın olasılığını hesaplamakta kullanılır. KHA'de, kritik hatalar veya ana hataların sebepleri ve potansiyel karşıt önlemler şematik olarak gösterilir.

KHA yönteminde önce hataların gidiş yolları, fizik ve insan kaynaklı hata olaylarına sebep olacak yollar tanımlanır. Daha sonra muhtemel alt olayları mantıksal bir diyagramla gösterilir. Grafik olarak insan ya da malzeme kaynaklı hataların muhtemel kombinasyonlarını oluşturur. İhtimallerini ortaya çıkarabileceği önceden tahmin edilebilen istenmeyen hata olayını (zirve olay) grafik olarak gösterir.

Bir sistemin hatası, hata ağacında zirve olay olarak temsil edilir. Hata ağacında 'veya' ve 've' kapıları gibi mant işaretleri çeşitli olaylar arasındaki ilişkiyi temsil etmek için kullanılır (Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3).



Şekil 3.1 : 'veya' kapısı.

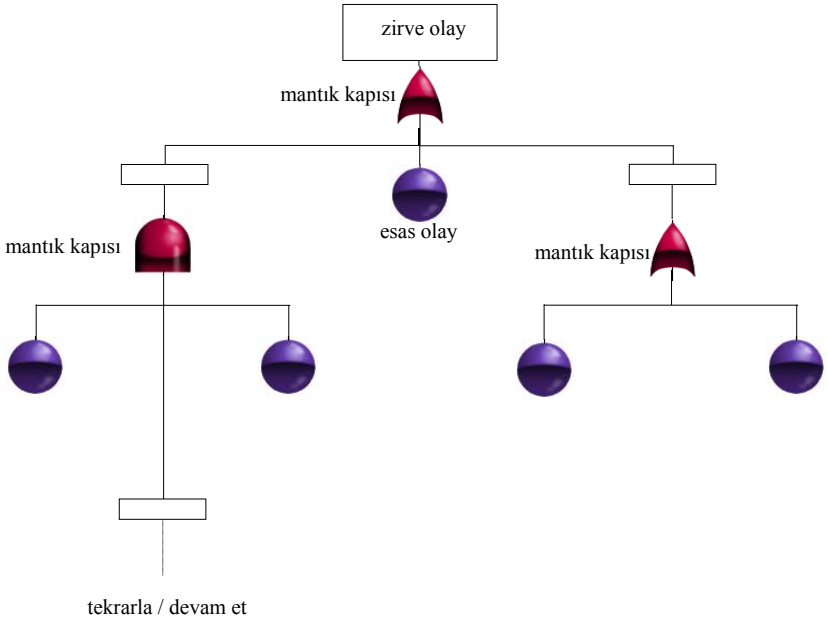


Şekil 3.2 : 've' kapısı.

KHA her düzeyde tehlike oluşturabilecek hataların analizini yapar ve bir mantık diyagramı aracılığıyla en büyük olayı (kaybı) yaratan hataların ve problemlerin olası tüm kombinasyonlarını gösterir.

Hata ağacı analizinin ana hedeflerini şu şekilde ifade etmek mümkündür:

- Analizi yapılacak sistemin güvenilirliğinin tanımlanması,



Şekil 3.3 : Hata ağacı oluşum aşamaları.

- Sisteme etki eden karmaşık ve birbirleriyle ilişki içinde bulunan olumsuzlukların belirlenmesi ve bu olumsuzlukların olasılıklarının değerlendirilmesi,
- Sistemde tehlikeye yol açan tüm problem ve olasılıkların sistematik olarak sıralanması.

Hata ağacı sistem analizi, hata ağacının oluşturulması ve değerlendirme safhalarından oluşur.

3.1.1 Bulanık Hata Ağacı Analizi yöntemi

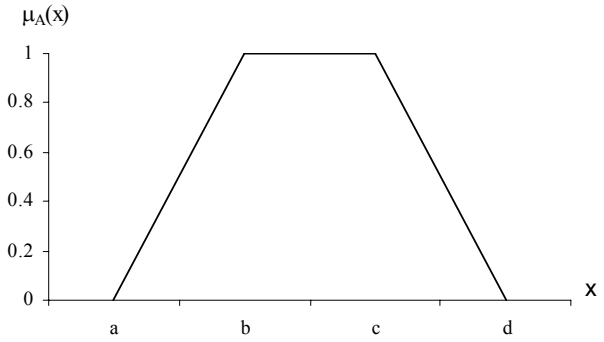
KHA yönteminde bir sistemin zirve hata olasılığı sistemin temel bileşenlerinin hata olasılığı kesin değerler olacak şekilde hesaplanır (Yuhua ve Datoo, 2005). Ancak, pek çok sistem için, sistemi oluşturan bileşenlerin kesin hata oranlarını veya olasılık değerlerini bilmek çok zordur. Belirgin yaklaşım bulanık ve belirsiz bir ortamda gerçekleşen sistemlerin modellenmesinde, her bileşenin hata oranını tespit etmekte yetersiz kalmaktadır (Liang ve Wang, 1993). Bir sistemin modellenmesinde başarı ya da başarısızlık durumları için kesin sınırlar çoğu durumda mevcut değildir. Doğasında bulanık, belirsiz ve eksik veri bulunan temel bileşenlerden oluşan sistemlerin risk analizinde, BKT'yi esas alan Bulanık Hata Ağacı (BHA) yöntemi kullanılır. BHA yönteminde, bileşenlerin kesin olasılık değerleri, bulanık gerçel sayılarla ifade edilebilmektedir.

Bulanık olasılık değeri bulanık bir sayıdır ve bulanık bir küme tarafından ifade edilir ve onun üyelik fonksiyonu "μ" ile ifade edilir. Bulanık sayı üçgen, yamuk vb. şekilde ifade edilebilir. Bir P_i olayının bulanık hata olasılık değeri yamuk bulanık sayı olarak 4 elemandan oluşacak şekilde aşağıdaki gibidir:

$$P_i = (p_1, p_2, p_3, p_4) \tag{3.1}$$

Yamuk üyelik fonksiyonu (Şekil 3.4) aşağıdaki şekilde temsil edilir:

$$\mu_{\tilde{P}_{x_i}}(x) = \begin{cases} 0 & , 0 \le P_i \le p_1 \\ \dfrac{P_i - p_1}{p_2 - p_1} & , p_1 \le P_i \le p_2 \\ 1 & , p_2 \le P_i \le p_3 \\ \dfrac{p_4 - P_i}{p_4 - p_3} & , p_3 \le P_i \le p_4 \\ 0 & , p_4 \le P_i \le 1 \end{cases} \tag{3.2}$$



Şekil 3.4 : Yamuk bulanık sayı.

n sayıda "ve" giriş kapısı ve $\{x_1, x_2, ..., x_n\}$ giriş değeri için bulanık olasılık değeri;

$$\tilde{P}_T^{AND} = \tilde{P}_{x_1} \otimes \tilde{P}_{x_2} \otimes ... \otimes \tilde{P}_{x_n} \tag{3.3}$$

olup iki bulanık sayının çarpımı için bir tahmin prosedürü Tanaka ve diğ. (1983) tarafından önerilmiştir. Eğer $\tilde{P}_{x_1}$ ve $\tilde{P}_{x_2}$ temel olaylar için iki bulanık olasılık değeri ise bulanık çarpım kuralı aşağıdaki gibidir:

$$\tilde{P}_{x_1} \otimes \tilde{P}_{x_2} = (P_{1A}P_{2A}, P_{1B}P_{2B}, P_{1C}P_{2C}, P_{1D}P_{2D})$$

Burada,

$(P_{1A}, P_{1B}, P_{1C}, P_{1D})$ ve $(P_{2A}, P_{2B}, P_{2C}, P_{2D})$ yamuk bulanık sayılardır.

n sayıda "veya" giriş kapısı ve $\{x_1, x_2, ..., x_n\}$ giriş değeri için bulanık olasılık değeri;

$$\tilde{P}_T^{OR} = 1 - \left[\left(1 - \tilde{P}_{x_1}\right) \otimes \left(1 - \tilde{P}_{x_2}\right) \otimes ... \otimes \left(1 - \tilde{P}_{x_n}\right) \right] \quad \textbf{(3.4)}$$

Benzer bir şekilde $\tilde{P}_{x_1}$ bir temel olayın bulanık olasılık değeri ise bulanık tamamlama kuralı aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$\tilde{P}_{x_1} = \left(1 - P_{1A}, 1 - P_{1B}, 1 - P_{1C}, 1 - P_{1D}\right) \quad \textbf{(3.5)}$$

Burada; P_T tepe olayının, P_{x_i} ise alt olayların hata olasılık değerlerini ifade eder.

3.2 Bulanık Sayıların Bulanık Olasılık Skorlarına Dönüştürülmesi

Bulanık ortamdaki problemde hesap yaparken elde edilen bulanık oranların sonuç değerleri yine bulanık sayılardır. Sonuçlar arasındaki ilişkiyi karşılaştırmak için, bulanık sayıları, belirgin sayılara dönüştürmek zorunludur. BHA yönteminde elde edilen belirgin sayılar, bulanık hata olasılık skorları olarak ifade edilir. Bu işlem, BKT'de aynı zamanda durulaştırma olarak bilinir. Pek çok durulaştırma yöntemi mevcuttur (Yager, 1980; Murakami ve diğ., 1983; Choobineh, 1990; Chen ve Hwang, 1992; Cheng, 1998; Chen, 1999; Lee ve Lee, 1999; Lee ve Hyung, 2000; Modarres ve Nezhad, 2001; Chu, 2002; Chen ve Chen, 2006).

Bu çalışmada, Chen and Hwang (1992) tarafından önerilen bulanık sıralama yaklaşımı yöntemi, bulanık sayıların belirgin sayılara dönüştürülmesinde kullanılmıştır.

Chen ve Hwang (1992)'a göre bulanık maksimize ve minimize kümeleri aşağıdaki şekilde ifade edilirler:

$$\mu_{\max}(x) = \begin{cases} x, & 0 \le \mathrm{x} \le 1 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \qquad \textbf{(3.6)}$$

$$\mu_{\min}(x) = \begin{cases} 1-x, & 0 \le \mathrm{x} \le 1 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \qquad \textbf{(3.7)}$$

M'nin sağ skor, sol skor, ve toplam skor (bulanık olasılık skoru) değerleri aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanırlar.

$$\mu_R(M) = \sup_x \left[\mu_M(x) \wedge \mu_{\max}(x)\right] \qquad \textbf{(3.8)}$$

$$\mu_L(M) = \sup_x \left[\mu_L(x) \wedge \mu_{\min}(x)\right] \qquad \textbf{(3.9)}$$

$$\mu_T(M) = \left[\mu_R(M) + 1 - \mu_L(M)\right]/2 \qquad \textbf{(3.10)}$$

3.3 Hassasiyet Analizi

Karmaşık sistemlerde, uygun tasarım değişikliklerinin belirlenebilmesi için hassasiyet analizine ihtiyaç duyulur. Hassasiyet analizinde, en iyi tasarım seçeneğini belirlemek ve sistem emniyet/güvenilirliği bakımından belirlenen çözümün etkilerini değerlendirebilmek için, sistemin en zayıf bileşenlerini hesaplamaya ihtiyaç vardır (Contini ve diğ., 2000).

KHA ve BHA yöntemlerinde zirve olayının oluşma olasılığı, sadece sistemin durumu hakkında genel bir bilgi verir. Ancak, bir sistemin tasarımı ve işletilmesi esnasında, zirve olayına sistem kaybı, sistemin mevcut olmaması ve temel olayların sıklık kaybı şeklinde etki eden her temel olayın etkisinin yüzde dağılımını bilmeye ihtiyaç vardır.

Bu çalışmada, çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistem seçeneklerinin hassasiyet analizi için, bulanık ağırlık göstergesi (BAG) kullanılmıştır. Bu gösterge, her temel olayın hata dağılım ölçümlerini esas alır. BAG tekniği için benzer uygulamalar literatürde mevcuttur (Cheong ve Lan Hui, 2004; Ferdous ve diğ., 2009).

BAG farklı temel olayların dağılımlarını değerlendirmek için de kullanılabilir. Temel bir olayın BAG değeri $D(P_t, P_{t_i})$ olup, hesaplanan $P_t \Theta P_{t_i}$ değerinin sıralaması ile değerlendirilir:

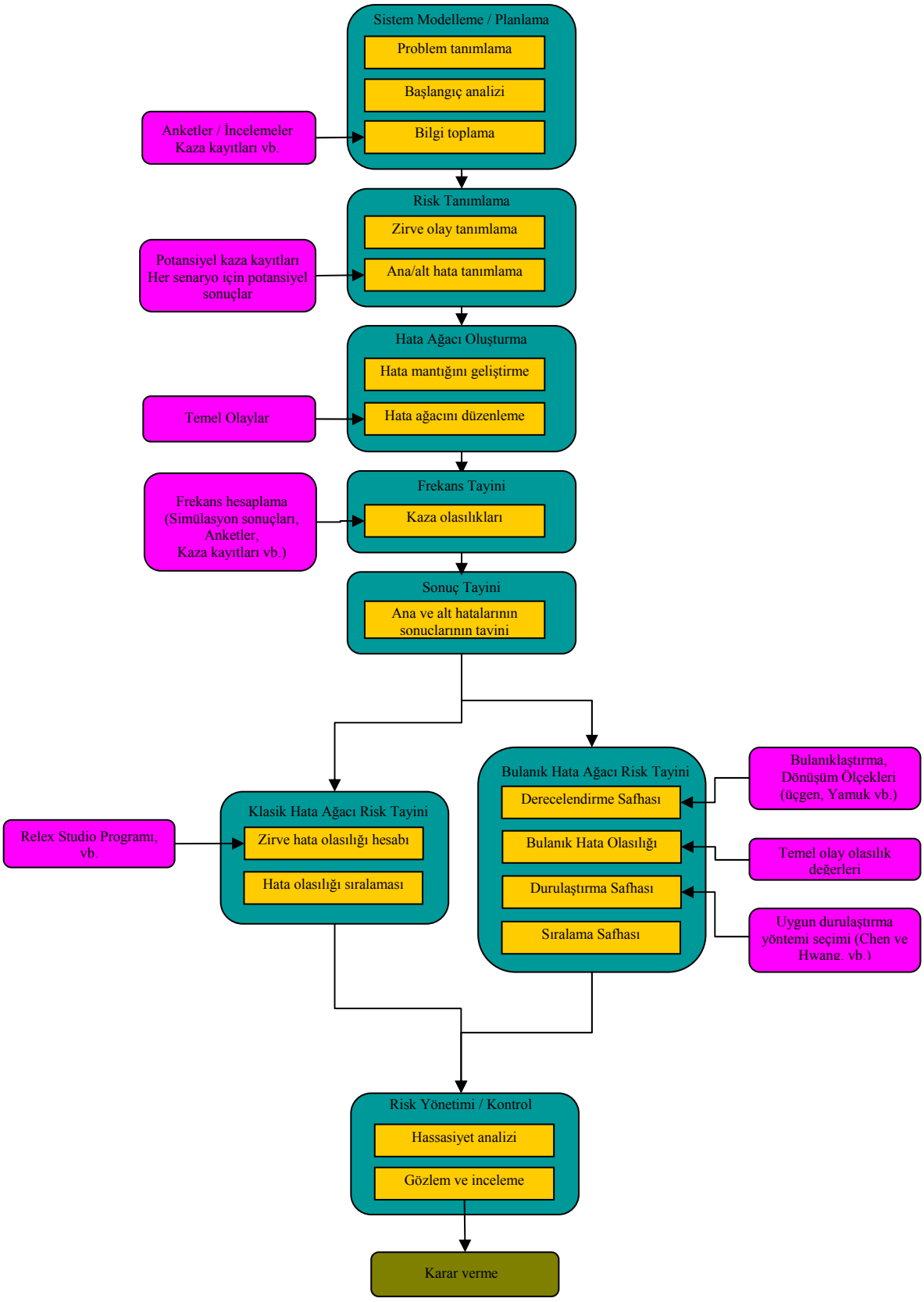
$$D(P_t, P_{t_i}) = R(P_t \Theta P_{t_i}) \tag{3.11}$$

Burada; P_t zirve olay olasılığını; P_{t_i} ise X_i (elimine edilmiş temel olaylar)'a göre zirve olay olasılığını gösterir.

3.4 Tanker-Şamandıra Bağlama Sistemi Risk Analizi Yöntemi

Çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sisteminde 12 farklı bağlama seçeneği için temel bileşenlerin ve zirve olayı risk limitlerinin analizinde, KHA ve BHA yöntemlerini esas alan 7 adımdan oluşan sistematik bir yöntem geliştirilmiştir (Şekil 3.5). Bu adımları aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz.

1. Sistem modelleme ve planlama: Problemin tanımlanması, başlangıç analizi ve problem hakkında gerekli bilgilerin toplanması safhalarından oluşur.
2. Risk tanımlama: Potansiyel hata sonuç senaryoları için zirve olayının ve alt olaylarının tanımlanması safhalarından oluşur.
3. Hata ağacı oluşturma: Hata mantığının geliştirilmesi ve hata ağacının düzenlenmesi safhalarını içerir.
4. Sıklık tayini: Temel olayların kaza sıklıklarının tespiti (kaza istatistikleri, anketler ya da benzetim sonucu elde edilen veriler yardımıyla) safhasıdır.
5. Sonuç tayini: Zirve ve alt hataların olasılıklarının tespiti safhalarından oluşur.
6. Risk tayini aşaması: Bu aşamada KHA ve BHA yöntemleri kullanılarak risk hesapları yapılmaktadır.
    - KHA yöntemi ile risk tayini: Zirve hata olasılığı hesabı ve sıralama safhalarından oluşur.
    - BHA yöntemi ile risk tayini: Derecelendirme safhası (belirgin sayıların bulanık sayılara dönüştürülmesi), hata olasılığı hesabı, durulaştırma (bulanık sayıların belirgin sayılara dönüştürülmesi) ve sıralama safhalarından oluşur.



Şekil 3.5 : Çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemi risk analiz yöntemi.

7. Risk yönetimi ve kontrol: Hassasiyet analizi bulanık ağırlıklandırma göstergesi (BAG)'yı kullanarak yapılan işlemlerin gözlemlenmesi, incelenmesi safhaları ve karar verme adımlarından oluşur.

3.5 Sonuçlar

Bu bölümde, çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemlerinde, farklı konfigürasyona sahip bağlama seçenekleri için risk/güvenilirlik analizi konusu ele alınmıştır. Başlangıçta, risk analizi konusu incelenmiş ve literatürde sıklıkla kullanılan risk analiz yöntemleri hakkında genel bilgiler verilmiştir.

Çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemi risk analizinde BKT'yi esas alan BHA için bir yöntem geliştirilmiş ve önerilmiştir. Elde edilen sonuçların analiz ve karşılaştırılması için klasik KHA'de bu yönteme eklenmiştir. Böylece iki yöntemin de karşılaştırılması mümkün olabilecektir. Ayrıca, her bir bağlama konfigürasyonunun tüm alt bileşenlerinin analizini yapmak ve sistemi oluşturan tüm bileşenlerin güçlü/zayıf yanlarını tespit etmek için, bulanık hassasiyet analizi (BAG) yapılması önerilmiştir.

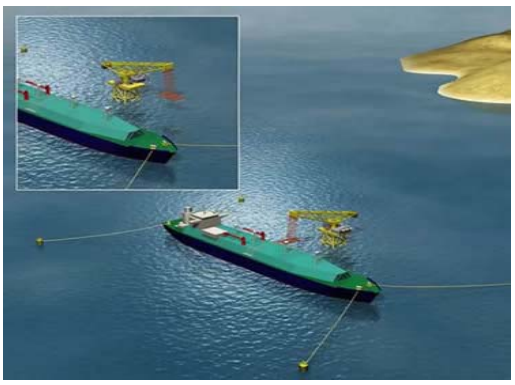
Bölüm 7'de 12 farklı çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemi ve bu sistemi oluşturan ana ve ana alt bileşenlerin risk analizi için yukarıda önerilen yöntemin bir uygulaması yapılacaktır. Önerilen yöntem; kullanımın oldukça kolay olması ve kompakt bir yapıya sahip olması nedenleriyle pek çok sistemin risk analizi için oldukça kullanışlı temellere sahiptir. Bu nedenle, yapılacak bir takım küçük değişikliklerle gerek açık deniz yapıları, gerekse gemi inşaa sanayinin ve diğer deniz endüstrisi risk analiz problemlerinde, tasarım ve işletilme adımlarının pek çok safhalarında rahatlıkla kullanılabilecek bir yapıya sahiptir.

4. ÇOK NOKTALI BAĞLAMA SİSTEMLERİ VE ÇEVRESEL YÜKLER

Açık denizde yükleme/boşaltma işlemleri yapacak bir tankerin bulunduğu konumda sabit tutulabilmesi hayati bir önem taşır. Tankerlerin bulunduğu mevkiyi koruması ve yükleme/boşaltma işlemleri yapması için kullanılan bu tip sistemler, genellikle iki ana grupta incelenirler (Ansari, 1999; Paik ve Thayamballi, 2007): Tek noktadan bağlı (SPM) ve çok noktadan bağlı (MPM veya SM) sistem (Şekil 4.1 ve Şekil 4.2).



Şekil 4.1 : SPM sistemi.



Şekil 4.2 : MPM sistemi.

Tekne SPM'de bir tek hat ile, MPM'de ise çok sayıda hat ile bağlama sistemine bağlanır. Tekne SPM'de rüzgar, akıntı ve dalga koşulları ile aynı konuma gelene kadar bağlama sistemi etrafında döner. Bu durum bağlama sistemi üzerindeki yükleri azaltmaya yardımcı olur. Bir MPM tekneyi sabit bir konumda tutar ve tekne maruz kaldığı çevre koşulları karşısında hareket etmez. Bu nedenle tekne zaman zaman rüzgar, dalga ve akıntı yüklerinin belirli bir konumda etkidiği durumlarda yüksek çevresel yüklere maruz kalabilir. SPM daha az donanım gerektirir ve yükün taşındığı hat daima su üstünde olup ana şamandıra ile birlikte çevresel yüklere maruz kalmaktadır. Ancak SPM, MPM'lere göre dairesel hareket yapabilecekleri için daha fazla işletilme alanına ihtiyaç duyarlar. Oysaki, yükleme/boşaltma işlemleri yapılan çoğu LPG/LNG istasyonlarında manevra alanı önemli bir problemdir ve ciddi sınırlamalar söz konusudur.

Genellikle teknenin baş kısmında konumlandırılan çoğu aynı zamanda geçici depo görevide gören pek çok SPM sistemi mevcuttur (Barltrop, 1998):

- Sabit kule
- Katıneri çapa ayaklı bağlama şamandırası (CALM)
- Tek çapa ayaklı bağlama şamandırası (SALM)
- Mafsallı kule tipi yükleme platformu (ALP)
- Tek nokta ve rezervuar (SPAR)
- Tek çapa yükleme (SAL)
- Kule bağlama

Açık denizde bağlanacak tanker için uygun bağlama sisteminin seçilmesi oldukça zor ve karmaşık bir işlemdir. Tankerin bulunduğu konumu koruması tanker üzerinde etkili olan çevresel koşullar, yükleme/boşaltma işlemleri yapacak tankerin boyutları ve açık denizde çatışma riski bu bağlamda oldukça önemli parametrelerdir. Bağlama sistemi seçim ve tasarım aşamalarında dikkat edilmesi gereken pek çok faktör vardır (d'Hautefeuille, 1991):

- Çevresel koşullar
- Su derinliği
- Yükleme/boşaltma işlemlerinin devamı/iptalini gerektiren hava eşikleri
- Bağlama sistemi kurulumun karmaşıklığı
- İşletme ve bakım
- Emniyet ve güvenilirlik
- Tasarım ve imalat listeleri
- İlk yatırım maliyetleri
- İşletme maliyetleri
- Yükleme/boşaltma işleminin yapılmadığı zaman dilimi
- Periyodik ve / veya acil durum tamirleri
- Bağlama araçları

olarak sıralanabilir. Ayrıca bağlama sistemlerinin tasarımı sırasında göz önünde tutulması gerekli olan bazı kritik konularda vardır (Huang, 2000):

- Rayzerler veya yükleme / boşaltma hortumları için son derece önemli olan teknenin maksimum hareket miktarları,
- Dalgalar tarafından oluşturulan 6 serbestlik dereceli gemi hareketleri nedeniyle bağlama hattı dinamiği,
- Boyuna öteleme, enine öteleme ve savrulma hareketleri nedeniyle düşük sıklıklı tekne hareketleri,
- Tekne ve bağlama sistemi üzerinde rüzgar, akıntı ve dalganın aynı doğrultuda olmayan etkileri,

Çok uzun rayzer ve bağlama halatlarının kullanımında akıntı yükleri ve vizkoz kuvvetlerinin daha güçlü etkileri nedeniyle, akım tesirli titreşim olayınının artması söz konusudur.

Son derece çoklu ve karmaşık tasarım parametreleri nedeniyle bağlama sistemlerinin tasarımı son derece uzun ve oldukça zor bir süreçtir. Bu nedenle sistem tasarımı yapan uzman kişilerin sistem tasarımı ve modellenmesi aşamalarında dikkatli olmaları son derece önemlidir.

4.1 Tanker-Şamandıra Bağlama Sistemi Literatür Araştırması

Bu bölümde tanker-şamandıra bağlama sistemi konusunda literatürde yapılan çalışmalara yer verilmiştir. Literatürde serbest gemi hareketleri, şamandıralar, halat, halat bağlama sistemleri ve bu sistemlerin modellenmesi konularında çok geniş bir çalışma alanı mevcuttur.

4.1.1 Gemi hareketleri

Gemilerin dalgalar arasındaki hareketlerinin dinamik analizi gerek çok karmaşık bir problem olması ve gerekse denizlerdeki düzensiz dalgaların modellenmesinde yaşanan zorluklar nedeniyle uzun yıllar imkânsız olarak düşünülmüş ve yapılan çalışmalar periyodik dalgalarla sınırlı kalmıştır.

Gemilerin dalgalar arasındaki hareketi ve gemi hareketleri ve dinamiği konularında Okan (2007a) tarafından yapılmış çok iyi bir kronolojik sıralama vardır.

St. Denis ve Pierson (1953)'in makalesi, gemi dinamiğinin analizi konusunda yeni bir çağın başlangıç noktası olarak düşünülebilir. St Denis ve Pierson (1953), geminin

karmaşık dalgalar arasındaki hareketlerini, her sıklıktan periyodik dalgalar arasındaki hareketlerinin toplamı şeklinde ifade eden süperpozisyon ilkesini gemi hareketlerinin analizi için uygulamışlardır. Böylece gemilerin periyodik dalgalar arasındaki hareketleri incelenerek, elde edilen sonuçların düzensiz dalgalardaki gemi hareketlerinin istatistiki olarak incelenmesine olanak vermiştir.

Korvin-Kroukovsky (1955), Korvin-Kroukovsky ve Jacobs (1957) ve Jacobs (1958) süperpozisyon ilkesini ve ince gemi varsayımını kullanarak pratik bir hesap yöntemi geliştirmişlerdir.

Gerritsma ile Beukelman (1964)'nın pratik mühendislik yaklaşımı ve Ogilvie ile Tuck (1969)'nın teorik yaklaşımı şeklinde iki farklı problem modelleme yaklaşımı yapılmıştır. İki boyutlu potansiyel probleminin çözümü için de üç değişik yöntem kullanılmıştır. Bunlardan ilki Jukowskinin konform dönüşüm yönteminin bir uzantısı olup Lewis (1929) tarafından geliştirilmiştir. İkinci yöntem Tasai (1959)'nin problemin çözümü için potansiyel tanımında Ursell (1949) tarafından geliştirilmiş olan tekillikleri kullanması olmuştur. Ancak her iki yöntem de Frank (1967) tarafından geliştirilen ve potansiyelin gemi kesitleri üzerindeki kaynak/kuyu dağılımı ile temsil edilmesine dayalı olan yöntemin Salvesen ve diğ. (1970)'nin gemi hareketlerine uygulamasından sonra terk edilmişlerdir.

İnce-uzun gemi yaklaşımı temel varsayımı nedeniyle her zaman sınırlı olup ileri öteleme hareketinin incelenmesine olanak vermemektedir. Bu özellikle tankerler ve dökme yük gemileri gibi dolgun gemi formlarında oldukça önemli hatalara neden olduğundan probleme üç boyutlu panel yöntemi ile yaklaşan çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Faltinsen ve Michelsen (1974) ile Hogben ve Standing (1974) bu konudaki ilk çalışmaları yapmışlar ve bu çalışmalarda ileri hız problemini göz önüne almamışlardır. Sıfır ileri hız halinde oldukça başarılı sonuçlar elde edilmesine ve ileri hıza ait Green fonksiyonu belli olmasına rağmen problemi ileri hız için çözmek oldukça uzun zaman almıştır. Bu konudaki önemli sayılabilecek ilk çalışma Inglis ve Price (1980) tarafından yapılmıştır ama kaynağın ileri hızı nedeni ile Green fonksiyonu oldukça yüksek salınımlar göstermemiş ve hesaplamalarda sorunlar çıkmıştır. Inglis ve Price (1980), tekil integrallerin ve problemin karakteristiklerini kullanarak bu sorunu büyük ölçüde aşmışlardır, ancak sayısal hesaplar oldukça uzun zaman almaktadır.

Son zamanlarda ileri hız probleminde yaşanan sorunlardan kurtulabilmek amacı ile yeni çalışmalar yapılmış ve Noblesse ve Yang (2004) yeni bir Green Fonksiyonu önermişlerdir. Kullanılan Green fonksiyonu çok daha basit olmasına ve radyasyon koşulunu sağlamasına karşılık doğrusallaştırılmış serbest su yüzeyi koşulunu gemi civarında ancak yaklaşık olarak sağlamaktadır.

Buraya kadar anlatılan çalışmaların tümü problemi frekans bölgesinde çözmekte ve sonra Fourier dönüşümü ile zaman bölgesine geçmektedirler. Liapis ve Beck (1985) ve Beck ve diğ. (1993) gibi bazı araştırmacılar problemi doğrudan zaman bölgesinde çözmeyi denemişlerdir.

Nakos ve Sclavaunos (1990) ve Kring ve diğ. (1997) ileri hızlarda Green fonksiyonunun entegralinden gelen zorlukları aşmak için Greeen fonksiyonu yerine Rankine kaynakları ve sınır elemanları yöntemini kullanmışlardır. Sınır elemanları yöntemi de bir çeşit panel yöntemi olup farklılık kernel fonksiyonunun seçimi ile serbest su yüzeyi ve radyasyon koşullarının sağlanış şeklinden kaynaklanmaktadır.

Sayısal yöntemlerle yapılan çalışmaların geçerliliklerini sağlamak ancak elde edilen sonuçların deney sonuçları ile karşılaştırılmasıyla mümkündür. Son zamanlarda deneysel tekniklerde elde edilen gelişmeler sonucu daha hassas ölçmeler de yapılması mümkün olmuştur. Bu çalışmalara örnek olarak Ohkusu (1998) ve Miyake ve diğ. (2000)'nin çalışmaları örnek olarak verilebilir.

4.1.2 Halat ve halat bağlama sistemleri

Halat dinamiği ve halat bağlama sistemleri ile ilgili literatür çok geniş bir yer tutmaktadır. Bu konuda ilk çalışmalar Pode (1950) tarafından yapılmıştır. Hidrodinamik yükler altındaki halat bağlama sistemlerinin davranışı konusunda 81 kaynaklık bir inceleme Casarella ve Persons (1970) tarafından yapılmıştır.

Wilson ve Garbaccio (1969) bağlama hattındaki dinamik gerilmeleri hesaplamak için uniform bir halat kullanmışlardır. Onların yönteminindeki en büyük zorluklardan biri, yapılan çalışmanın oldukça uzun ve zaman tüketici olmasıdır. Ayrıca, formüller uniform bir halat için geçerli olduğu için, yığın (clump) ağırlıklarıyla çok bileşenli hatların hesabı için uygun değildir.

Nath ve Felix (1970) bir uniform halatlı tek noktalı bağlama sistemini ele almışlardır ve salınan dalga kuvvetlerinin sonucu olarak bağlama hattı hareketini ve

gerilmelerini tahmin etmişlerdir. Onların sayısal modeli, tüm dalga koşulları ve su derinlikleri aralıkları için iyi sonuçlar vermemektedir.

Dominguez ve Smith (1972) doğrusal yaylardan oluşan soyut parametre modelini (discrete parameter model) kullanarak elastik olmayan halatın statik analizini dinamik ortama genişletmişlerdir. Ancak bu yöntemde halat hareketlerinin çok küçük olduğu durumlarda uygulanabilmekte ve halatın üst ucundaki tekne hareketleri de ihmal edilmektedir.

Childers (1973, 1974a, 1974b, 1975) çok bileşenli halat bağlama sistemlerinin tek bileşenden oluşan bağlama hattı üzerindeki faydaları konusunda bir grup çalışmalar yapmıştır. Niedzwecki ve Casarella (1975), zincir, halat veya bunların ikili kombinasyonlarını kullanarak bağlama hatları katıneri denklemini boyutsuz formda çözmek için bir algoritma geliştirmişlerdir. Bu çalışmalarda, yığın ağırlıkları, ilave çapalar ve hat uzamaları dikkate alınmamıştır. Ayrıca, hat dinamiğinin etkisini ve onlarla ilgili olarak halat konfigürasyonunun dengesi de ihmal edilmiştir.

Çapa serme işleminde okyanus zeminine çarpan çapanın hızlarını tahmin etmek için, Nath ve Thresher (1975) ve Thresher ve Nath (1975) yaylarla birleştirilen ayrık kütle grupları şeklinde modellenen bağlama hattı için kütle grupları yaklaşımını kullanmışlardır.

Schellin ve diğ. (1982) yarı-statik bir yaklaşım kullanmışlardır ve tekne hareketlerinin ve hat gerilmelerinin büyüklüklerinin olasılık fonksiyonlarını hesaplamışlardır. Onlar, uygun bir integral işlemi ile kütle grupları modelinin bağlama hattı dinamik analizi için kullanışlı bir yöntem olacağını söylemişlerdir.

Leonard ve Nath (1981) hidrodinamik yükler altında okyanusda kullanılan bağlama halatlarının analizi için sonlu eleman ve kütle grupları yöntemleri arasındaki temel özellikleri, benzerlikleri ve farklılıkları süreklilik yaklaşımını kullanarak incelemişlerdir. Onlara göre, her iki yöntemde de farklı olabilecek sınır koşulları ve ayrıklaştırma derecesini doğru seçerek her iki yöntemde de doğru sonuçlar elde edilebilmektedir.

Griffin ve Rosenthal (1989) açık deniz uygulamalarında derin-su bağlamalarını, kule ve platform germe halatını da kapsayacak şekilde gevşek halatların kullanımını ele almışlardır. Çalışmalarında, birleştirilmiş ayrık kütleli gevşek halat dinamiğini tahmin etmek için, bilinen yöntemleri kullanmışlardır.

Tuah ve Leonard (1990) sentetik halat dinamik viskoelastik davranışını tahmin etmek için bir sonlu-eleman yöntemi kullanmışlardır. Kullanılan 3 parametreli doğrusal viskoelastik model, okyanusta karmaşık bir şekilde bağlanmış ve kavisli (curved) sistemlerin dinamik analizi için oldukça uygun bir modeldir.

Nakamura ve diğ. (1991) bağlama zincirinin dinamik gerilmesini hesaplamak için hidrodinamik direncin (drag) etkisini de hesaba katan bir zaman bölgesinde değiştirilmiş yaklaşık yöntem sunmuşlardır. Hesaplanan sonuçlar, deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmış ve birbirlerine yakın sonuçların elde edildiği görülmüştür.

Aranha ve Pinto (2001) halatın asılı olan kısmı boyunca olan dinamik gerilme değişimini ifade eden analitik bir yöntem geliştirmiştir.

Gobat ve Grosenbaugh (2001) çalışmalarında bağlama hattının üst uç kısmının dikey hareketlerinin sebep olduğu dinamik gerilmeyi belirlemek için sayısal bir model önermişlerdir.

Ong ve Pellegrino (2003) bağlama halatlarının deniz dibi ile etkileşimi için merkezi sonlu farklar ile frekans bölgesinde analiz yapan bir model geliştirmeye çalışmışlardır. Bu çalışmada sürtünme etkilerini ve çarpma etkilerini ihmal etmişlerdir.

4.1.3 Bağlama sistemi tasarımı ve modellenmesi

Bağlı yüzer yapıların dinamiği konusundaki ilk önemli çalışma bir rapor mahiyetinde olan Kaplan ve Putz (1962)'a aittir. Bu rapor, karışık dalgalarda ve derin suda yüzen çok noktadan bağlı bir mavnanın dinamik davranışının kapsamlı teorik analizini içermektedir.

Hsu ve Blenkarn (1970), Remery ve Hermans (1971), Remery ve Oortmerssen (1973), Newman (1974) ve Pinkster (1974) çalışmalarında karışık denizlerde bağlı bir teknenin yavaş-sürüklenme salınımlarını analiz etmişlerdir.

Van Oortmerssen (1976) sabit integral yöntemini kullanarak bağlı gemi problemleri için sayısal çalışmalarda bulunup, elde ettiği sonuçları deneysel sonuçlarla mukayese etmiştir.

Wichers (1976) çalışmasında yatay düzlemdeki tanker hareketleri için, doğal frekans modlarını ve dinamik denge hesaplama prosedürlerini tanımlamıştır. Wichers'ın çalışması baş halatının elastik karakteristikleri ve uzunluğu konusunda parametrik bir

çalışma olup analitik sonuçları karşılaştırmak için model testleri de gerçekleştirmiştir. Wickers (1978) fırtına koşullarında üç boyutlu kaynak-kuyu tekniği yöntemini kullanarak, yüzer yapılar için olası maksimum dinamik normal ve kesme gerilmelerinin hesabını yapmıştır. Wickers (1979) ayrıca yaptığı çalışmalarda tek noktadan bağlı tankerin rüzgar ve akıntı etkileri altında düşük frekanslı büyük genlikli hareketlerini ve oluşan bağlama kuvvetlerin matematiksel bir modelini bilgisayar benzetimi için formüle etmiştir. Wichers ve van den Boom (1983) tek noktadan bağlı bir tankerin düşük ve yüksek frekanstaki hareketlerini zaman bölgesinde çözen bir bilgisayar yazılımı oluşturmuşlardır. Yapılan hesapların, model deneylerini de yaparak hesaplarda parelellik olduğunu göstermişlerdir. Wickers (1986) benzetim programları için giriş verisi oluşturacak rüzgar, düzensiz dalga ve akıntı tarafından indüklenen çok geniş bir tankerin davranışını ve bağlama kuvvetlerini içeren teorik ve deneysel sonuçları vermiştir. Wickers (1988), tek noktadan bağlı bir tankerin çeşitli işlem koşullarında 3 serbestlik derecesindeki hareketlerini hesaplamak için zaman bölgesinde hesap yapan bir benzetim modeli önermiştir. Yapılan hesaplamalar ile deneysel çalışmaların örtüştüğünü yaptığı çalışmalarda göstermiştir. de Kat ve Wichers (1991) akıntı, rüzgar ve dalga gibi dinamik yüklerin tek noktadan bağlı tankerin stabilitesi üzerindeki etkilerini hesaplamışlardır.

Muga ve Freeman (1977) tek noktadan bağlı teknenin davranışını zaman bölgesinde çarpma cevap fonksiyonlarını ve sabit atalet katsayılarını kullanarak analitik olarak ifade ederek sonuçları deneysel sonuçlarla mukayese etmişlerdir.

Chakrabarti ve Cotter (1978) kule tanker sisteminin hareketlerini analiz etmek için matematiksel bir model geliştirdiler ve sonuçları düzenli ve düzensiz dalga model deneyleri ile karşılaştırdılar.

Yamamoto ve diğ. (1980) bağlı yüzen yapının iki boyutlu (2D) cevabı için Green fonksiyonlarını kullanarak matematiksel bir formülasyon geliştirdiler ve sonuçları deneysel sonuçlarla analiz ettiler.

Ikegami ve Matsuura (1981) bağlı yüzen cisimler için bağlama hatlarına gelen kuvvet ve hareket cevaplarını tahmin etmek için dilim teorisini esas alan analitik bir yöntem geliştirdiler ve elde ettikleri sonuçları deneysel çalışmalarıyla karşılaştırdılar.

Takagi ve diğ. (1985), dalgalardaki bağlı cismin hareketlerini hesaplamak için "convolution integral" yöntemi ve sabit katsayı yöntemini karşılaştırdılar.

Bernitsas ve Papoulias (1986) tekne-pervane-dümen etkileşimi altındaki tek noktadan bağlı bir tanker için stabilite analizi konusunda çalışıp ve sistemin hareketinin benzetimini yapmışlardır. Bernitsas ve diğ. (2004) bağlama sistemleri üzerinde ortalama ve yavaşça değişen dalga sürüklenme kuvvetleri etkisiyle oluşan yedi farklı cevap durumu üzerine (rezonans vb.) çalışmalar yapıp, bu konuda bir yöntem geliştirmişlerdir.

Ostergaard ve Schellin (1987) tankerin boyuna, enine hareketleri, dalıp çıkma, baş-kıç vurma ve yalpa hareketlerini hesaplamak için dilim teorisini kullandılar ve deneysel sonuçlarla karşılaştırdılar.

Lau ve diğ. (1990) sonsuz elemanları kullanarak elastik olarak bağlı yüzen yapıların dalga etkileşimi genel 3 boyutlu problemi için matematiksel bir formül sundular.

Yılmaz ve İncecik (1996) doğrusal olmayan çevresel yükler nedeniyle bir CALM sisteminde oluşan dinamik hareketleri ve bağlama kuvvetlerini tahmin etmek için deneysel çalışmalarda bulundular ve doğrusal olmayan bir çözüm yöntemi geliştirdiler.

Barltrop (1998) bağlama sistemleri tasarımı ve bu sistemlerin dinamiği konusunda çok iyi bir kaynak kitap sunmuştur.

Nestergard ve Krokstad (1999) gemi hareketleri ve bağlama dinamiği birleşik çözüm analizi için kullanılan bilgisayar çözümlerini analiz ettiler.

Mastrangelo (2000) ve Brown ve diğ. (2005) FPSO bağlaması için işlem tecrübelerini ve kontrollerini içeren çalışmalarda bulunmuşlardır.

Garrett (2005) tekne/rayzer/bağlama sisteminden oluşan bir yüzer yapı için sistemin hareketini frekans ve zaman bölgesinde modelleyip, çözümlerini yapmıştır.

Van Der Molen (2006) limanda rastgele dalga alanlarına maruz kalan bağlı geminin davranışını için, uzun periyotlu gemi cevabına odaklanarak, birinci ve ikinci dereceden kuvvetleri hesaplayan bir yöntem geliştirmiştir.

Low ve Langley (2006) derin suda yüzen bir açık deniz yapısının, tekne/rayzer/bağlama sistemi birleşik hareketi için zaman ve frekans tabanlı bir çözüm yöntemi geliştirmişlerdir.

Literatürde rayzerleri ve çapa tasarımlarını içerecek şekilde yapılmış pek çok bağlama sistemi tasarımı teorik çalışmaları vardır. Bağlama sistemleri ve rayzer sistemlerinin tasarımı ve analizi konusunda bu yöntemler McClure ve diğ. (1989), Huang ve Judge (1996), Lee (1997), Connaire ve diğ. (1999), Barusco (1999), Ward ve diğ. (1999), Baar ve diğ. (2000), Duggal ve diğ. (2000), Portelle ve Mendes (2002) tarafından sunulmuştur. Derin suda çalışacak bağlama ve çapa sistemleri ile ilgili Barusco (1999) ve Ehlers ve diğ. (2004) çalışmaları vardır.

Tek noktadan bağlı sistemler konusunda Molin ve Bureau (1980), Faltinsen (1993), Fernandes ve Aratanha (1996)'in çalışmaları, çok noktadan bağlı sistemler konusunda Van Oortmerssen ve diğ. (1986) , Davison ve diğ. (1987), Gottlieb ve Kim (1992), Bernitsas ve Garza-Rios (1996), Chakrabarti (1997), Kim ve Bernitsas (1999, 2001), Bernitsas ve Matsuura (2002) çalışmaları vardır.

Brown ve diğ. (2005) bağlama sistemlerinin tasarımı ve işletmesi ile ilgili çeşitli önemli özellikleri (bağlama sistemi bozulma sebepleri, bağlama hat kaybı yorulma sonuçları, sürtünme tesirli eğilme durumları, konnektör tasarımının önemi, bağlama hat kaybı belirleme yöntemleri gibi) ele almışlardır. Derin su bağlama sistemlerinde kullanılan fiber halatların özellikleri konusunda Flory ve diğ. (2004)'nin çalışmaları vardır.

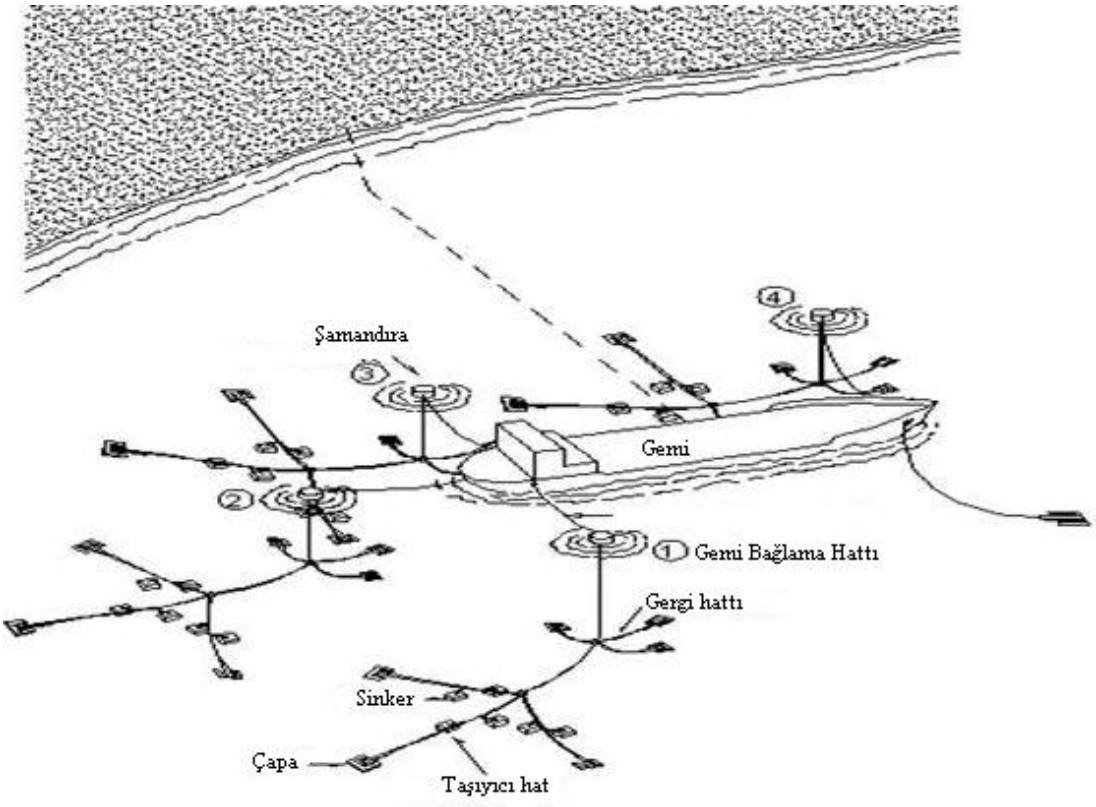
Paik ve Thayamballi (2007)'e göre bağlama halatları sürekli olarak korozyona uğrama, darbe, aşınma, yorulma, eğilme ve gerilme gibi tehlikelere maruz kalmaktadırlar. Bağlama hattının kaybı potansiyel olarak rayzerlerin zarar görmesine veya kopmasına yol açar. Bunun sonucunda bağlama sistem ünitesi işlemlerine son verilir. Bu nedenle bağlama ünitelerinin tasarım önceliği tek noktada oluşabilecek halat kopmasının rayzer sistemlerine zarar vermeyecek şekilde oluşturulması olmalıdır.

4.2 Bağlama Sistemi Malzeme Seçimi

Tanker-şamandıra bağlama sistemi gemi bağlama hattı (halatlar, çapalar, çapa zincirleri), şamandıralar ve şamandıra bağlama sistem bileşenleri (zincirler ve aranjmanları, sinkerler, çapalar ve özel ekipmanlar)'dan oluşmaktadır. Bileşenlerin seçimi çevre koşulları ve işlem şartlarına bağlıdır. Örneğin, deniz canlılarının yapışma olasılığının yüksek olduğu bir çevrede, fiber malzemeden yapılmış bir

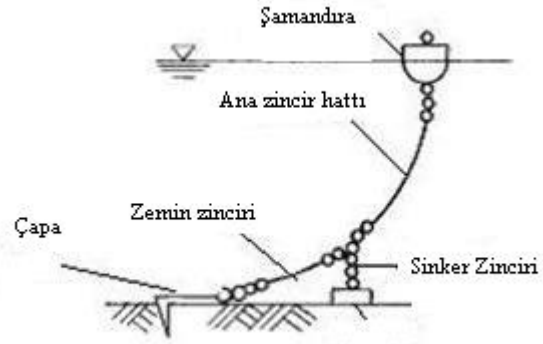
halatın kullanımı mümkün değildir. Ayrıca sistem bileşenlerinin tasarımında bağlanacak teknenin boyutu, çevresel yükler, işlem sınırlamaları, mevcut hat donanımı, maliyet durumları vb. gibi öz niteliklerde etkili olmaktadır (Ansari, 1999).

Tanker-şamandıra sistemi ekipmanlarının seçiminde DNV (Det Norske Veritas, 2004) klaslama kuruluşunun standartları dikkate alınmıştır. Şekil 4.3'de tipik bir çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemi görülmektedir (US. Navy, 1985).



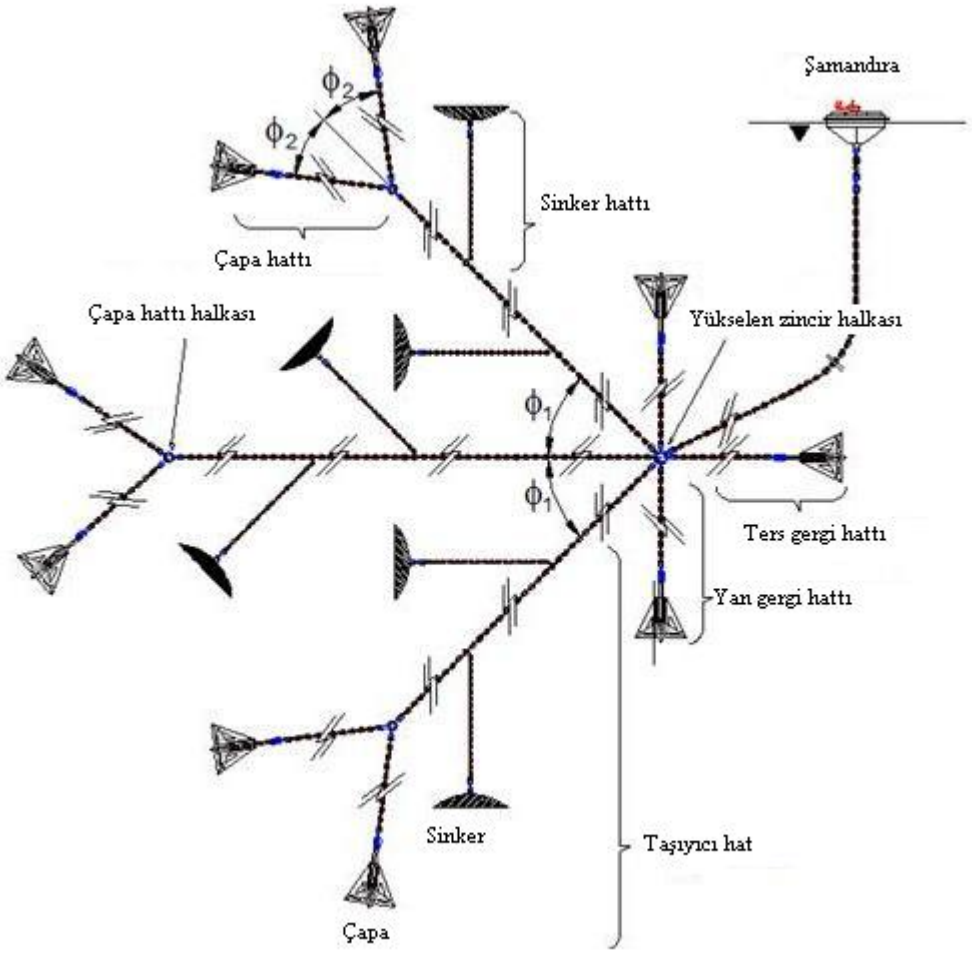
Şekil 4.3 : Tanker-şamandıra bağlama sistemi bileşenleri.

Şamandıra sisteminin deniz tabanıyla bağlantısını sağlayan alt kısım; bağlama hattı zincirler ve aranjmanları, sinkerler ve çapalardan oluşur. Zincir aranjmanları bağlantı elemanları fırdöndüler ve kelepçelerden oluşur. Fırdöndüler zincirlerin yerleştirilmesi sırasında burulmasını engellemek için kullanılırlar. Sinkerler deniz dibine yerleştirilen ve bir çeşit ağırlık tipi çapa olarak kullanılan beton veya dökme metal malzemelerinden üretilen ağır bloklardır (Şekil 4.4) (Türk Loydu, 2010). Sinker blokları bağlama sisteminin statik ve dinamik hareketlerinin dengelenmesi ve deniz dibine serilen zincir hattının düşey kararlılığının sağlanması amacıyla kullanılırlar.



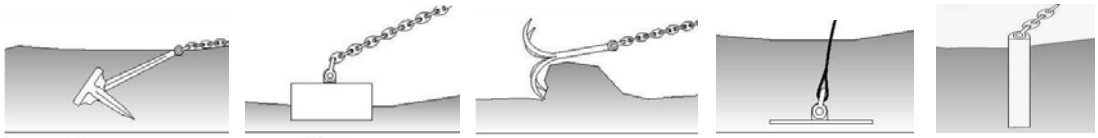
Şekil 4.4 : Çapa-sinker bağlama.

Bağlama hattının genelde katineri formda olması istenir. Şekil 4.5'de tipik bir katineri bağlama sistemi örneği görülmektedir (Türk Loydu, 2010).



Şekil 4.5 : Katineri bağlama sistemi.

Şamandıra bağlama sistemlerinde yatak zincirlerinin deniz dibinde sabitlenmesi için Şekil 4.6'da görülen sürüklenerek gömülen çapa (a), ağırlık tipi çapa (b), takılmalı çapa (c), gömülü çapa (d) ve saplamalı (kazık) çapa (e) kullanılabilir (Türk Loydu, 2010). Kullanılacak çapanın seçiminde, deniz dibi yapısı, deniz dibi geometrisi, yükleme yönü ve yanal yük ölçeği ölçütleri kaynak olarak alınır.

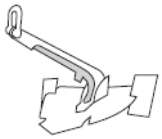
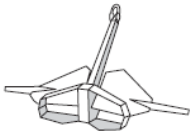


(a) (b) (c) (d) (e)

Şekil 4.6 : Çok noktalı bağlama sistemi çapa çeşitleri.

Çok noktalı bağlama sistemlerinde kullanılan sürüklenerek gömülen çapa tipleri için etkinlik katsayısı en yüksek olanlar Çizelge 4.1'de verilmiştir. Sürüklenerek gömülen çapaların seçiminde, dikey ve yatay kuvvetlere karşı göstereceği direnç en önemli parametredir. Dikey kuvvetlere karşı çapa su içindeki ağırlığı ile karşı koymaktadır. Yatay kuvvetlere karşı çapanın göstermiş olduğu direnç kuvveti, tutunma kapasitesi olarak isimlendirilir.

Çizelge 4.1 : Sürüklenerek gömülen çapa örnekleri.

		Tip	Etkinlik Katsayısı (e)	
1. Tip	33-55	 TLC – 1		
2. Tip	17-25	 TLC – 23	 TLC – 24	 TLC – 22
3. Tip	14-26	 TLC – 5	 TLC – 18	 TLC – 20

Sürüklenerek gömülen çapalarda tutunma kapasitesi (Türk Loydu, 2010);

$$H_t = H_r\,(W_h/4536)a \qquad \textbf{(4.1)}$$

formülü ile hesaplanır. Bu formülde,

H_t : Statik tutunma kapasitesi [kN];

H_r : Kaynak çapanın havadaki tutunma kapasitesi [kN];

W_h : Çapanın havadaki ağırlığı [kg];

a : Üstel sabiti.

Sürüklenerek gömülen çapalara ait tutunma kapasitesi parametre değerleri Çizelge 4.2'da verilmiştir (Türk Loydu, 2010).

Çizelge 4.2 : Tutunma kapasitesi parametreleri.

Çapa Tipi (1)	Yumuşak Zemin (Yumuşak kil ve balçık)		Sert Zemin (Kum ve balçık kil)	
	Hr [kN]	a	Hr [kN]	a
TLC – 1 Düz gövde	841	0.92	934	0.94
TLC – 5	618	0.92	734	0.8
TLC - 18	841	0.92	1290	0.8
TLC – 20	1112	0.92	Bu zemine uygun değil	
TLC – 22	841	0.92	445	0.8
TLC – 23 Dökme	142	0.92	1112	0.8
TLC – 24 İkiz gövde	841	0.92	934	0.94
a: üstel sabit				

Deniz tabanına ait yeterli verinin olmadığı durumlarda çapaların tutunma kapasitesi için,

$$H_t = e.W_h \qquad \textbf{(4.2)}$$

formülü kullanılabilir.

Burada, e boyutsuz çapa etkinlik katsayısıdır ve 10 tonluk çapa tiplerine göre katsayı değerleri Çizelge 4.1'de verilmiştir (Türk Loydu, 2010). Zemin ile ilgili yeterli verinin olmadığı durumlarda çapa etkinlik katsayı değerlerinin minimumu alınabilir.

Şamandıra üzerinde kullanılabilecek özel ekipmanlar, mekanik ve elektronik ekipmanlar diye ikiye ayrılırlar. Şamandıra güvertesinde bulunabilecek ana

ekipmanlar korkuluklar, çabuk çözülür kanca, kaydırmaz lastik kaplama, usturmaça vb. sıralanabilir. Bağlama sistemi bileşenlerinin seçiminde, klaslama kuruluşlarının önermiş olduğu standart ve limitlere kesinlikle uyulmalıdır.

4.3 Statik Etkiyen Çevresel Yükler

Kimi çevresel yük bileşenleri, göreceli uzun karakteristikli periyotlara sahiptirler (1 saatlik ortalama rüzgar veya 3 saatlik fırtına gibi). Bu nedenle tasarım analizi yapılırken bu tip çevresel yükler sabit veya statik olarak alınabilirler. Açık denizde konumlandırılan yüzer yapıların analizi, dinamik yükler üzerine yoğunlaşmış olsada, statik bileşenlerde oldukça önemlidir. Statik kuvvetler, toplam gemi sapma miktarı veya bağlama yüküne önemli bir katkıda bulunan ortalama denge konumunu belirlerler. Bağlama sisteminin doğrusal olmayan davranışı nedeniyle, bu denge konumunun dinamik karakteristikler üzerine de önemli bir etkisi vardır (Barltrop, 1998).

4.3.1 Sabit rüzgar yükü

Rüzgarın stokastik doğası nedeniyle, özellikleri zaman ve çevreye göre değişiklik gösterir. Pek çok meteorolojik uygulamalarda, rüzgar hızı, kesin bir zaman aralığı üzerindeki ortalama değeri alınarak tahmin edilir (Remery ve Oortmersson, 1973).

Yüzen yapıların yapısal tasarımı; ortalama rüzgar hızına statik tepki ve rüzgar türbülansına birleşik dinamik tepkiyi esas alabilir ya da ortalama hız ve ani türbülans etkisinin ikisini de hesaba katan daha yüksek bir rüzgar hızı olarak da seçilebilir (Barltrop, 1998).

Yüzen yapı üzerinde sabit bir rüzgarın esmesi, aşağıda belirtilen sabit yükler şeklinde sonuçlanacaktır:

- Rüzgar yönünde sabit bir kuvvet,
- Rüzgar yönüne dik eksenlerde sabit bir moment,
- Rüzgar kuvvetlerinin hesabında yaygın bir şekilde iki yöntem kullanılır:
- Kuvvetleri veya ampirik katsayıları elde etmek için rüzgar tüneli model testleri,
- Basit şekiller için ampirik katsayıları esas alan hesaplamalar.

Karmaşık üstyapılar için her iki yöntemde zayıf yönlere sahiptir. Model değerlerini tam ölçek değerlerine dönüştürmedeki belirsizlikler, Reynold sayısındaki önemli farklılıklar ve uygun bir rüzgar profili modellemedeki zorluklar bu konuda karşılaşılan problemlere örnek oluşturmaktadır.

Rüzgar ve akıntı yüklerinin hesabı için pek çok seçim yöntemi mevcuttur. En yaygın olarak kabul edilen yöntem, OCIMF (1994) (OCIMF: Oil Companies International Marine Forum) tarafından önerilen yöntemdir. OCIMF (1994)'e göre rüzgar kuvvetlerinin ve momentinin hesabı aşağıdaki formüller kullanılarak yapılmalıdır:

$$F_{Xw} = \frac{1}{2} C_{Xw} \rho_w V_w^{\,2} A_T \qquad \textbf{(4.3)}$$

$$F_{Yw} = \frac{1}{2} C_{Yw} \rho_w V_w^{\,2} A_L \qquad \textbf{(4.4)}$$

$$M_{XYw} = \frac{1}{2} C_{XYw} \rho_w V_w^{\,2} A_L L_{BP} \qquad \textbf{(4.5)}$$

Bu denklemlerde;

F_{Xw} : Boy yönündeki rüzgar kuvveti (kN);

F_{Yw} : En yönündeki rüzgar kuvveti) (kN);

M_{XYw} : Rüzgar savrulma momenti (kN.m);

C_{Xw} : Boy yönündeki rüzgar kuvveti katsayısı;

C_{Yw} : Borda yönündeki rüzgar kuvveti katsayısı;

C_{XYw} : Savrulma yönündeki rüzgar kuvveti katsayısı;

ρ_w : Havanın yoğunluğu (kg/m^3);

V_w : Rüzgar hızı (m/sn);

A_T : Geminin boyuna rüzgar kesit alanı (m^2);

A_L : Geminin enine rüzgar kesit alanı (m^2);

L_{BP} : Geminin dikeyler arası boyu (m)

olarak verilmiştir. Burada; C_{Xw}, C_{Yw} ve C_{XYw} deney sonucu elde edilen rüzgar kuvveti katsayılarıdır.

4.3.2 Sabit akıntı yükleri

OCIMF (1994)'e göre akıntı kuvvetleri ve momentinin hesabı aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanır:

$$F_{Xc} = \frac{1}{2} C_{Xc} \rho_c V_c^2 L_{BP} T \quad \textbf{(4.6)}$$

$$F_{Yc} = \frac{1}{2} C_{Yc} \rho_c V_c^2 L_{BP} T \quad \textbf{(4.7)}$$

$$M_{XYc} = \frac{1}{2} C_{XYc} \rho_c V_c^2 L_{BP}^2 T \quad \textbf{(4.8)}$$

Bu denklemlerde;

F_{X_c} : Boy yönündeki akıntı kuvveti (kN);

F_{Yc} : En yönündeki akıntı kuvveti (kN);

M_{XYc} : Akıntı savrulma momenti (kN.m);

C_{Xc} : Boy yönündeki akıntı kuvveti katsayısı;

C_{Yc} : Borda yönündeki akıntı kuvveti katsayısı;

C_{XYc} : Savrulma yönündeki akıntı kuvveti katsayısı;

ρ_c : Su yoğunluğu (kg/m^3);

V_c : Akıntı hızı (m/sn);

L_{BP} : Geminin dikeyler arası boyu (m);

T : Geminin su çekimi (m)

olarak verilmiştir. Burada; C_{Xc}, C_{Yc} ve C_{XYc} deney sonucu elde edilen akıntı kuvveti katsayılarıdır.

4.3.3 Ortalama dalga sürüklenme kuvveti

Ortalama dalga sürüklenme kuvvetleri, ikinci dereceden dalga etkilerinin sabit bileşenleri nedeniyle meydana gelir. Bu ortalama kuvvet, yüzen cisimden yansıyan dalgaların bir sonucudur. İkinci dereceden olup dalga yüksekliğinin karesi ile orantılıdır. Ortalama dalga sürüklenme kuvvetinin hesaplanması için işlem hareket analiz programları kullanılır veya model deneyleri yapılır.

Dalga sürüklenme kuvvetleri birinci dereceden dalgalar nedeniyle oluşan ikinci dereceden hidrodinamik basıncın ve birinci dereceden dalga alanı ile birinci dereceden hareket arasındaki etkileşimin sonuçlarının toplamıdır. Salvesen (1974), ikinci dereceden dalganın sadece yüksek sıklıktaki artışa yol açtığını göstermiştir. İkinci dereceden kuvvet bu nedenle ikinci dereceden dalgayı çözmeye ihtiyaç duymadan birinci dereceden dalga ile hesaplanabilir. Gemi şeklindeki tekneler için önceleri yapılan çalışmaların tümü ortalama dalga sürüklenme kuvvetinin hesabında uzak alan momentumunu kullanmışlardır (Maruo, 1960; Gerritsma ve Beukelman, 1972; Newman, 1967).

Daha sonra ortalama sürüklenme kuvvetinin hesabı için uzak alan momentum korunumu formülasyonu (Faltinsen ve Michelsen, 1974) ve yakın alan basınç integral formülasyonu (Pinkster ve Oortmerssen, 1976; Pinkster, 1980) şeklinde iki kategoride hesaplamalar önerilmiştir.

Uzak alan formülasyonu uzak alanda (yüzen yapıdan uzakta) birinci dereceden basınç ve sıvı hızı açısından ortalama yatay sürüklenme kuvvetleri ve momentlerini (boyuna, enine ve sürüklenme modlarında) ifade eder. Bunlar sırayla birinci dereceden difaksiyon teorisi içinde gövdenin kaynak temsilini içeren bir integral olarak ifade edilebilir ve birinci dereceden hareketlerin çözümü olarak hesaplanabilir.

Yakın alan formülasyonu ani değişen ıslak yüzey üzerindeki hidrodinamik basınç integre edilerek, ikinci dereceden kuvvetler ve momentler türetilir.

4.4 Bağlama Sistemi Dinamiği

Bağlama sistemini kullanan bir geminin bu sistem içindeki hareketi gerçek bir akışkan yüzeyinde hareket eden rijid bir cismin dinamik problemidir. Bu problemde gemiye etkiyen kuvvetler akıntı, rüzgar ve dalga gibi dış kuvvetlerdir. Bu kuvvetlerin etkisi altında geminin davranışı 6 serbestlik dereceli bir diferansiyel denklem takımı ile ifade edilebilir (Ansari, 1999). Bu diferansiyel denklem takımının çözümü yüksek hesaplama zamanı gerektiren oldukça karmaşık bir işlemdir.

Bağlama sistemi analizde kullanılan çok sayıda yöntem vardır. Bağlama sisteminin davranışının analizi için kullanılan yöntem aşağıdaki hareket denklem takımını kullanır ve çözer (Barltrop, 1998):

$$M\frac{d^2x}{dt^2} + C\frac{dx}{dt} + Kx = F_{static} + F_{wavefreq} + F_{slowdrift} + F_{mooring} \qquad \textbf{(4.9)}$$

Bu denklemde,

x = Yer değiştirme vektörü,

M = Hidrodinamik kütle matrisi,

C = Sönüm matrisi,

K = Katılık matrisi,

F_{static} = Statik yükler,

$F_{wavefreq}$ = Birinci dereceden dalga yükleri,

$F_{slowdrift}$ = Yavaş değişen sürüklenme yükleri,

$F_{mooring}$ = Bağlama sistemi yükleri

olarak verilir. Bir açık deniz yapısının dış yüklere dinamik cevabı dalgalarda teknenin denizcilik karakteristiği, teknenin titreşimi ve bağlı sistemlerin cevabını

içerir. Bu açık deniz yapısının dinamik cevabı aşağıdaki gibi frekans içerikli ifade edilebilir (Bai, 2003):

- Dalga frekans cevabı: Cevap 5-15 saniye periyot aralığında olur. Bu teknenin alışılmış denizcilik hesaplarında kullanılılan hareketidir. Birinci dereceden hareket teorisi kullanılarak çözülebilir.
- Yavaşça değişen cevap: Cevap 100-200 saniye periyot aralığında olur. Bu teknenin bağlama hatlarıyla birlikte yavaş sürüklenme hareketidir. Yavaşça değişen cevap, bağlama ve rayzer sisteminin tasarımında, doğrusal birinci dereceden hareketler kadar eşit öneme sahiptir. Ayrıca ani gelişen rüzgarda yüksek frekanslı periyotlarla birlikte deniz yapılarının yavaşça değişen salınımları olarak sonuçlanabilir.
- Yüksek-frekanslı cevap: Dalga periyodunun altındaki periyottaki cevaptır. Okyanus geçen teknelerde, yüksek frekanslı yapısal titreşime sebep olan yüksek frekanslı yaylanma kuvvetleri meydana gelir. Bu olaya dövünme adı verilir (Bhattacharyya, 1978). Dövünme, harmonik salınıma bir çeşit rezonans cevabıdır.
- Çarpma cevabı: Çarpma tekne gövdesi ile su arasındaki çarpmanın etkisiyle yüksek basınçlı çarpma yükleri gemi/platform diplerinde meydana gelir. Bu yüksek frekanslı cevap ve çarpma cevabı yapısal cevaptan bağımsız olarak düşünülmemelidir. Bu konuda hidroelastisite teorisi kullanılmalıdır.

4.4.1 Bağlama sistemi dinamik analiz yöntemleri

Rüzgar, dalga ve akıntı gibi dış kuvvetlere maruz kalan yüzen bir yapının, bulunduğu ortamdaki davranışının analizi için genellikle aşağıdaki yöntemler kullanılır (ISO, 2004):

- Frekans bölgesinde analiz
- Zaman bölgesinde analiz
- Zaman ve frekans bölgesi birleşik analizi

Bu yöntemler farklı tahmin ve limit değerlerini gerektirdiğinden tutarlı sonuçlar vermezler. Bağlama sistemi tasarımı için seçilen yaklaşımın doğruluğunu test etmek için model test verileri veya değişik bir yaklaşım kullanmak uygun olabilir.

Frekans bölgesi yaklaşımı:

Bu yaklaşımda ortalama, düşük frekanslı ve dalga frekans cevapları için yapının davranışını tanımlayan genel hareket denklemleri ayrı ayrı çözülürler. Ortalama cevaplar sabit çevresel hareketler ve bağlama sisteminin geri getirme kuvvetleri arasındaki statik denge kullanılarak hesaplanırlar. Dalga frekansı ve düşük frekanslı yapı hareketleri hareket cevap istatistiklerini veren frekans bölgesi yaklaşımı kullanılarak hesaplanırlar. Daha sonra önemli ve maksimum beklenen cevaplar gibi ekstrem değerler, zirve olasılık dağılım fonksiyonları kullanılarak değerlendirilirler. Sonuç olarak dalga frekansı ve düşük frekanslı cevapların maksimum beklenen ve belirgin maksimum beklenen değerleri ortalama cevap olarak birleştirilirler.

Yüzen bir yapının tanımlanmasında, frekans bölgesini kullanan bir bağlama analizinde ilk olarak yapının ortalama konumu boyuna yöndeki, enine yöndeki ve savrulma yönündeki statik denge hesapları yapılarak belirlenir. Yapının konumunda ve hat gerilmelerinde önemli bir etkiye sahip olmayan savrulma momenti, çok noktalı bağlama sistemi donanımlı yapılar için ihmal edilebilir. Daha sonra dalga ve düşük frekanslı zorlamalara boyuna yöndeki, enine yöndeki ve savrulma yönündeki cevaplar hesaplanarak yapının ortalama konumuna eklenirler. Bu işlemlerin ana hatları aşağıdaki şekilde verilebilir (ISO, 2004):

- Rüzgar, akıntı hızları, karakteristik dalga yükseklikleri ve periyotları ile ilişkili olduğu yönler, fırtına süresi ile en yüksek ve işlemin yapılabileceği limit durumları gibi çevresel ölçütler belirlenir.
- Bağlama şekli yerleştirilecek bağlama hattı bölümlerinin karakteristikleri ve başlangıç ön gerilmeleri belirlenir.
- Tekneyi etkileyen ortalama çevresel yükler belirlenir.
- Elastik hat gerilme ve sürtünmesini içerecek şekilde ortalama çevresel yüklerin neden olduğu teknenin ortalama ofset değerleri statik bir bağlama analiz yaklaşımı kullanılarak belirlenir.
- Teknenin düşük frekanslı hareketleri belirlenir.
- Karakteristik ve maksimum dalga frekansı yapı hareketleri, uygun bir hidrodinamik hareket analizi aracı kullanılarak hesaplanır.

- Yapının maksimum ofset değeri asılı hat uzunluğu, yarı-statik gerilme ve çapa yükleri statik bağlama analiz aracı kullanılarak belirlenir.
- Maksimum beklenen hat gerilmesi ve maksimum beklenen çapa yükleri frekans bölgesi veya zaman bölgesi bağlama hat analiz aracı kullanılarak hesaplanır (sadece yarı-statik çözüm isteniyorsa bu adım ihmal edilir).
- Maksimum yapı ofseti ile asılı hat gerilmesi maksimum hat gerilmesi ile çapa yükleri tasarım ölçütleri ile karşılaştırılır. Tasarım ölçütleri hesaplanan değerleri karşılamıyorsa bağlama tasarım parametreleri değiştirilir ve bu analiz tekrarlanır.

Zaman bölgesi yaklaşımı:

Bu yaklaşımda yüzen yapının birleştirilmiş ortalama, düşük frekanslı ve dalga frekansı cevapları için yapının davranışını tanımlayan genel hareket denklemleri zaman bölgesinde çözülürler. Bu zorlama kuvvetleri dalga, rüzgar, akıntı, sevk sistemi vb. nedenli ortalama, düşük frekanslı ve dalga frekans etkilerini içerirler. Yüzen yapıyı bağlama hatları, rayzerler ve sevk sistemi davranışı ve etkileşimlerini tanımlayan tüm denklemler zaman bölgesi benzetimini kapsarlar. Tüm ana cevap parametrelerinin zaman verileri (yapısal yerdeğiştirmeler, bağlama hattı gerilmeleri, çapa yükleri vb.) benzetimlerden elde edilir ve sonuçlar zaman verisi olarak verilir ve uç değerleri elde etmek için istatistiksel işleme tabi tutulurlar. Zaman bölgesi benzetimi doğru istatistiksel sonuçlar elde etmek için yeterli uzunlukta olmalıdır.

Zaman bölgesi yöntemleri, yapı ve bağlamalardan oluşan birleşik sistem için ortalama cevap, düşük frekans cevabı ve dalga frekans cevabının birleşik benzetimlerini gerçekleştirmek için kullanılabilirler. Bu yaklaşım yapının bağlama hatlarının ve rayzerlerin ortalama cevap, düşük frekans cevabı ve dalga frekans cevabı için hareketin genel denklemlerini çözecek bir zaman bölgesi bağlama analiz program aracı gerektirir. Yapı bağlama hatları ve rayzerlerden dolayı düşük frekanslı sönümün oluşması ile birleşik yapı ve bağlama/rayzer sisteminin tamamıyla hesaplanabilmesi bu yaklaşımın en önemli avantajlarıdır. Zaman bölgesi yaklaşımının ana hatları bağlama sistemi analizi için aşağıdaki şekilde verilebilir (ISO, 2004):

- Rüzgar, akıntı hızları, karakteristik dalga yükseklikleri ve periyotları ile ilişkili olduğu yönler, fırtına süresi ile en yüksek ve işlemin yapılabileceği limit durumları gibi çevresel ölçütler belirlenir.
- Bağlama şekli yerleştirilecek bağlama hattı bölümlerinin karakteristikleri ve başlangıç ön gerilmeleri belirlenir.
- Teknenin rüzgar etkisi ve akıntı etkisi katsayıları belirlenir ve tekneyi, rayzerleri ve bağlamayı içeren sistem için hidrodinamik bir model geliştirilir.
- Bir zaman bölgesi analiz program aracı kullanılarak fırtına süresi için bir zaman bölgesi benzetimi gerçekleştirilir. Giriş spektrumundan türetilen farklı dalga ve farklı rüzgar verileri kullanarak birkaç kez benzetim tekrarlanır.
- Teknenin ofseti için beklenen maksimum değerleri, hat gerilmelerini, çapa yüklerini ve geometrik parametrelerini saptamak için istatistiki analiz teknikleri kullanılır.
- Bir önceki adımda hesaplanan değerler tasarım ölçütleri ile karşılaştırılır. Tasarım ölçütleri hesaplanan değerleri karşılamıyorsa bağlama tasarım parametreleri değiştirilir ve bu analiz tekrarlanır.

Zaman ve frekans bölgesi birleşik analizi:

Birleşik zaman ve frekans bölgesi yaklaşımı diğer iki yaklaşımdaki zorlukları yenmek ve sayısal işlemleri azaltmak için sık sık kullanılmaktadırlar. Ortalama yüklerin, dalga ve düşük frekanslı hareketlerin zaman ve frekans bölgesindeki çözümlerini farklı yollarla birleştirmek mümkündür. Tipik bir yaklaşım örneği olarak dalga frekans cevapları frekans bölgesinde çözülürken, ortalama ve düşük frekanslı cevaplar (yapısal yerdeğiştirmeler, bağlama hattı gerilmeleri, çapa yükleri vb.) zaman bölgesinde simule edilmesi verilebilir. Dalga frekans cevabı için frekans bölgesinde elde edilen çözüm, diğer istatistiki ekstrem değerleri veya zaman verilerinin sağlanması için bir grup işleme tabi tutulurlar. Son olarak da ortalama ve düşük frekanslı cevaplar ile birleştirilirler.

4.4.2 Dalga frekansı etkileri (Birinci dereceden etkiler)

Dalga frekansı yapı hareketlerinin özellikle sığ sularda toplam bağlama sistemi etkilerine önemli bir katkısı vardır. Bu dalga frekansı hareketlerini düzenli veya

karışık dalgada yapılan model test verilerinden, zaman veya frekans bölgesi tekniklerini kullanan bilgisayar analizlerinden elde etmek mümkündür.

Dalga frekans hareketleri boyuna hareket, enine hareket, dalıp çıkma, baş kıç vurma, yalpa hareketi ve savrulma hareketi şeklinde altı serbestlik derecesine sahiptir. Doğal periyotları 30 saniyeden daha az yüzen sistemler hariç bağlama katılığından bağımsız oldukları kabul edilir.

Birinci dereceden kuvvetlerin ve momentlerin hesabında aşağıda verilen ampirik formüller kullanılabilir (Barltrop, 1998):

Boyuna Froude Krylov kuvveti,

$$F_x = B\rho g \frac{H}{2} \int_{-T}^{0} e^{kz} dz \left(\cos\left(\frac{-\pi L}{\lambda} + \frac{\pi}{2} \right) - \cos\left(\frac{\pi L}{\lambda} + \frac{\pi}{2} \right) \right) \quad \textbf{(4.10)}$$

Enine Froude Krylov kuvveti,

$$F_y = L\rho g \frac{H}{2} \int_{-T}^{0} e^{kz} dz \left(\cos\left(\frac{-\pi B}{\lambda} + \frac{\pi}{2} \right) - \cos\left(\frac{\pi B}{\lambda} + \frac{\pi}{2} \right) \right) \quad \textbf{(4.11)}$$

Ek su kütlesi ile orantılı kuvvet,

$$F_A = \frac{1}{2} L\rho\pi T^2 e^{-kT} \frac{2\pi^2 H}{T^2} \quad \textbf{(4.12)}$$

Enine yöndeki toplam kuvvet,

$$F_{y_t} = F_y + F_A \quad \textbf{(4.13)}$$

Froude-Krylov Savrulma Momenti,

$$F_{\theta fk} = \frac{H}{2} \rho g \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} e^{kz} dz \int_{-L/2}^{L/2} \left[\cos\left(2\pi \left(\frac{x\cos\theta - \frac{B}{2}\sin\theta}{\lambda} \right) \right) - \cos\left(2\pi \left(\frac{x\cos\theta + \frac{B}{2}\sin\theta}{\lambda} \right) \right) \right] \quad \textbf{(4.14)}$$

Ek su kütlesi momenti,

$$F_{\theta a} = \rho\pi \frac{T^2}{2} e^{-k\frac{T}{2}} \left(\frac{2\pi^2 H}{\tau^2} \right) \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \sin\left(2\pi \frac{x\cos\theta}{\lambda} \right) x dx \sin\theta \qquad \textbf{(4.15)}$$

Toplam moment,

$$F_\theta = F_{\theta fk} + F_{\theta a} \qquad \textbf{(4.16)}$$

Burada,

B, L, T sırasıyla gemi genişliği, boyu ve su çekimi, H dalga yüksekliği, λ dalga boyu, g yerçekimi ivmesi, ρ deniz suyu yoğunluğudur.

4.4.3 Düşük frekanslı ikinci dereceden dalga sürüklenme etkileri

İkinci dereceden dalga bileşenlerinin düşük frekans etkileri düşük frekanslı hareketlere neden olurlar. Birinci dereceden etkilere göre kıyaslandıkları vakit oldukça küçük değerlidirler. Bu nedenle düşük frekanslı etkiler, büyük hidrostatik geri getirme etkilerinin gerçekleştiği dikey düzlemdeki hareketler için önemli bir rol oynamazlar (dalıp çıkma, baş kıç vurma ve yalpa hareketleri için). Ancak, sadece bağlama veya dinamik konumlandırma sistemleri ve üretim rayzerleri nedeniyle geri getirme etkilerinin meydana geldiği yatay düzlemde (boyuna hareket, enine hareket ve savrulma hareketleri için), düşük frekanslı etkiler tarafından ortaya çıkan bu hareketler önemli olabilmektedir. Bu bağlamanın doğal frekanslarına yakın frekanslarda özellikle doğrudur. Bu nedenle, genel olarak sadece düşük frekanslı boyuna, enine ve sapma hareketleri bağlama analizine dahil edilir.

Bir bağlama yapısının düşük frekanslı hareketi bağlı yapının doğal frekansında rezonans cevabının dominantlığı nedeniyle frekans olarak dar-bantlıdır. Hareket büyüklüğü bağlama hattının katılığına büyük ölçüde bağımlıdır. Hareket büyüklüğü aynı zamanda sistem sönümüne de büyük ölçüde bağımlıdır. Bu nedenle düşük frekanslı hareketlerde sönüm değerinin iyi bir şekilde tahmin edilmesi oldukça kritik bir konudur. Dört çeşit sönüm kaynağı vardır:

- Yapısal vizkoz sönüm
- Yapısal dalga sürüklenme sönümü
- Bağlama sistemi sönümü

- Rayzer sistem sönümü

Vizkoz sönümü tahmin etmek için kullanılacak yöntem iyi belirlenmelidir ve vizkoz sönüm normalde düşük frekanslı hareket hesaplarını içerir. Dalga sürüklenme sönümü ve bağlama sistemi sönümü oldukça karmaşıktır ve hesaplanması analitik olarak zor olduğu için sık sık ihmal edilir. Araştırmalar dalga sürüklenme sönümü ve bağlama sistemi sönümünün önemli olabileceğini göstermiştir. Onlar, belirli koşullar altında vizkoz sönümden daha yüksek değerlerde olabilirler ve ihmal edilmeleri düşük frekanslı hareketlerin önemli sayılabilecek yüksek değerlerde tahmin edilmelerine sebep olabilirler. Uygulamalarda, örneğin büyük gemi şeklindeki yapılar için düşük frekanslı hareketler önemli bir tasarım faktörü olup, ya analitik yaklaşımlar ya da model testleri yapılarak sönüm değerleri değerlendirilmelidir .

Yarı-statik hesaplamalarda, ikinci dereceden sürüklenme kuvvetlerinin hesabı için aşağıdaki ampirik formüller kullanılmıştır (Odabasi ve diğ., 2006):

$$F_X = \left[0.0388 \rho g B C_B H_s^2 \sin^2\left(\frac{T}{2H_s}\right) + 0.311 \rho g B^2 \frac{H_s^{2.5}}{L^{1.5}} \right] \cos\beta \qquad \textbf{(4.17)}$$

$$F_Y = \left[0.0388 \rho g L H_s^2 \sin^2\left(\frac{T}{2H_s}\right) \right] \sin\beta \qquad \textbf{(4.18)}$$

$$N = \left[-0.125 \rho g L T H_s^2 \sin^2\left(\frac{T}{2H_s}\right) \right] \cos\beta \sin\beta - 0.03 Y L \qquad \textbf{(4.19)}$$

Bu denklemlerde;

F_X : Gemi boy yönündeki ortalama dalga sürükleme kuvveti [kN];

F_Y : Gemi en yönündeki ortalama dalga sürükleme kuvveti [kN];

N : Gemiyi döndürmeye çalışan ortalama dalga sürükleme momenti [kNm];

L : Gemi su hattı boyu [m];

B : Gemi su hattı genişliği [m];

T : Gemi ortalama su çekimi [m];

H_s : Karakteristik dalga yüksekliği [m];

β : Dalga yönü [0^0 baştan, 90^0 bordadan ve 180^0 kıçtan gelen dalgalar];

g : Yerçekimi ivmesi [m/s^2];

ρ : Deniz suyu yoğunluğu [t/m^3]

olarak verilmiştir.

4.4.4 Düşük frekanslı rüzgar etkileri

Rüzgar etkileri sabit veya sabit bileşenlerin kombinasyonu olarak ve zamanla değişen bir bileşen olarak davranır. Zamanla değişen bileşen aynı zamanda düşük frekanslı rüzgar etkisi olarak da bilinir. Düşük frekanslı ikinci dereceden dalga etkilerine benzer olup, ayrıca düşük frekanslı boyuna, enine ve sapma hareketlerine sebep olur. Düşük frekanslı rüzgar etkileri genellikle deneysel rüzgar enerji spektrumu kullanılarak hesaplanır. Düşük frekanslı rüzgar ve dalga etkileri genelde düşük frekanslı yapı hareketlerine ikisinin de etkisini elde etmek için toplanırlar.

4.5 Sonuçlar

Bu bölümde ilk olarak bağlama sistemi konusu ele alınmış ve literatürde gemi hareketleri, halat ve halat bağlama sistemleri, bağlama sistemleri tasarımı ve modellemeleri konusunda yapılan çalışmalardan bahsedilmiştir. Daha sonra bağlama sisteminin yapısı ve sistem bileşenleri incelenmiştir. Son olarak da sistemin doğası nedeniyle etkin olan statik ve dinamik çevresel yükler hakkında genel bilgiler verilmiştir. Bu bölümde verilen bilgilerle tezin konusu olan çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sisteminde, seçilen bağlama şekline göre sistem bileşenlerinin oluşturulması, sistemin yarı-statik/dinamik modellenmesi ve hesaplama aşamaları için bir alt yapı oluşturulmaya çalışılmıştır. Tanker-şamandıra bağlama sistemleri için Bölüm 5'de yapılan OrcaFlex^{TM} programı benzetim çalışmaları bu bölümde anlatılan zaman bölgesi dinamik analizini kullanmaktadır. Bölüm 6'da yapılan yarı-statik hesaplamalarda da yine bu bölümde verilen formüller kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

5. TANKER-ŞAMANDIRA BAĞLAMA SİSTEMİ DİZAYNI

Bu bölümde rüzgar, akıntı ve dalga gibi çevresel yüklere maruz kalan çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemlerinde, değişik tonajdaki tankerler için bağlama halatları ve zincirlerine, şamandıra sistemindeki çabuk çözünür kanca ve yatak zincirlerine gelen yük dağılımlarının ve tankerlerin başlangıç konumuna göre baş, orta ve kıç kısımlarında meydana gelen hareket miktarlarının hesabı yapılacaktır. Sistemin dinamik modellenmesi, gerilme değerlerinin ve hareket miktarlarının hesabı için OrcaFlex™ programı kullanılmıştır. OrcaFlex™ programı kullanılarak hesaplanan bağlama halatları yük miktarlarının mertebe kontrolü için, yarı-statik hesaplamalar da yapılmış ve bu bölümde verilmiştir.

5.1 Seçeneklerin Belirlenmesi

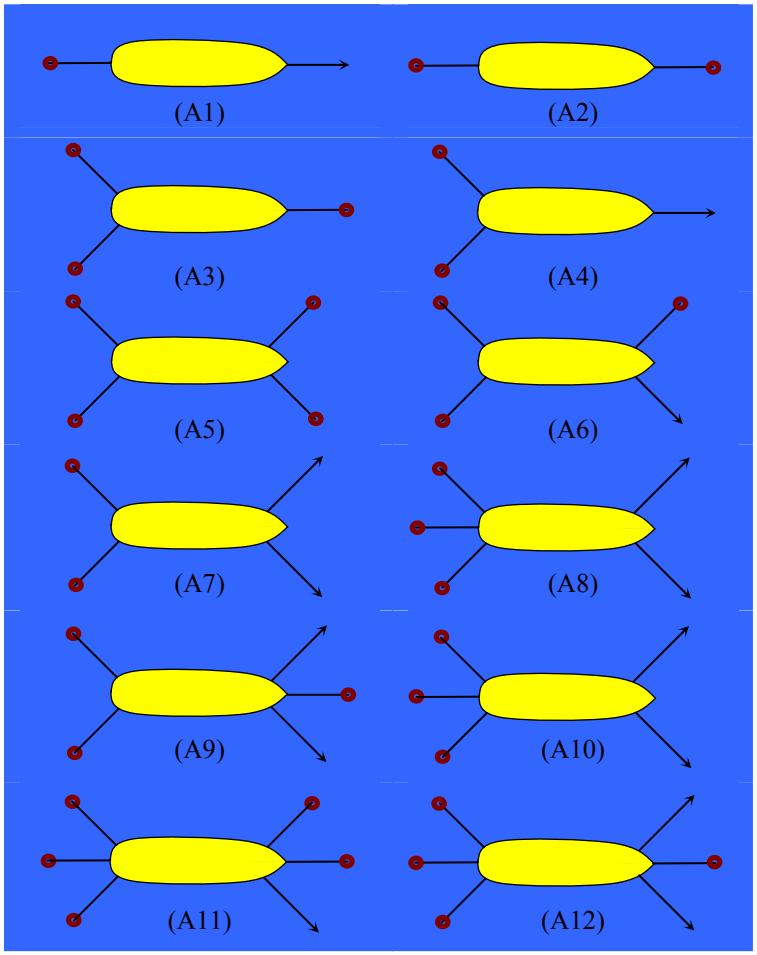
Çok noktalı tanker – şamandıra bağlama sistemi için 12 farklı bağlama sistemi seçeneği düşünülmüştür (Çizelge 5:1 ve Şekil 5:1). Bağlama sistemlerinin seçiminde, Türkiye'de LPG/LNG yükleme/boşaltma istasyonlarında kullanılmakta olan ve kullanılması olası bağlama sistemi seçenekleri ele alınmış ve bu çeşit bağlama sistemlerinin tasarımı ve/veya kullanımı konularında uzman kişilerin (karar vericiler) görüş ve düşüncelerinden faydalanılmıştır. Uzman kişiler konusunda gerekli bilgiler bu tezin uygulama kısmı olan Bölüm 7'de verilmektedir.

5.2 Çevre Koşullarının ve Terminal Bölgesinin Belirlenmesi

Türkiye çevresindeki denizler için uzun dönemli istatistik çalışmalar yeterince yapılmamıştır. Mevcut çalışmalar meteorolojik koşulların kullanılmasıyla elde edilen rüzgar ve dalga atlasları olup, Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi'nin yayınladığı Rüzgar–Deniz–Ölü Deniz ve Dalga Atlası'nda (1984) Marmara Denizi tek bir rüzgar gülü ile temsil edilmiştir. Türkiye çevresindeki denizler için en kapsamlı çalışma Özhan ve Abdalla (2002) tarafından yapılmıştır.

Çizelge 5.1 : Tanker –şamandıra bağlama sistemi için bağlama seçenekleri.

Seçenekler	Tanker – şamandıra bağlama sistemi seçenekleri
A1	Başta 1 çapa ve kıçta 1 şamandıralı sistem
A2	Başta ve kıçta 1'er şamandıralı sistem
A3	Başta 1 şamandıra ve kıçta 2 şamandıralı sistem
A4	Başta 1 çapa ve kıçta 2 şamandıralı sistem
A5	Başta 2 şamandıra ve kıçta 2 şamandıralı sistem
A6	Başta 1 çapa, 1 şamandıra ve kıçta 2 şamandıralı sistem
A7	Başta 2 çapa ve kıçta 2 şamandıralı sistem
A8	Başta 1 çapa, 1 şamandıra ve kıçta 3 şamandıralı sistem
A9	Başta 2 çapa, 1 şamandıra ve kıçta 2 şamandıralı sistem
A10	Başta 2 çapa ve kıçta 3 şamandıralı sistem
A11	Başta 1 çapa, 2 şamandıra ve kıçta 3 şamandıralı sistem
A12	Başta 2 çapa, 1 şamandıra ve kıçta 3 şamandıralı sistem



Şekil 5.1 : Tanker-şamandıra bağlama sistemi için bağlama seçenekleri.

5.2.1 Terminal bölgesinin seçimi

Tanker-şamandıra bağlama sistemine etkiyen çevre koşullarını belirlemek için Marmara Denizi'nin doğusunda Yarımca dolum tesisleri bölgesi, terminal bölgesi

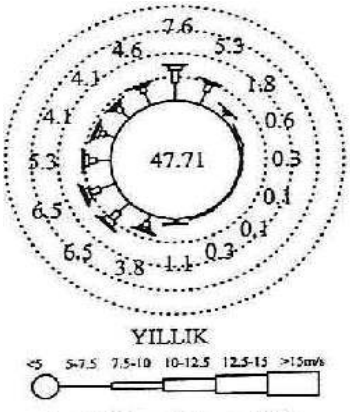
olarak seçilmiştir. Özhan ve Abdalla (2002)'ya göre, bu bölgeye en yakın dalga ve rüzgar verilerinin verildiği istasyon enlem ve boylam koordinatları (40.71º N, 29.29º E) noktasıyla (Şekil 5.2'deki haritada, kırmızı yıldız işareti ile belirtilen) gösterilen yerdir. Yarımca için bu bölge verileri kullanılmıştır.



Şekil 5.2 : Rüzgar iklimi belirleme noktası (40.710 N, 29.290 E).

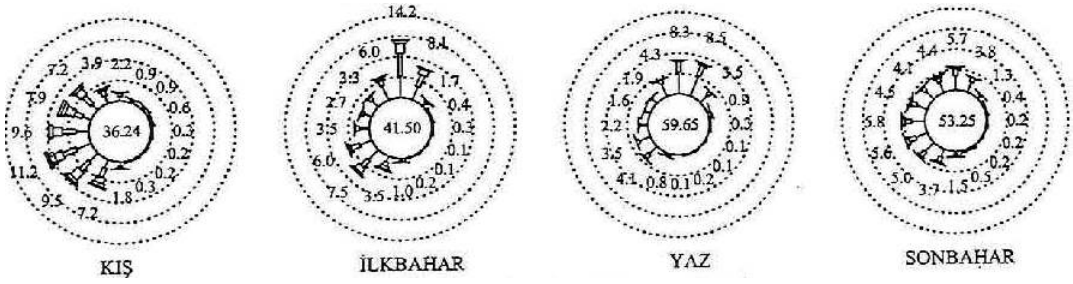
5.2.2 Rüzgar karakteristikleri ve dalga iklimi

Marmara Denizinde seçilen terminal bölgesi için rüzgar ve dalga şartları Şekil 5.3-5.11'de verilmiştir (Özhan ve Abdalla, 2002). Yıllık rüzgar gülü, yüzeysel rüzgar hızının (su düzeyinden 10 metre yükseklikteki rüzgar hızı, U_{10}) tüm yıl boyunca değişik yönlerden oluşma oranlarını göstermektedir (Şekil 5.3). Rüzgarın geldiği yönü gösteren yön dilimleri, coğrafik yönlerle aynı yönde seçilmiştir. Bu yönler tepeden başlayarak saat yönünde N (Kuzey), NNW (Kuzey-Kuzeybatı), NW (Kuzeybatı), WNW (Batı-Kuzeybatı), W (Batı) vb. şeklinde verilmiştir. Rüzgar hızı ölçeği gülün altında verilmiştir. Eğer rüzgar hızı 5 m/sn'den küçükse, rüzgar durumu "durgun" olarak kabul edilmekte ve bu durum için herhangi bir rüzgar yönü belirtilmeyip, oluşma oranı gülün ortasındaki çember içerisinde verilmektedir. Ölçekte görüldüğü gibi, rüzgar gülü hızları <5, 5-7.5, 7.5-10, 10-12.5, 12.5-15 ve >15 m/sn olarak belirtilmektedir. Kesik çizgilerle gösterilen her çember % 5 oluşum oranını göstermektedir. Eğer herhangi bir yönden toplam oluşma olasılığı %20'yi geçerse, o kolun uzunluğu yarı yarıya azaltılmıştır. Bu durumda, kesik çizgi çemberlerinin her biri % 10'luk oluşum oranlarını belirtmektedir (Dolayısıyla, yalnızca o yön için değil, en dıştaki kesikli çizgi çemberi % 20 yerine % 40 oluşumu gösterir). Bu rüzgar gülünün elde edilmesinde 4 yıl süreli ve 6 saat aralıklı rüzgar verileri kullanılmıştır (Özhan ve Abdalla, 2002).



Şekil 5.3 : Yıllık rüzgar gülü.

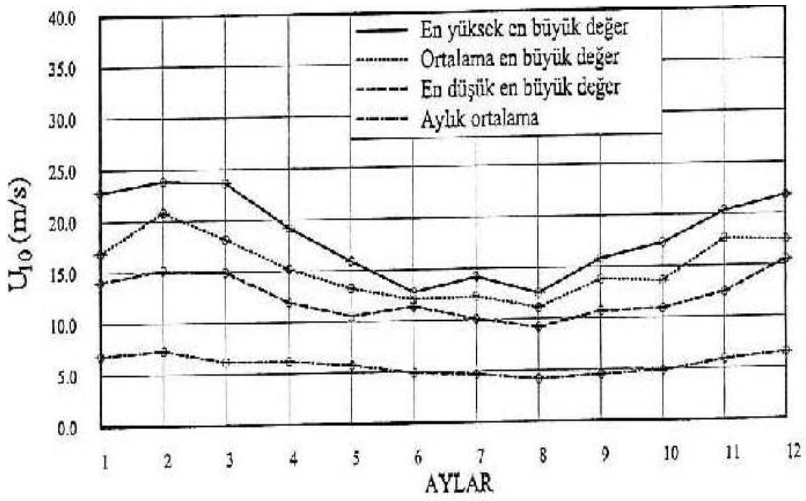
Mevsimsel rüzgar gülleri (Şekil 5.4), kapsadıkları zaman aralığı dışında yıllık rüzgar gülüyle benzerdirler. Kış rüzgar gülü, yüzeysel rüzgar hızının (su düzeyinden 10 metre yükseklikteki rüzgar hızı, U_{10}) Aralık, Ocak ve Şubat aylarını kapsayan kış mevsiminde değişik yönlerden oluşma oranlarını göstermektedir. İlkbahar gülü Mart, Nisan ve Mayıs, yaz gülü Haziran, Temmuz ve Ağustos, sonbahar gülü de Eylül, Ekim ve Kasım ayları içindir. Yıllık rüzgar gülü için gül ölçeğini de kapsayarak yapılan tüm açıklamalar, mevsimsel güller için de geçerlidir.



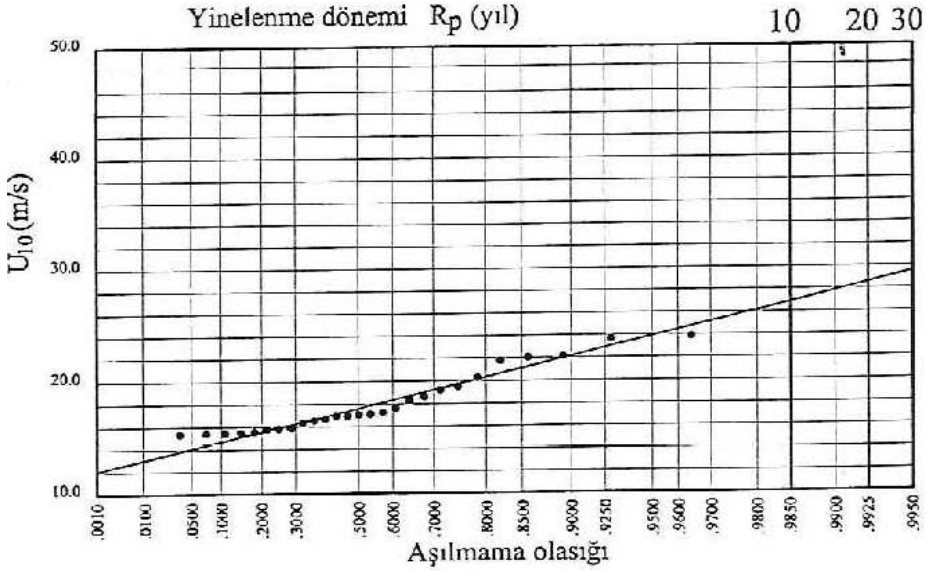
Şekil 5.4 : Mevsimsel rüzgar gülleri.

Marmara Denizi için aylık ortalama yüzeysel rüzgar hızları 1991-1994 yılları için, o ay içirisindeki tüm rüzgar hızlarının aritmetik ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Aylık en uç değerler olarak, aynı sürelerde o ay içerisinde gözlenen en büyük, en küçük ve ortalama en büyük (herhangi bir ay için, her yılın en büyük değerlerinin ortalaması) değerler verilmiştir (Şekil 5.5).

Yüzeysel rüzgar hızının (U_{10}) yıllık en büyük değerleri Gumbel olasılık dağılımına uydukları varsayılarak yerleştirilmiştir ve noktalara en iyi uyan doğru çizilmiş ve verilerin kapsadığı süre dışına uzatılmıştır (Şekil 5.6).



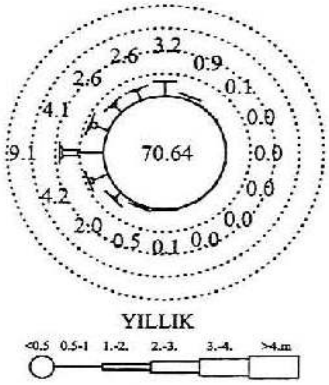
Şekil 5.5 : Aylık ortalama ve en yüksek rüzgar hızları.



Şekil 5.6 : Yıllık en büyük rüzgar hızlarının en büyük değerler istatistiği.

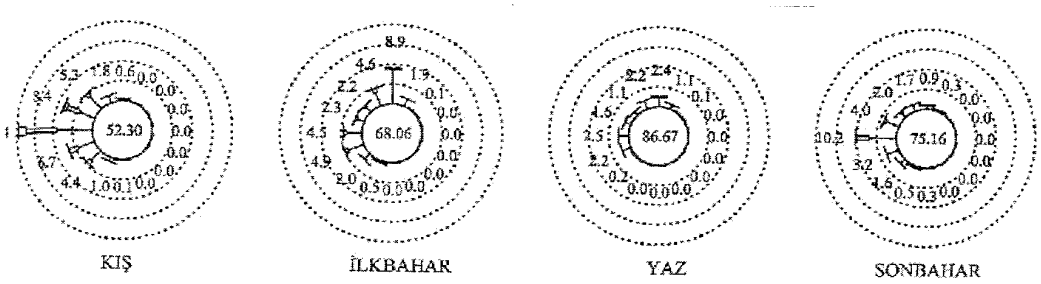
Yıllık dalga gülü, belirgin dalga yüksekliğinin (H_s) tüm yıl boyunca değişik yönlerden oluşma oranlarını göstermektedir (Şekil 5.7). Dalganın geldiği yönü gösteren yön dilimleri, coğrafik yönlerle aynı yönde seçilmiştir. Bu yönler tepeden başlayarak saat yönünde N (Kuzey), NNW (Kuzey-Kuzeybatı), NW (Kuzeybatı), WNW (Batı-Kuzeybatı), W (Batı) vb. şeklinde verilmiştir. Dalga yüksekliği ölçeği gülün altında verilmiştir. Eğer belirgin dalga yüksekliği 0.5 metreden küçükse, denizin durumu "durgun" olarak kabul edilmekte ve bu durum için herhangi bir dalga yönü belirtilmeyip, oluşma oranı gülün ortasındaki çember içerisinde verilmektedir. Ölçekte görüldüğü gibi, dalga yükseklikleri <.5, 0.5-1.0, 1.0-2.0, 2.0-3.0, 3.0-4.0 ve > 4.0 metredir. Kesik çizgilerle gösterilen her çember % 5 oluşum oranını göstermektedir. Dalganın her yönden toplam oluşma oranı gülün kolları

ucunda verilmiştir. Eğer herhangi bir yönden toplam oluşma olasılığı %20'yi geçerse, o kolun uzunluğu yarı yarıya azaltılmıştır. Bu durumda, kesik çizgi çemberlerinin her biri % 10'luk oluşum oranlarını belirtmektedir (Dolayısıyla, yalnızca o yön için değil, en dıştaki kesikli çizgi çemberi % 20 yerine % 40 oluşumu gösterir) . Bu dalga gülünün elde edilmesinde 4 yıl süreli ve 3 saat aralıklı dalga tahminleri kullanılmıştır (Özhan ve Abdalla, 2002).



Şekil 5.7 : Yıllık dalga gülü.

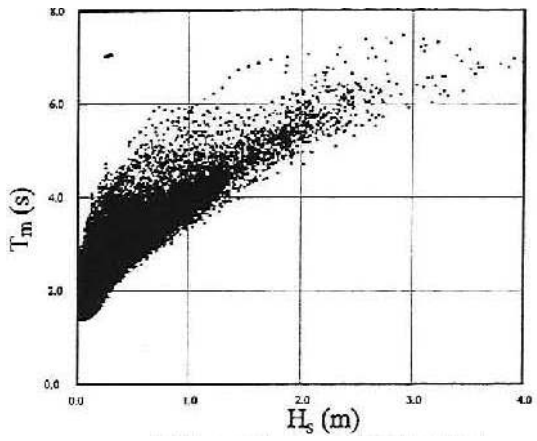
Mevsimsel dalga gülleri, kapsadıkları zaman aralığı dışında, yıllık dalga gülüyle benzerdirler (Şekil 5.8).



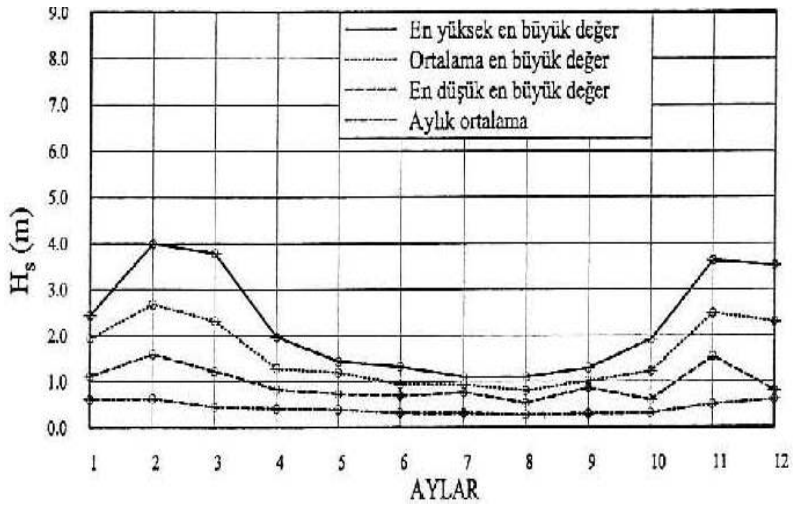
Şekil 5.8 : Mevsimsel dalga gülleri.

Belirgin dalga yüksekliği (H_s) ile ortalama dalga dönemi (T_m) arasındaki ilişki, serpişme çizimiyle gösterilmiştir (Şekil 5.9). 1991-1994 yılları için ve sürekli verilerek kullanılarak hazırlanan bu çizim, herhangi bir dalga yüksekliğiyle eşleşebilir dalga dönemlerinin tahmin edilmesinde kullanılmaktadır. Bu çizimde çok sayıda noktanın yoğunlaştığı koyu alan "deniz" durumu, göreceli olarak daha büyük dalga dönemlerinin söz konusu olduğu çizimin üst kesimindeki daha az yoğunlıktaki bölge "ölü deniz" durumu içindir.

Aylık ortalama belirgin dalga yükseklikleri, 1991-1994 yılları arasında 4 yıllık süre için o ay içirisindeki tüm dalga yüksekliklerinin aritmetik ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Aylık en uç değerler olarak, aynı sürelerde o ay içerisinde gözlenen en büyük, en küçük ve ortalama en büyük (herhangi bir ay için, her yılın en büyük değerlerinin ortalaması) değerler verilmiştir (Şekil 5.10).



Şekil 5.9 : Dalga yüksekliği (H_s) ve dalga periyodu (T_m) ilişkisi.

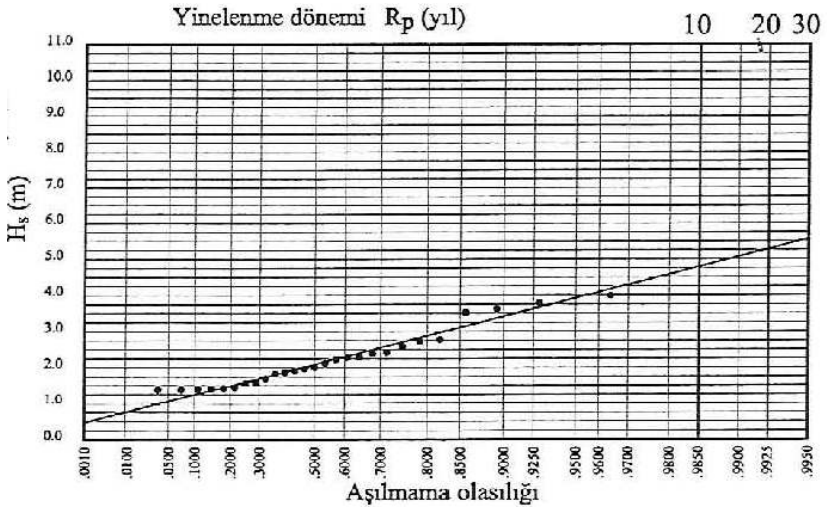


Şekil 5.10 : Aylık ortalama ve en yüksek dalga yükseklikleri.

Belirgin dalga yüksekliğinin (H_s) yıllık en büyük değerleri Gumbel olasılık dağılımına uydukları varsayılarak yerleştirilmiştir ve noktalara en iyi uyan doğru çizilmiş ve verilerin kapsadığı süre dışına uzatılmıştır (Şekil 5.11).

Bu veriler seçilen terminal bölgesi için göz önüne alınırsa, işlem koşullarında oluşacak dalga yüksekliği H_s = 3 m ve dalga yönü Batı-Güneybatı (W-SW) olmaktadır. Rüzgar yönünün değişkenliği göz önünde tutularak hesaplamalarda farklı rüzgar-dalga-akıntı yön kombinasyonları da göz önüne alınmıştır.

Bu verilere göre en yüksek rüzgar hızı 24 m/s (46.6 knot) ve etken yön dilimi Güney Güney Batı–Güneybatı (SSW-SW) olmaktadır. OCIMF (Oil Companies International Marine Forum) (1994)'in raporlarında tanker terminallerinin ekipman seçiminde 60 knot'luk rüzgara dayanıklı bir sistem tasarımı önerilmesi nedeniyle maksimum yük hesabı için 60 knot'luk rüzgar hızı dikkate alınmıştır.



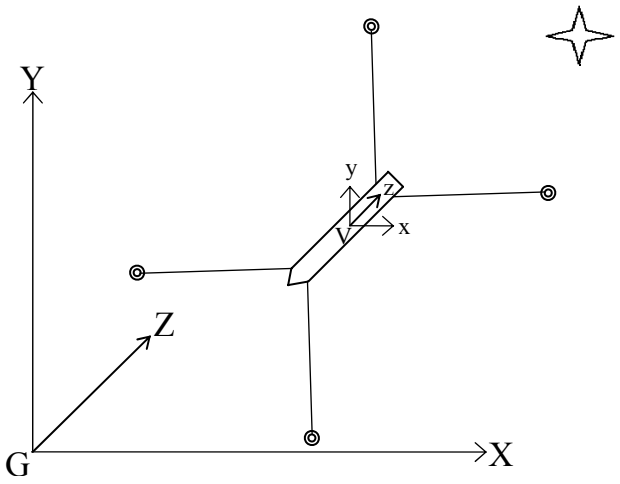
Şekil 5.11 : Yıllık en büyük belirgin dalga yükseklikleri istatistiği.

5.2.3 Akıntı özellikleri

Akıntı yönleri için Seyir Hidrografi ve Oşinografi Daire Başkanlığının (1978) akıntı haritalarından yararlanılmış, kıyıya paralel ve saat ibrelerinin tersi yönünde 0.5 knot'luk devamlı bir yüzey akıntısının olduğu görülmüştür. Ancak bu akıntının yönü ve şiddeti etken dalga ve rüzgar etkisiyle değişebilmekte ve rüzgar kaynaklı rüzgar yönünde yüzey akıntısı baskın olabilmektedir. Bu nedenle 2.5 knot yüzey akıntısı kabulü ve akıntı yönünün rüzgar yönüne paralel alınması hesaplarda güvenli tarafta kalınmasını sağlayacaktır.

5.3 Global ve Gemi Bazlı Koordinat Sistemleri

Şekil 5.12'de global ve gemi bazlı koordinat sistemleri görülmektedir. Burada, GXYZ global koordinat sistemi, Vxyx'de gemi koordinat sistemini ifade etmektedir. Bir tankerin bağlama bölgelerindeki konumları belirlenirken bir fırtına anında bağlama sisteminden hemen kurtulup deniz yönünde kaçışları esas olduğundan, seçilen terminal bölgesinde tankerler global eksen takımına göre 250 derecelik açı yapacak biçimde konumlandırılmışlardır. Bu bölgedeki su derinligi 28 m. olarak alınmıştır.



Şekil 5.12 : Koordinat sistemi.

5.4 Tanker-Şamandıra Sisteminin Genel Karakteristikleri

Çizelge 5.2'de hesaplamalarda kullanılacak olan tankerlerin genel karakteristikleri verilmektedir. Tankerlerde ABS (2009) kurallarına uygun demir, zincir ve bağlama halatı bulunduğu kabul edilmiştir. Bu özellikler Çizelge 5.3'de verilmektedir.

Çizelge 5.2 : LPG tankerlerinin genel özellikleri.

		TankerA	TankerB	TankerC
Deplasman	Δ (ton)	27180	64426	125832
Tam boy	LOA (m)	150.0	200.0	250.0
Dikeyler arası boy	LBP (m)	136.9	182.6	228.2
Genişlik	B (m)	23.23	30.97	38.71
Tasarım su çekimi	Tdesign (m)	9.69	12.93	16.17
Boyuna rüzgar kesit alanı	AL (m^2)	1296.5	2304.9	3601.4
Enine rüzgar kesit alanı	AT (m^2)	308.6	548.6	857.2
Blok katsayısı	C_B	0.804	0.804	0.804

Çizelge 5.3 : LPG tankerleri için standart malzeme karakteristikleri.

		TankerA	TankerB	TankerC
Malzeme sayısı	EN	1239	2260	3617
Malzeme numarası	EN	U27	U35	U43
Çapa ağırlığı	kg	4050	6900	11100
Zincir çapı	mm	56	73	92
Zincir ağırlığı	kg/m	71	120	190
Kopma dayanımı	kN	786	1356	1471

5.5 Sistemin Matematik Modellemesi

Bağlama sistemini kullanacak bir tanker rüzgar, akıntı ve dalga gibi dış kuvvetlerin tesiri altında hareket eder (Bölüm 4).

Tanker-şamandıra bağlama sisteminde, şamandıralar ile gemi arasındaki bağlama halatı ön gergili olacak şekilde modellenmiştir. Tanker-şamandıra bağlama sistemi tekne, tekne çapaları (baş sancak ve iskele çapaları), tekne çapa zincirleri, şamandıralar ve şamandıralara ait yükselen zincirler, yatak zincirleri, yatak zincirlerine bağlı çapalar ve sinker beton bloklarından oluşmaktadır.

Çevre yüklerinin etkisi altındaki tanker-şamandıra bağlama sisteminde, bağlama halatlarına gelen maksimum gerilme ve tankerlerin yer değiştirme miktarlarını değerlerini hesaplamak için, Çizelge 5.4'de verilen farklı senaryolar için hesaplamalar yapılmıştır.

Çizelge 5.4 : LPG tankerleri için benzetim senaryoları.

Yön	Rüzgar hızı (knot)	Akıntı hızı (knot)	Karakteristik dalga yüksekliği (Hs) (m)
S (Güney)	15, 30, 45, 60	1.0, 2.0, 2.5	1.0, 2.0, 3.0
SW (Güneybatı)	15, 30, 45, 60	1.0, 2.0, 2.5	1.0, 2.0, 3.0
N (Kuzey)	15, 30, 45, 60	1.0, 2.0, 2.5	1.0, 2.0, 3.0
NE (Kuzeydoğu)	15, 30, 45, 60	1.0, 2.0, 2.5	1.0, 2.0, 3.0

5.6 Dinamik Hesaplamalar

Değişik bağlama konfigürasyonuna sahip 12 farklı tanker-şamandıra bağlama sisteminin dinamik analizi için OrcaFlex™ programı kullanılmıştır. Bu dinamik benzetim programının genel özellikleri aşağıda verilmiştir.

5.6.1 OrcaFlex programı genel özellikleri

OrcaFlex™ programı tüm deniz rayzer çeşitlerini (katı ve esnek) , global analizi, bağlama sistemlerini, montaj ve kule sistemlerini içerecek şekilde çok çeşitli sayıda açık deniz yapısının statik ve dinamik analizi için Orcina firması tarafından geliştirilmiş dinamik bir benzetim ve hesap programıdır (Orcina, 1987-2009).

OrcaFlex™ programı dalga, akıntı ve dış tesirli hareketlerin etkisindeki esnek razyzerler ve göbek bağlı (umbilical) kablolar gibi katıneri sistemlerinin hızlı ve

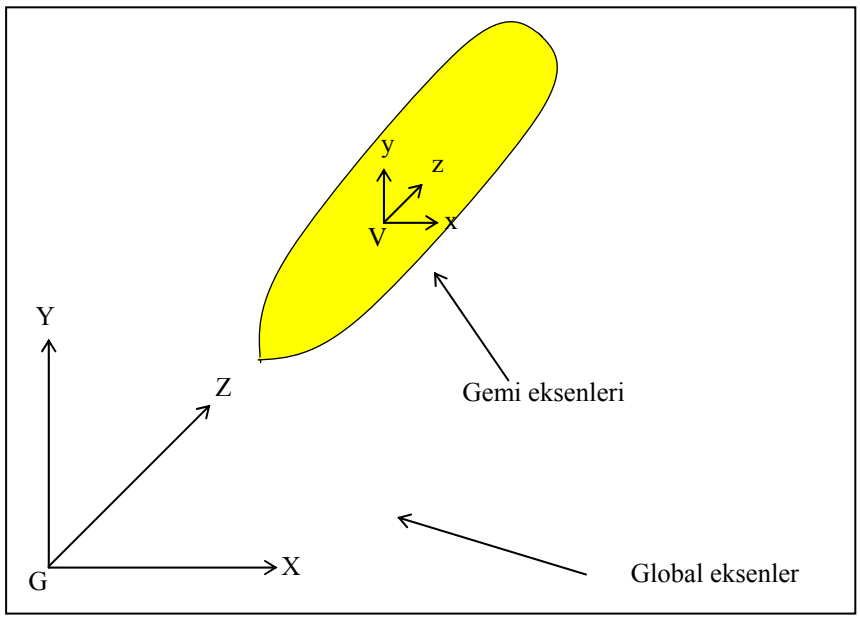
doğru analizini yapmaya olanak sağlar. Elde edilen sonuçların anlaşılması için geniş bir grafik arayüzü vardır.

Bu program 3 boyutlu doğrusal olmayan sistemlerin zaman bölgesinde çözümünü yapan bir sonlu elemanlar programıdır. Matematik formülasyonu oldukça basitleştiren bir lumped-mass elemanı kullanılır ve programın çabuk ve etkili geliştirilmesi için yeni mühendislik gereksinimlerine uygun olup, sistem üzerine ilave kuvvet terimleri ve zorlamaların eklenmesine izin verir.

OrcaFlex™ ayrıca savunma, oşinografi ve yenilenebilir enerji sektörleri uygulamalarında da kullanılabilir. OrcaFlex™ ile yapılan modelleme bütünüyle üç boyutlu (3D) olup, çok kablolu sistemlerde, yüzen kablolarda, serbest bırakılan kablo dinamiğinde vb. kullanılabilir. Veriler gemi hareketlerini, düzenli ve karışık dalgaları, rüzgar, akıntı vb. parametreleri içerir. Sonuç çıktılar grafik olarak ve sayısal veriler şeklinde elde edilir.

Eksen takımı:

OrcaFlex™ programı GXYZ şeklinde bir global koordinat sistemi kullanır. Bu koordinat sisteminde G global orijini, GX, GY ve GZ ise global eksen yönlerini gösterir. Ayrıca, modeldeki her nesnenin konumunu gösteren çok sayıda yerel koordinat sistemleri vardır (Lxyz). Tüm koordinat sistemleri sağ yönlüdür (Şekil 5.13). Bu şekilde global eksen takımı GXYZ ve teknenin yerel ekseni Vxyz şeklinde görülmektedir. Dönme ekseni yönü pozitif saat ekseni dönme yönüdür.



Şekil 5.13 : OrcaFlex programı eksen takımı.

Statik analiz:

Statik analizin iki amacı vardır:

- Ağırlık, yüzme, hidrodinamik direnç vb. altında sistem konfigürasyonunun dengesini belirlemek,
- Dinamik benzetim için bir başlangıç konfigürasyonu oluşturmak.

Dinamik analiz:

Dinamik analiz statik analiz tarafından türetilen bir konumdan başlayarak belirli bir zaman periyodunda modelin hareketlerinin bir zaman benzetimidir. OrcaFlex™ programında zaman birimi saniyedir.

Program dinamik hesapları yapabilmek için iki tip integral yöntemi kullanır: Açık integral ve kapalı integral.

OrcaFlex™ programı benzetim sırasında aşağıdaki hareket denklemini çözer:

$$M(p,a) + C(p,v) + K(p) = F(p,v,t) \qquad \textbf{(5.1)}$$

Bu denklemde;

$M(p,a)$: Sistem atalet yükü;

$C(p,v)$: Sistem sönüm yükü;

$K(p)$: Sistem katılık yükü;

$F(p,v,t)$: Dış yük;

p,v,a : Sırasıyla konum, hız ve ivme vektörleri;

t : Zaman

olarak alınmıştır. Her iki integral yönteminde de sistem geometrisi her zaman adımı için yeniden hesaplanır ve bu nedenle benzetim tüm geometrik doğrusal olmayan durumları (dalga yükleri ve temas yüklerinin konum değişimini) dikkate alır.

Açık Integral Yöntemi:

Açık integral yöntemi sabit zaman adımlı ileri Euler'dir. Benzetim zamanının başlangıcında, tüm düğümler ve hatları içerecek şekilde modelde yer alan tüm

nesnelerin başlangıç konumları ve yönleri statik analizden bilinir. Sonra, her serbest cisim ve düğümü etkileyen kuvvetler ve momentler hesaplanır. Kuvvetlerin ve momentlerin aşağıdaki değerleri içerdiği düşünülür:

- Ağırlık,
- Yüzme,
- Hidrodinamik ve aerodinamik direnç,
- Kullanıcı tanımlı katsayılarla bilinen uzatılmış Morison denklemi kullanılarak hesaplanan hidrodinamik ek su kütlesi etkileri,
- Gerilme ve kesme,
- Eğilme ve dönme momenti,
- Deniz zemini tepkisi ve sürtünme,
- Diğer nesneler ile olan temas kuvvetleri,
- Bağlantılara ve vinçlere uygulanan kuvvetler.

Daha sonra hareket denklemi (Newton kanunu) her serbest cisim ve hat düğümü için oluşturulur.

$$M(p,a) = F(p,v,t) - C(p,v) - K(p) \quad \textbf{(5.2)}$$

Bu denklem sistem geneli için hareket denklemi değil her serbest cisim ve her hat düğümü için yerel hareket denklemidir. Bu durum hareket denklemlerini çözmenin ancak 3x3 veya 6x6 kütle matrislerinin tersini almayı gerektirdiğini ifade eder.

Bu denklem her serbest cisim ve her hat düğümü için zaman başlangıç adımında hız vektörü için çözülür, ondan sonra ileri Euler integrallemesi yapılarak tamamlanır. t zaman adımında sırasıyla konum, hız ve ivme vektörleri p_t, v_t, a_t olarak gösterilirse, *t+1* zaman adımında bu değerler,

$$v_{t+1} = v_t + dt.a_t \quad \textbf{(5.3)}$$

$$p_{t+1} = p_t + dt.v_{t+1} \quad \textbf{(5.4)}$$

olacaktır. Bu denklemlerde dt zaman adımıdır. Her zaman adımının sonunda, tüm cisimler ve tüm düğümler için konumlar ve yön belirlemeler tekrar belirlenir ve işlem tekrarlanır.

Kapalı Integralleme Durumu:

OrcaFlex™ programı kapalı integralleme işlemi için Chung ve Hulbert (1992) tarafından tanımlanan, genelleştirilmiş -α integralleme düzenini kullanır. Kuvvetler, momentler, sönüm , kütle vb. açık integralleme düzeninde olduğu gibi aynı yöntemle hesaplanır. Ondan sonra sistemin hareket denklemi zaman adımı sonunda çözümlenir.

p, v, a zaman adımı sonunda bilindiği için, tekrarlamalı bir çözüm yöntemi gereklidir. Bu nedenle her kapalı integral zaman adımı, açık integral zaman adımına göre önemli derecede zaman alır. Ancak, kapalı integral düzeni, açık integral düzenine göre daha uzun zaman adımları için genellikle dengelidir ve bu durum çoğu kez kapalı integral düzenin daha hızlı olduğu anlamına gelir.

OrcaFlex™ programı hesap kabulleri:

OrcaFlex™ programı, aşağıda ifade edilen yöntemleri hesaplamalarında kullanır.

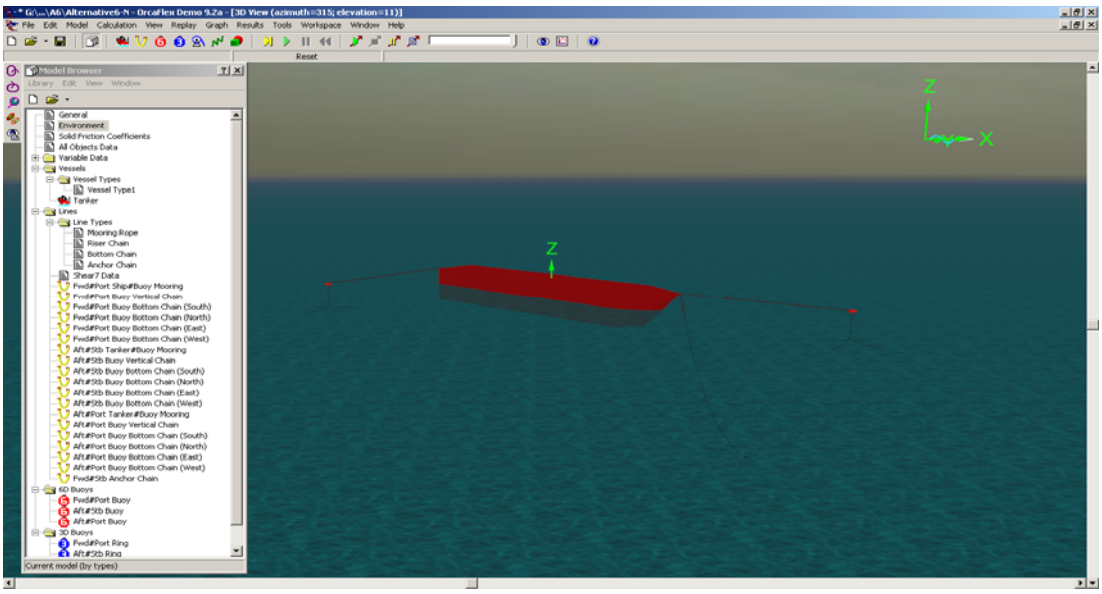
- Halatlara ve şamandıralara gelen hidrodinamik yüklerin hesabı: Genişletilmiş Morison denklemi (Morison ve diğ, 1950)
- Ek su kütlesi ve sönüm hesabı: Cummins (1962) ve Wichers (1979)
- Dalga sürüklenme kuvvetleri: Newman (1974)
- Sabit rüzgar ve akıntı kuvvetlerinin hesabı: OCIMF (1994)

5.6.2 OrcaFlex programında bağlama sisteminin oluşturulması

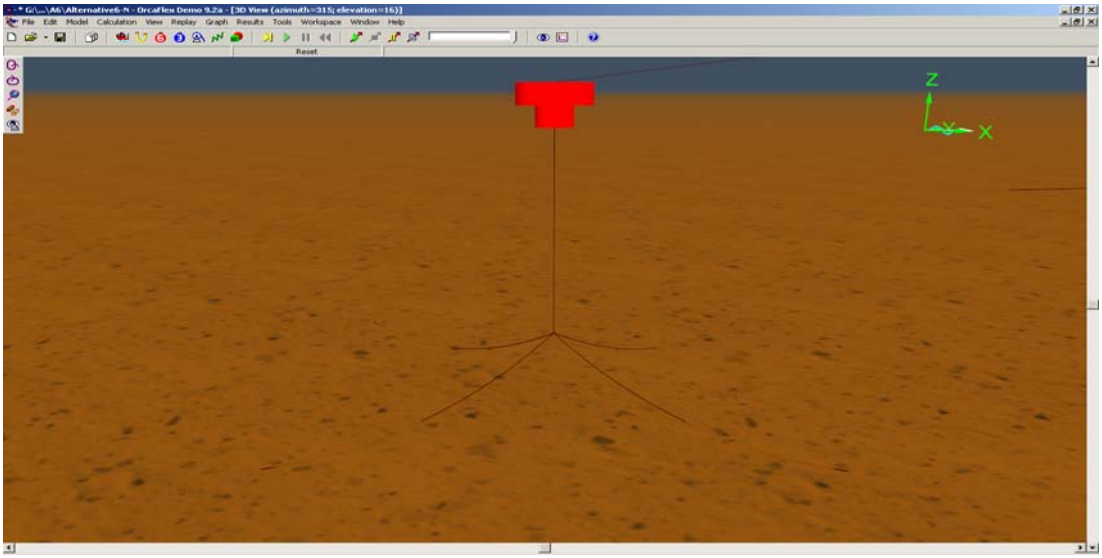
Çizelge 5.3'de verilen farklı tonajlara sahip 3 tankerin, (Şekil 5.1)'de verilen 12 farklı bağlama şekli için OrcaFlex™ programında ayrı ayrı modellemesi yapılmıştır. Şekil 5.14'de OrcaFlex™ programının genel görünümü verilmektedir.

Kullanılan şamandıra sistemi şamandıra, çabuk çözünür kanca, yükselen zincir, ring, 4 yatak zinciri (global eksen takımına göre N (kuzey), S (güney) , E (doğu) , W (batı) yönlerinde konumlandırılmış), yatak zinciri çapaları (4 adet) ve sinker betonlardan (4 adet) oluşmaktadır (Şekil 5.15). Çizelge 5.5'de şamandıra sistemi bileşenlerinin

uzunluk ve ağırlık değerleri verilmiştir. Şamandıralar tankere 45^0 açıyla ve 90 m. uzunluğundaki halatlarla bağlanmıştır.



Şekil 5.14 : OrcaFlex programı görünümü.



Şekil 5.15 : Şamandıra sistemi.

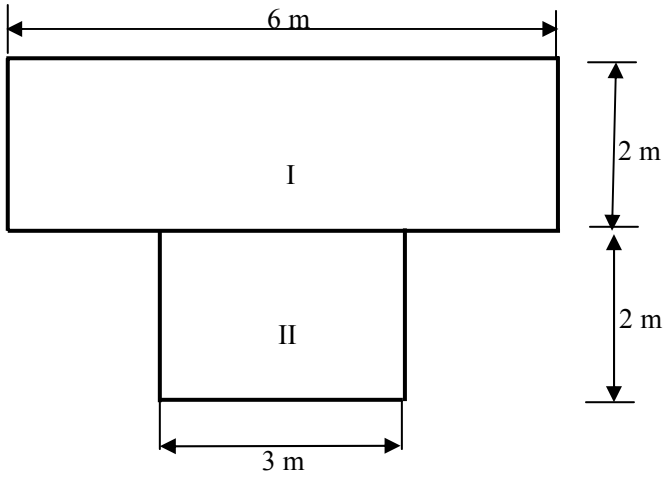
Çizelge 5.5 : Şamandıra için uzunluk ve ağırlık tablosu.

Açıklama	Adet	Birim ağırlık (kg)	Toplam ağırlık (kg)
Çabuk çözülür kanca (100 tonluk)	1	600	600
Şamandıra (ϕ 6000 mm çapında)	1	12000	12000
Yükselen zincir (ϕ 76 mm ve 20 m.)	1	3800	3800
Yatak zinciri (ϕ 60 mm ve 27.5 m)	4	5225	20900
Ring (ϕ 90x400)	1	200	200
Beton blok	4	3000	-
Çapa	4	3000	12000

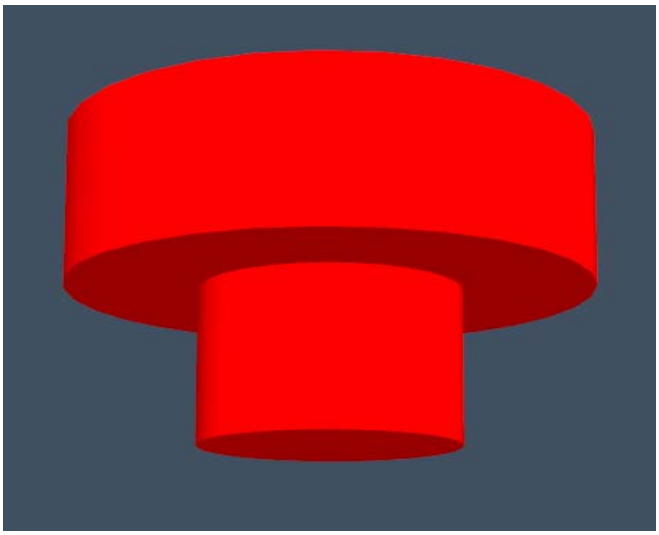
Şamandıra İçin sephiye kontrolü:

Şamandıra sisteminin belirtilen su derinliğinde (28 m) yüzme şartını sağlayıp sağlamadığını kontrol etmek için sephiye analizi yapılmıştır. Ağırlık bileşenleri şamandıra (Şekil 5.16, Şekil 5.17), yükselen zincir ve çabuk çözülür kancadan oluşmaktadır.

Ring, yatak zincirleri ve yatak zincirleri çapaları ve sinkerler zeminde kabul edildiği için hesaba katılmamıştır. Şamandıra hacim hesabı:



Şekil 5.16 : Şamandıra geometrisi.



Şekil 5.17 : 3 Boyutlu şamandıra görünümü.

$$V_I = \pi.R^2.h = \pi.2^2.2 = 25.12 \text{ m}^3$$

$$V_{II} = \pi.R^2.h = \pi.1.5^2.2 = 14.14 \text{ m}^3$$

$$V_T = V_I + V_{II} = 25.12 + 14.14 = 39.26 \text{ m}^3$$

$$Toplam\ Sephiye = V_T.\rho = 39.26 \times 1.025 = 40.24 \text{ ton}$$

Toplam sephiye miktarı, Çizelge 5.6'da verilen şamandıraya bağlı elemanların toplam ağırlığından çıkartılırsa fazla sephiye elde edilir.

$$\text{Fazla sephiye} = 40.24 - (12 + 3.8 + 0.6) = 23.84 \text{ ton}$$

$$\text{Şamandıra üst kısım 1 cm batma tonajı} = \pi \times 2^2 \times 0.01 \times 1.025 = 0.1288 \text{ ton/cm}$$

$$\text{Fribord} = \frac{23.84}{0.1288} = 185 \text{ cm olarak bulunur.}$$

Çizelge 5.6 : Ağırlık hesabı.

Eleman	Ağırlık (ton)
Şamandıra	12
Yükselen Zincir	3.8
Çabuk Çözülür Kanca	0.6

Yukarıdaki verilerden elde edilen sephiye ve şamandıra ağırlık hesapları dikkate alındığı zaman şamandıranın 185 cm fribord ile yüzmesi gerektiği hesaplanmıştır.

OrcaFlex™ programında gemi formu oluşturulurken programın kendi varsayılan gemi formu kaynak alınmıştır. Oluşturulan her gemi programda tanımlı varsayılan gemi formu için tanımlanan parametreleri (RAO katsayıları, ek su kütlesi, sönüm, hidrodinamik direnç, rüzgar direnci, dalga sürüklenme kuvveti vb. katsayıları) Froud ölçeğini kullanarak yeni gemi formu için oluşturmaktadır. OrcaFlex™ programında kullanılan ve hidrodinamik hesaplamalarda modellenen geminin genel özellikleri Çizelge 5.7'de verilmektedir.

Çizelge 5.7 : OrcaFlex Programı ana tekne modeli genel özellikleri.

OrcaFlex model ana boyutları	
Tam boy (m)	103
Genişlik (m)	15.95
Su çekimi (m)	6.66
Enine GM (m)	1.84
Boyuna GM (m)	114
Blok katsayısı	0.804

Programda yapılan kabuller ise;

Su derinliği: 28 m.

Deniz zemini: düz

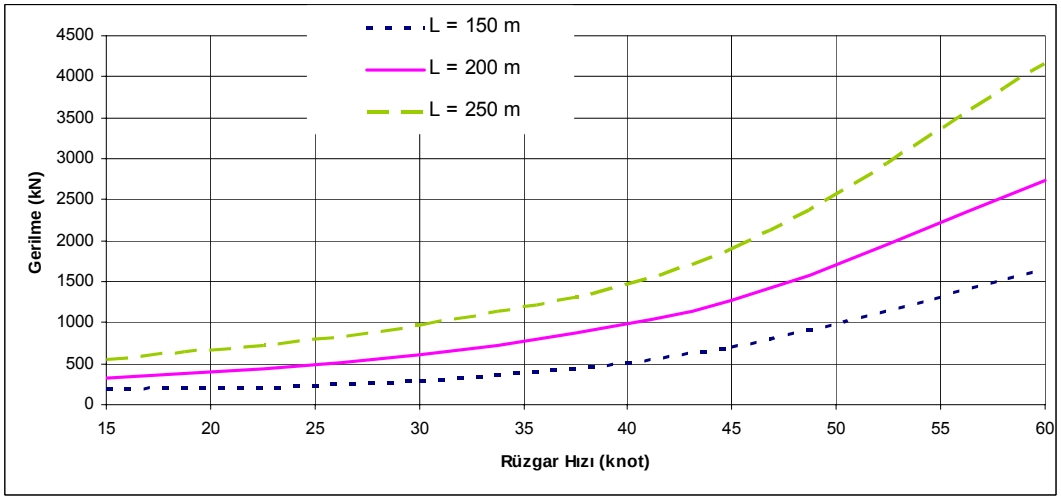
Dalga tipi: Jonswap; Tepe dalga periyodu (T_p): 7 saniye; Tepe sivriliği değeri $(\gamma): 3.7$.

Akıntı hesaplama yöntemi: Power law

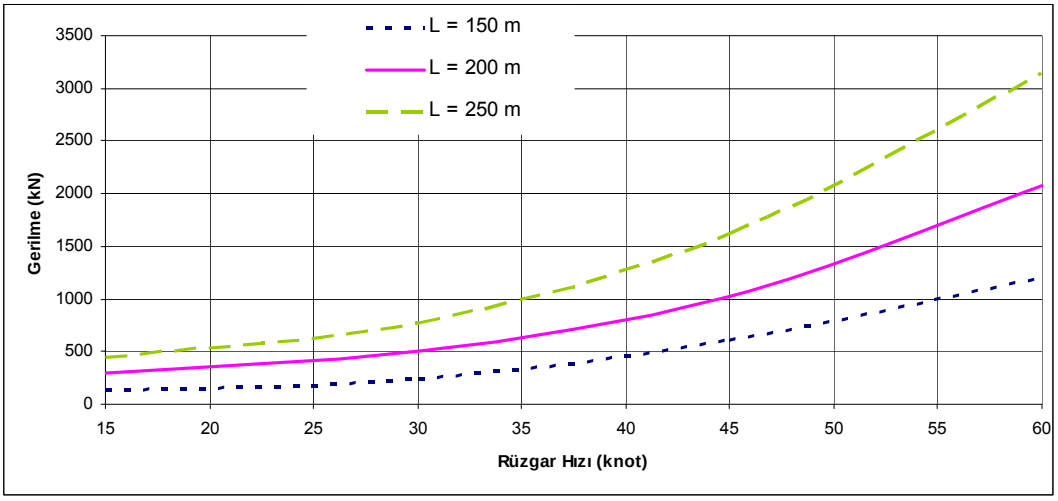
Dip akıntısı yok, yüzey akıntısı var

Rüzgar tipi: Sabit esen rüzgar

Rüzgar, akıntı ve dalga aynı yönde



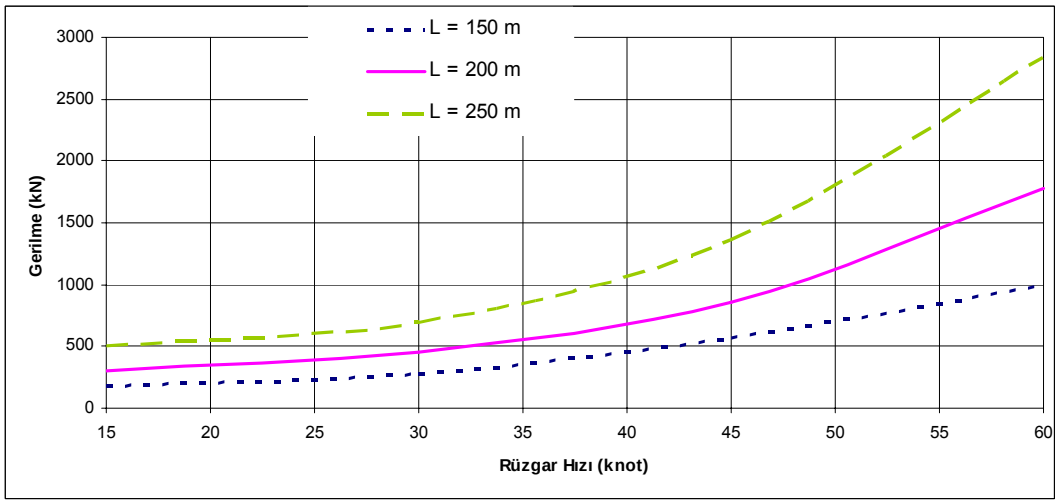
Şekil 5.18 : Kıç iskele şamandıra halatına gelen maksimum yük.



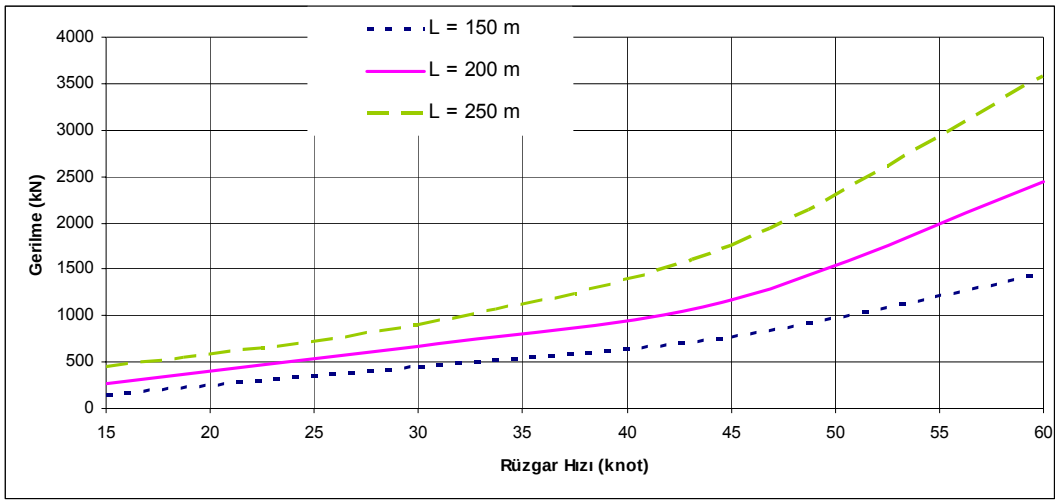
Şekil 5.19 : Kıç sancak şamandıra halatına gelen maksimum yük.

OrcaFlex™ programının doğrusallığını kontrol etmek için, Çizelge 5.2'de verilen Tanker A, Tanker B ve Tanker C'nin ana boyutları 4 noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemi seçeneği (A5) için, Çizelge 5.4'de verilen tüm olası senaryolar kullanılarak benzetime tabi tutulmuştur. A5 (4 noktadan bağlı sistem) bağlama

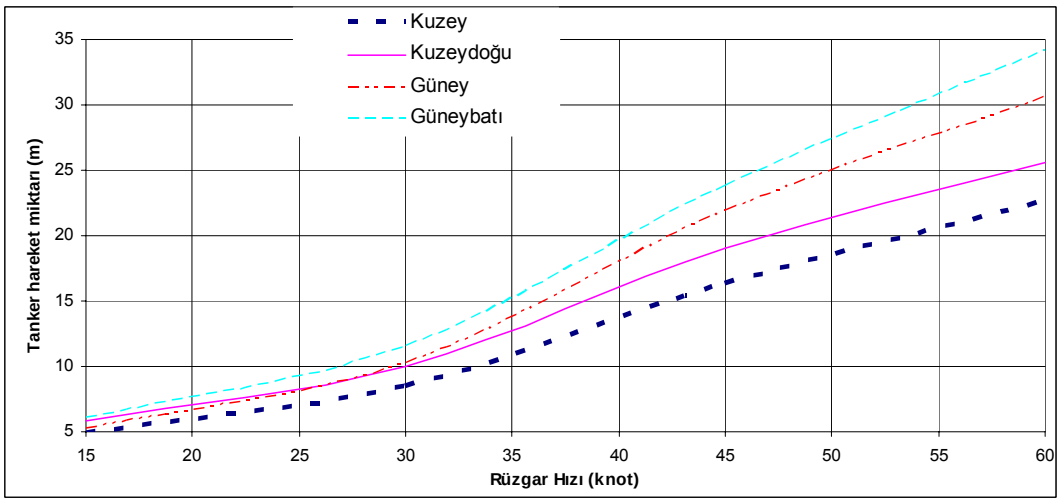
sistemi için elde edilen hesaplamalardan halatlarda en fazla gerilme kuvvetinin NE (kuzeydoğu)'dan etkiyen dalga, akıntı ve rüzgar kuvvetleri nedeniyle oluştuğu görülmüş ve halatlara gelen bu gerilme değerleri Tanker A, Tanker B ve Tanker C için Şekil 5.18-5.21'de verilmiştir. En büyük tonajlı tanker (Tanker C) için de tankerin baş, orta ve kıç kısmındaki hareket miktarları N, NE, S ve SW yönleri için Şekil 5.22-5.24'de verilmiştir.



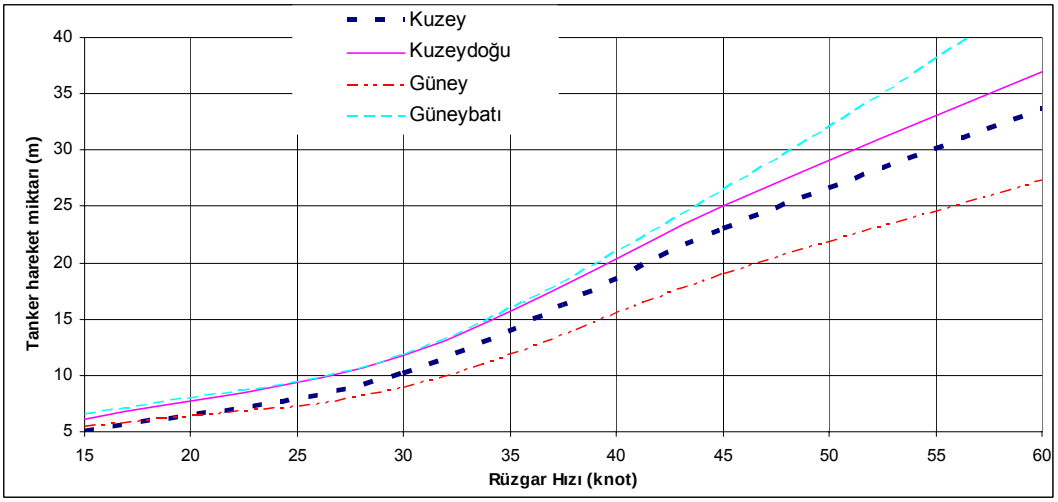
Şekil 5.20 : Baş iskele şamandıra halatına gelen maksimum yük.



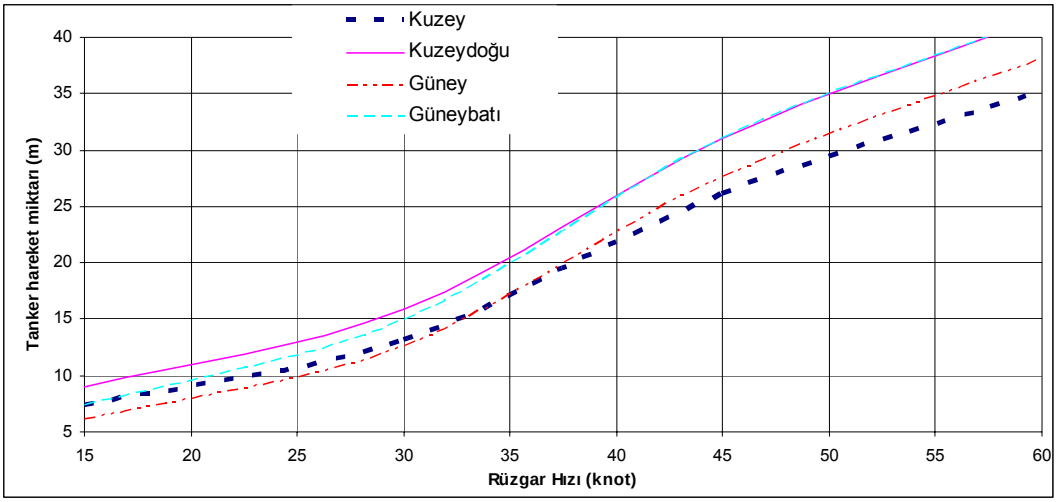
Şekil 5.21 : Baş sancak şamandıra halatına gelen maksimum yük.



Şekil 5.22 : Gemi ortasındaki maksimum hareket miktarı.



Şekil 5.23 : Gemi başındaki maksimum hareket miktarı.

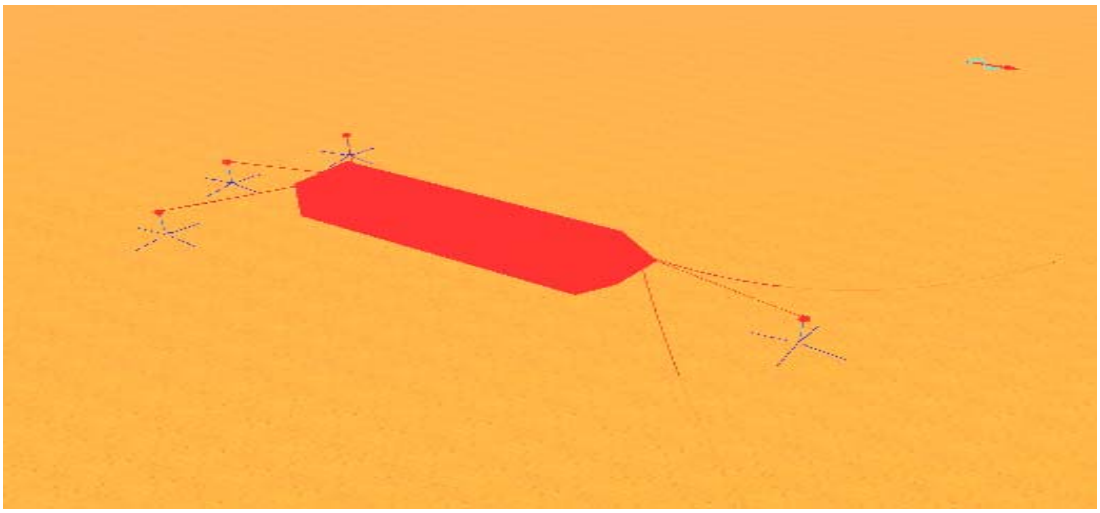


Şekil 5.24 : Gemi kıçındaki maksimum hareket miktarı.

Programın doğrusallığı test edildikten sonra, Tanker C (maksimum tonajlı tanker) için maksimum hava koşulları (60 knot rüzgar hızı, 3 m. karakteristik dalga yüksekliği ve 2.5 knot akıntı hızı) ve etkin rüzgar yönlerinde (N, NE, S, SW) bir grup benzetim çalışmalarına tabii tutulmuştur. OrcaFlex™ programı kullanılarak 240 adet benzetim yapılmıştır. Bu benzetimlere bir örnek olarak 6 noktadan bağlı sistem (A12) Şekil 5.25'de görülmektedir.

12 farklı tanker-şamandıra bağlama seçeneği için halat ve çapalara gelen maksimum gerilme miktarlari ve tankerlerin baş, orta ve kıç kısmındaki maksimum hareket miktarları hesaplanmıştır. Ayrıca sistemin risk analizi için her bağlama seçeneği şeklinde çabuk çözünür kancalara ve yatak zincirlerine gelen gerilme büyüklükleri de hesaplanmıştır.

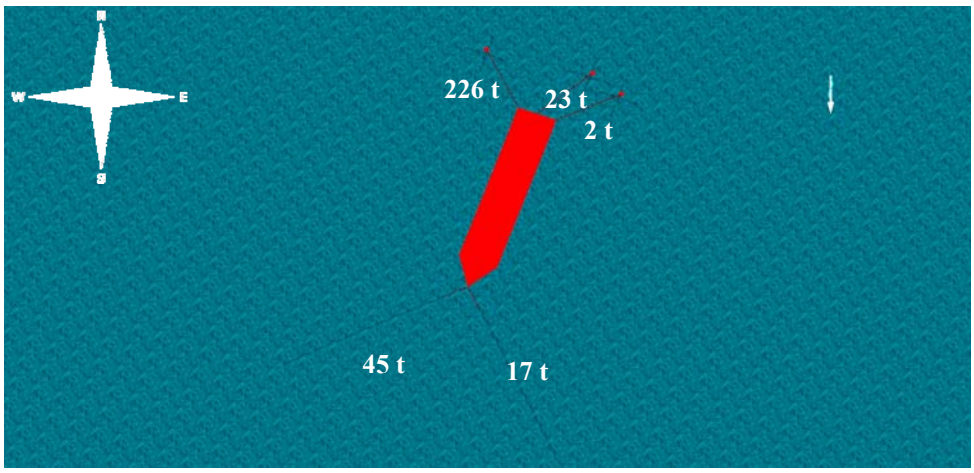
Çizelge 5.8'de Tanker C için tüm bağlama seçeneklerinde OrcaFlex™ programı kullanılarak elde edilen maksimum gerilme değerinin oluştuğu yöndeki maksimum halat gerilme değerleri verilmiştir. Yine aynı şekilde TankerC için tüm bağlama sistemi seçeneklerinde gemi başında, ortasında ve kıç kısmındaki maksimum hareket miktarları ise Çizelge 5.9' da verilmiştir.



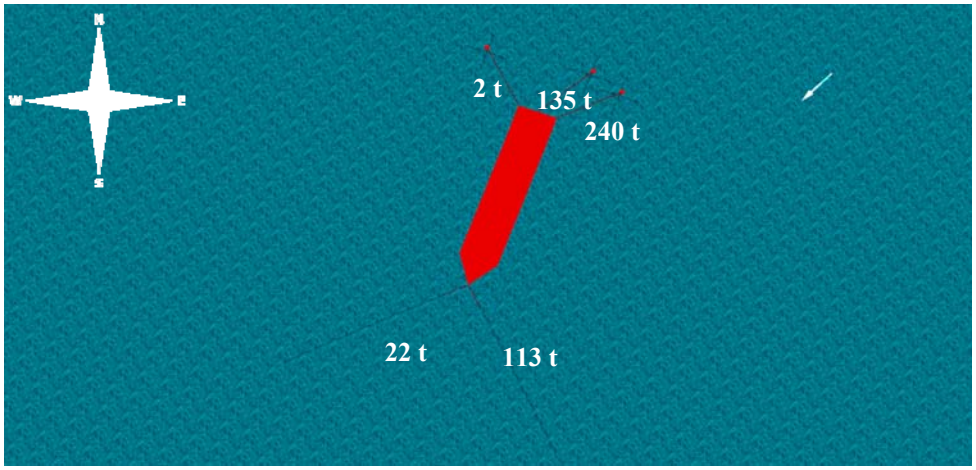
Şekil 5.25 : 6 Noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemi (A12).

Uç çevre koşullarına maruz kalan Tanker C için, tüm bağlama halat ve çapa zincirlerinde OrcaFlex programı tarafından hesaplanan maksimum gerilme değerleri çizelge olarak EK A'da verilmektedir (grafik olarak da EK B'de). Ayrıca, A10 için, tüm bağlama halat ve çapa zincirlerindeki maksimum gerilme değerleri Şekil 5.26-5.29'da verilmektedir. Tanker C için, benzetim sırasında maksimum yüke maruz

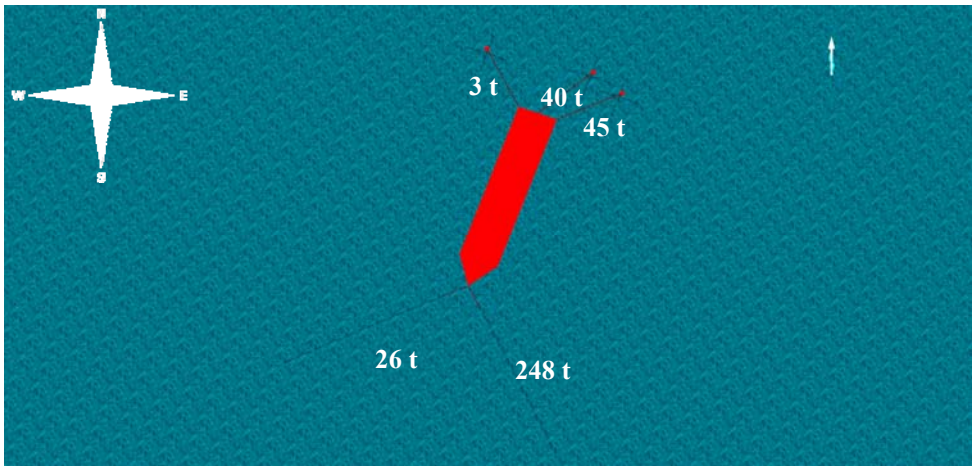
kalan bir halat veya çapanın bu değerinde diğer halat ve/veya çapalara gelen gerilme miktarları çizelge olarak EK C'de verilmiştir.



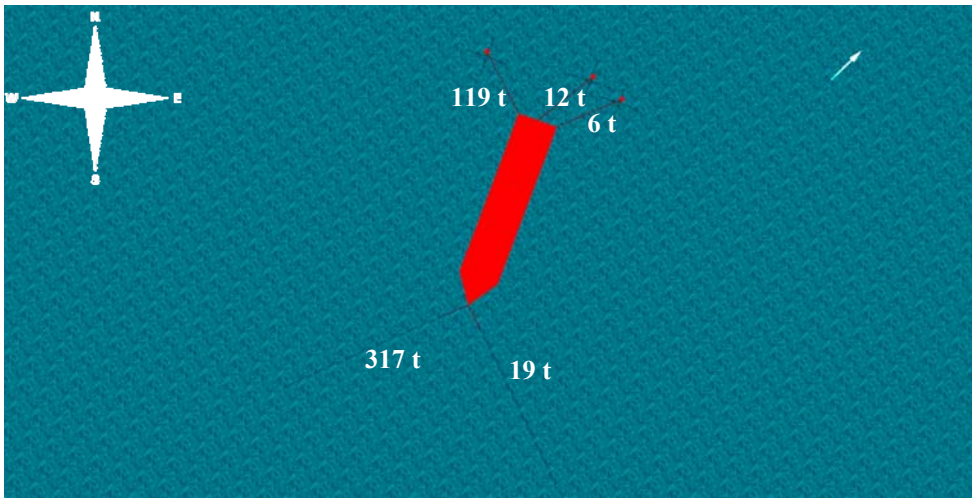
Şekil 5.26 : A_{10} hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü kuzey).



Şekil 5.27 : A_{10} hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü kuzey doğu).



Şekil 5.28 : A_{10} hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü güney).



Şekil 5.29 : A_{10} hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü güney batı).

Çizelge 5.8 : Tanker C için maksimum gerilme değerleri.

	Gerilme (ton)	Rüzgar yönü	Bağlama hattı
A1	714	Güneybatı	Kıç merkez
A2	725	Güneybatı	Baş merkez
A3	706	Güneybatı	Kıç sancak
A4	690	Güneybatı	Kıç sancak
A5	424	Kuzeydoğu	Kıç iskele
A6	417	Kuzeydoğu	Kıç iskele
A7	398	Kuzeydoğu	Kıç iskele
A8	313	Güney	Baş iskele
A9	387	Kuzeydoğu	Kıç iskele
A10	240	Kuzeydoğu	Kıç iskele
A11	252	Kuzeydoğu	Kıç iskele
A12	225	Kuzeydoğu	Kıç iskele

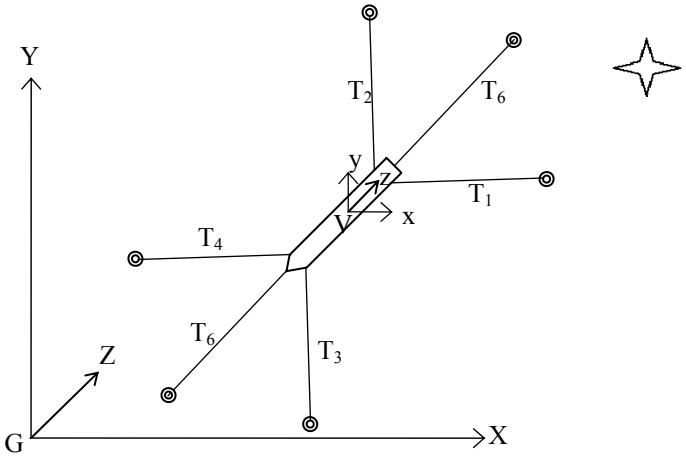
Çizelge 5.9 : Tanker C için maksimum yer değiştirme miktarları.

Seçenekler	Tanker maksimum yer değiştirme miktarı (m)		
	Gemi ortasında	Gemi Başında	Gemi Kıçında
A1	74	95	58
A2	81	106	72
A3	45	79	30
A4	45	82	16
A5	34	44	42
A6	32	33	38
A7	26	31	33
A8	28	29	37
A9	25	25	35
A10	21	24	32
A11	19	20	28
A12	22	20	20

Yarı-statik hesaplama:

Tanker-şamandıra bağlama sisteminde, tanker üzerinde etkili olan rüzgar ve akıntı yüklerinin ve momentlerinin hesabında, OCIMF (1994) tarafından önerilen formüller kullanılmıştır. Tanker, global eksen takımına göre 250^0 derece açı yapacak şekilde konumlandırılmıştır (Şekil 5.30). T1, T2, T3 ve T4 halatları ile tekne ile 45^0 açı yapmaktadır.

Hesaplamalarda Çizelge 5.2'de verilen maksimum tonajdaki gemiye (Tanker C) ait ana boyut değerleri kullanılmıştır. Rüzgar hızı olarak 60 knot maksimum rüzgar hızı ve akıntı hızı olarak 2.5 knot maksimum akıntı hızı değeri alınmıştır. Hesaplamalar Yarımca bölgesinde etkin olan yön dilimleri (N, NE, S ve SW) kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 5.30 : Global eksen takımında halatların konumları.

Çizelge 5.10 : Rüzgar kuvvet ve moment değerleri.

Rüzgar Hızı (knot)	Etkin yönler	Boyuna rüzgar kuvveti (kN)	Enine rüzgar kuvveti (kN)	Rüzgar savrulma momenti (kN.m)
30	N	96.7	126.2	-13770.8
	SW	-98.0	153.6	-3755.7
	S	-104.5	104.3	-2503.8
	NE	91.4	208.5	-16274.6
45	N	217.5	283.9	-30984.3
	SW	-220.4	345.7	-8450.3
	S	-235.1	234.6	-5633.5
	NE	205.7	469.1	-36617.8
60	N	386.6	504.8	-55083.2
	SW	-391.9	614.5	-15022.7
	S	-418.0	417.0	-10015.1
	NE	365.7	834.0	-65098.3

Denklem (4.3), (4.4) ve (4.5) kullanılarak boyuna, enine rüzgar kuvvetleri ve moment değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 5.10).

Çizelge 5.11 : Akıntı kuvvet ve moment değerleri.

Akıntı Hızı (knot)	Etkin yönler	Boyuna akıntı kuvveti (kN)	Enine akıntı kuvveti (kN)	Akıntı savrulma momenti (kN.m)
1.0	N	4.5	294.1	-20644.7
	SW	13.6	520.3	15483.5
	S	-4.5	452.4	10322.4
	NE	-4.5	452.4	-23741.4
2.0	N	18.1	1176.3	-82578.9
	SW	54.3	2081.1	61934.2
	S	-18.1	1809.7	41289.4
	NE	-18.1	1809.7	-94965.7
2.5	N	28.3	1837.9	-129029.5
	SW	84.8	3251.8	96772.1
	S	-28.3	2827.6	64514.8
	NE	-28.3	2827.6	-148383.9

Denklem (4.6), (4.7) ve (4.8) kullanılarak boyuna, enine akıntı kuvvetleri ve moment değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 5.11).

Denklem (4.16), (4.17) ve (4.18) kullanılarak boyuna, enine ortalama dalga sürüklenme kuvvetleri ve moment değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 5.12).

Tanker üzerinde rüzgar, akıntı ve dalga yüklerinin toplam enine, boyuna kuvvetler ve moment değerleri elde edilmiştir (Çizelge 5.13).

Çizelge 5.12 : Ortalama dalga sürüklenme kuvvet ve moment değerleri.

Dalga Yüksekliği (metre)	Etkin yönler	Boyuna dalga kuvveti (kN)	Enine dalga kuvveti (kN)	Dalga savrulma momenti (kN.m)
1.0	N	-11.8	28.1	1191.9
	SW	11.4	34.7	-1887.4
	S	11.8	-28.1	1576.6
	NE	-11.4	-34.7	-1412.0
2.0	N	-36.4	77.8	3298.5
	SW	35.1	96.1	-5223.3
	S	36.4	-77.8	4363.3
	NE	-35.1	-96.1	-3907.7
3	N	-37.8	47.6	2018.8
	SW	36.4	58.8	-3196.8
	S	37.8	-47.6	2670.4
	NE	-36.4	-58.8	-2391.6

Çizelge 5.13 : Toplam kuvvet ve moment değerleri.

Rüzgar-Akıntı-Dalga Şiddetleri	Etkin yönler	Toplam boyuna kuvvet (kN)	Toplam enine kuvvet (kN)	Toplam savrulma momenti (kN.m)
30 knot rüzgar 1 knot akıntı 1 metre dalga	N	89.4	448.4	-33223.6
	SW	-73.0	708.6	9840.5
	S	-97.2	528.6	9395.2
	NE	75.5	626.2	-41428.0
45 knot rüzgar 2 knot akıntı 2 metre dalga	N	199.2	1538.0	-110264.6
	SW	-131.0	2522.9	48260.6
	S	-216.8	1966.5	40019.2
	NE	152.5	2182.7	-135491.2
60knot rüzgar 2.5 knot akıntı 3 metre dalga	N	377.2	2390.3	-182093.9
	SW	-270.6	3925.1	78552.6
	S	-408.5	3197.0	57170.1
	NE	301.0	3602.8	-215873.9

Tankerin bağlı olduğu halatlara gelen gerilme miktarlarının hesabı için yarı-statik hesaplama yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntem sisteme etkiyen kuvvetlerin bir anda dengede olduğu varsayımıyla, halatlara gelen kuvvetlerin paylaşımını vermekte ancak sistemin hareketinden dolayı oluşan dinamik yükleri ihmal etmektedir. Yük paylaşım hesabı için Çizelge 5.13'de hesaplanan değerler, 4 noktalı bağlama sistemi (T1, T2, T3, T4), 5 noktalı bağlama sistemi (T1, T2, T3 , T4, T5) ve 6 noktalı bağlama sistemi (T1, T2, T3 , T4, T5, T6) için toplam kuvvet ve moment eşitliği denklemlerinde yerlerine konulur. Bu denklemler;

$$\sum F_x = 0 \qquad \textbf{(5.5)}$$

$$\sum F_y = 0 \qquad \textbf{(5.6)}$$

$$\sum M_{xy} = 0 \qquad \textbf{(5.7)}$$

şeklindedir. Burada, F_x boyuna yöndeki kuvvetleri, F_y enine yöndeki kuvvetleri M_{xy} savrulma yönündeki momentleri ifade etmektedir.

Her bir bağlama sistemi için denklem (5.5), (5.6) ve (5.7) kullanılarak halatlara gelen gerilme değerleri elde edilirler (Çizelge 5.14, Çizelge 5.16 ve Çizelge 5.18).

Aynı şekilde en büyük tonajlı tanker (Tanker C) için OrcaFlex^{TM} programı kullanılarak elde edilen hesaplamalar 4 noktalı, 5 noktalı ve 6 noktalı bağlama sistemleri için Çizelge 5.15, Çizelge 5.17 ve Çizelge 5.19'da verilmiştir.

Çizelge 5.14 : 4 noktalı bağlama sistemi halat gerilmeleri (Yarı-statik hesap).

Rüzgar hızı (knot) ve yönü		Bağlama halatları gerilme değerleri (kN)			
		T1	T2	T3	T4
30	N	0	681	0	111
	SW	0	523	0	572
	S	316	0	573	0
	NE	1056	0	186	0
45	N	0.0	2377	0	404
	SW	0.0	1485	0	2299
	S	1143	0	2079	0
	NE	2463	0	704	0
60	N	0	2781	0	562
	SW	0	2289	0	3571
	S	907	0	3321	0
	NE	4654	0	1210	0

Çizelge 5.15 : 4 noktalı bağlama sistemi halat gerilmeleri (OrcaFlex hesap).

Rüzgar hızı (knot) ve yönü		Bağlama halatları gerilme değerleri (kN)			
		T1	T2	T3	T4
30	N	0	776	0	502
	SW	0	595	0	912
	S	496	0	693	0
	NE	974	0	539	0
45	N	0	1620	0	788
	SW	0	986	0	1759
	S	733	0	1363	0
	NE	1900	0	1189	0
60	N	0	3149	0	795
	SW	0	1844	0	3561
	S	657	0	2825	0
	NE	4160	0	775	0

Çizelge 5.16 : 5 noktalı bağlama sistemi halat gerilmeleri (Yarı-statik hesap).

Rüzgar hızı (knot) ve yönü		Bağlama halatları gerilme değerleri (kN)				
		T1	T2	T3	T4	T5
30	N	0	523	0	111	202
	SW	0	523	0	572	0
	S	316	0	573	0	0
	NE	700	0	186	0	439
45	N	0	1771	0	404	767
	SW	0	1485	0	2299	0
	S	1143	0	2079	0	0
	NE	1884	0	704	0	1340
60	N	0	1819	0	562	1219
	SW	0	1289	0	3571	0
	S	907	0	3321	0	0
	NE	2886	0	1210	0	1193

Çizelge 5.17 : 5 noktalı bağlama sistemi halat gerilmeleri (OrcaFlex hesap).

Rüzgar hızı (knot) ve yönü		Bağlama halatları gerilme değerleri (kN)				
		T1	T2	T3	T4	T5
60	N	0	2698	0	628	20
	SW	0	1638	0	3109	0
	S	275	0	3080	0	0
	NE	2796	0	1383	0	912

Çizelge 5.18 : 6 noktalı bağlama sistemi halat gerilmeleri (Yarı-statik hesap).

Rüzgar hızı (knot) ve yönü		Bağlama halatları gerilme değerleri (kN)					
		T1	T2	T3	T4	T5	T6
30	N	0	523	0	111	202	0
	SW	0	440	0	562	0	13
	S	316	0	432	0	0	180
	NE	700	0	186	0	439	0
45	N	0	1771	0	404	767	0
	SW	0	1485	0	2083	0	292
	S	1143	0	1639	0	0	568
	NE	1884	0	704	0	1340	0
60	N	0	2819	0	562	1219	0
	SW	0	1289	0	2263	0	418
	S	907	0	2115	0	0	910
	NE	2886	0	1210	0	1193	0

Çizelge 5.19 : 6 noktalı bağlama sistemi halat gerilmeleri (OrcaFlex hesap).

Rüzgar hızı (knot) ve yönü		Bağlama halatları gerilme değerleri (kN)					
		T1	T2	T3	T4	T5	T6
60	N	0	2148	0	657	108	0
	SW	0	903	0	1942	0	49
	S	530	0	1942	0	0	118
	NE	2472	0	1246	0	1413	0

5.7 Sonuçlar

Bu bölümde ilk olarak Yarımca bölgesinde kurulması düşünülen çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemi terminali için 12 bağlama sistemi seçeneği belirlenmiştir. Daha sonra bölgenin çevre koşulları ve tanker-şamandıra bağlama sisteminin genel özellikleri belirlenmiş ve amaca uygun sistemin matematiksel modeli çıkartılmıştır. 12 çok noktalı bağlama sistemi seçeneğinde 3 farklı tonajdaki tanker için bağlama sistemleri bileşenlerine (bağlama halatı, tanker çapa uç gerilmeleri, çabuk çözülür kanca, yatak zincirleri) gelen gerilme değerleri ve tankerlerin global eksen takımına göre hareket miktarları OrcaFlex^{TM} programı kullanılarak hesaplanmıştır. Her bağlama sistemi seçeneğinde maksimum tonajdaki tanker için (Tanker C) bağlama

halatlarına gelen maksimum gerilme değerleri ve tankerin gemi ortasındaki maksimum hareket miktarları Bölüm 7'de en uygun bağlama sisteminin seçiminde iki öz nitelik büyüklüğü olarak kullanılacakır. Ayrıca bağlama halatlarına, çapa zincirlerine, çabuk çözünür kanca ve yatak zincirleri gerilme değerleri Bölüm 7'de her bağlama sistemi seçeneği için risk analiz hesaplamalarında kullanılacaktır.

OrcaFlex™ programı ile yapılan dinamik hesaplamaların yanısıra bağlama sistemlerinde halatlara gelen gerilme miktarlarının hesabı için yarı-statik hesaplama yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntem sisteme etkiyen kuvvetlerin bir anda dengede olduğu varsayımıyla halatlara gelen kuvvetlerin paylaşımını vermekte ancak sistemin hareketinden dolayı oluşan dinamik yükleri ihmal etmektedir. OrcaFlex™ programı ve yarı-statik hesaplamalar ile elde edilen sonuçlar gerek yük paylaşımları olarak gerekse yük büyüklüklerin mertebeleri olarak birbirine yakın sonuçlar vermektedir.

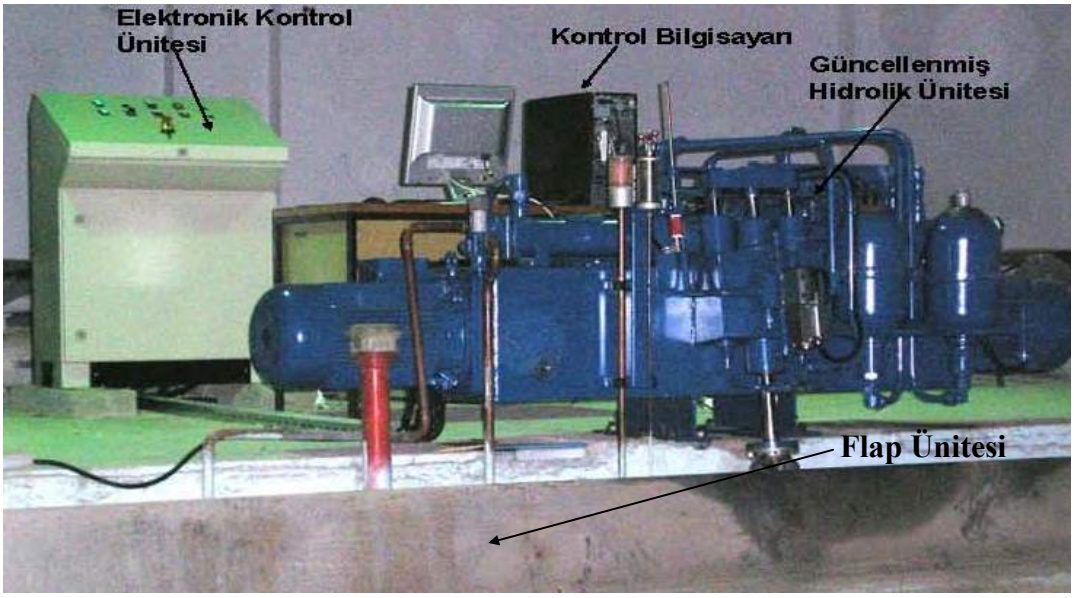
6. ÇOK NOKTALI TANKER BAĞLAMA SİSTEMİ DENEYLERİ

Çok noktadan bağlı bir tankerin sinusoidal dalgalar arasındaki hareketinde halatlara gelen yük paylaşımını görmek için, İTÜ Ata Nutku Model Deney Havuzunda bir seri deneysel çalışmalar yapılmıştır. Hesaplanan yük dağılımlarını karşılaştırmak için OrcaFlex™ programı kullanılmış ve aynı ortam koşulları programda girilerek hesaplamalar yapılmıştır.

6.1 Ata Nutku Model Deney Havuzu Deneyleri

6.1.1 Dalga cihazı ünitesi

İTÜ Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesine ait Ata Nutku Gemi Model Deney Havuzunda dalgalı deniz koşullarını yaratabilmek amacı ile Kempf-Remmers firması tarafında yapılmış 'flap' türü dalga cihazı kullanılmıştır. Cihaz elektronik kontrol ünitesi, kontrol bilgisayarı, hidrolik sistem ve flaptan oluşmaktadır (Şekil 6.1).



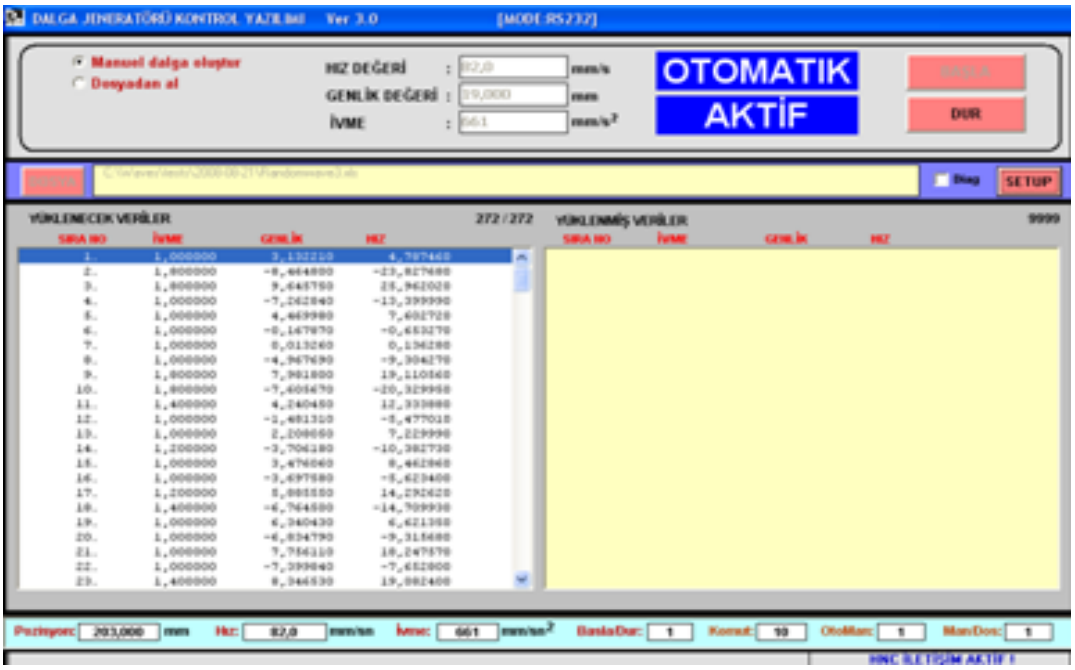
Şekil 6.1 : Dalga yapıcı cihaz.

Dalga cihazının temel ünitesi olan hidrolik sistem, elektrik motoru ile tahrik edilen pompa ve flapa hareketi veren piston ile bu pistonu besleyen iki hidrolik devreden oluşmaktadır. İki hidrolik devreden biri yüksek basınç devresi olup flapın iki

tarafındaki su seviyesi farkından oluşan statik basıncı karşılamaktadır. İkinci devre düşük basınç devresi olup flapın hareketini oluşturan silindire doğrudan bağlı olup yüksek hızda çalışmaktadır (Okan, 2007b).

Flap 1.35 m yükseklikte olup 4.5 m derinlikteki havuzda dipten 3.15 m yüksekteki bir topuk üzerinde mafsallanmıştır. Flap, hareketi veren silindirin pistonuna mafsala uzak olan noktasından 1.4 m uzunluğundaki bir şaft aracılığı ile bağlıdır. Pistonun silindir içerisindeki doğrusal hareketi, bu mekanizma vasıtası ile flapın topuktaki mafsal etrafında dönme hareketi yapmasına ve tank içerisinde dalgaların oluşmasını sağlar.

Dalga cihazının kontrolü, ana bilgisayarda bulunan program (Rota Teknik Dalga Jeneratörü Software) kullanılarak yapılır (Şekil 6.2).

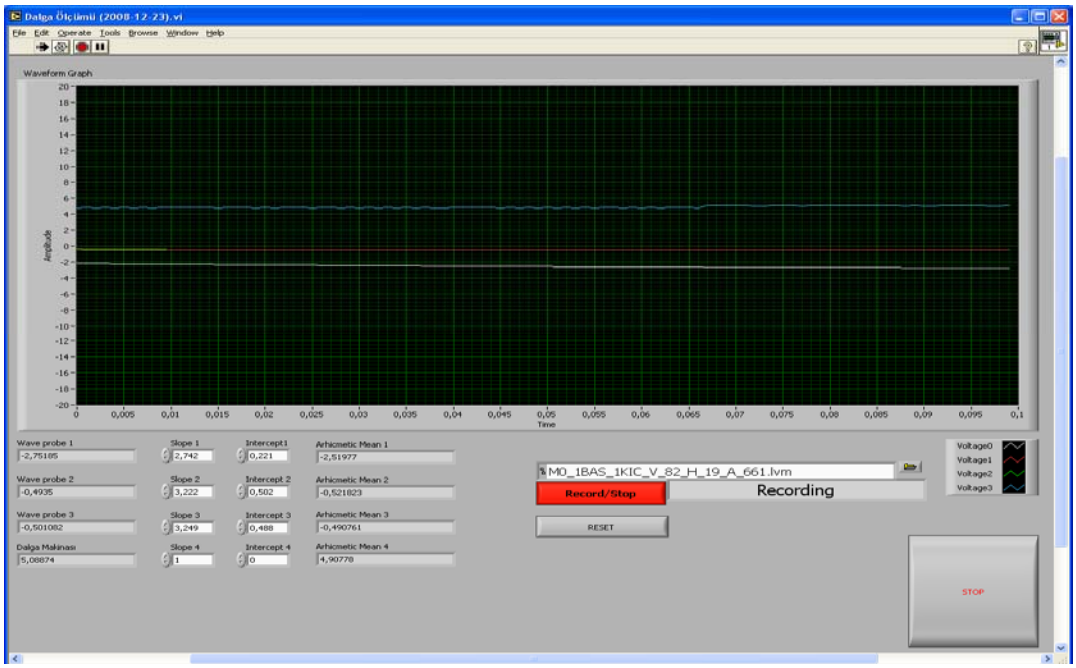


Şekil 6.2 : Dalga jeneratörü kontrol yazılımı.

Dalga cihazı ile oluşturulan dalgaların analizi için kullanılan program Şekil 6.3'de görülmektedir.

6.1.2 Model deneyleri

Düzgün sinüzoidal dalgalar elde edebilmek için dalga yapıcı cihaz kullanılarak, istenilen genlik ve periyotlardaki dalga profillerini sağlayan piston hız ve genlik değerleri araştırılmış ve amaca uygun piston genlik ve hız değerleri elde edilmiştir.



Şekil 6.3 : Dalga analiz programı.

Üretilmek istenen dalgaların ölçülebilmesi için de üç adet dalga probu ve bu problardan gelen sinyalleri yükselten iki adet amplifikatör ve veri iletim kablolarından oluşan dalga ölçüm sistemi kullanılmıştır. Dalgaların genliğini ölçmek için kullanılan dalga probları, biri merkezde diğer ikisi ise merkeze göre 1.3 metre mesafede sağ ve solda olmak üzere bir köprü üzerine yerleştirilmişlerdir. Köprü dalga cihazına göre 20 metrelik mesafede yerleştirilmiştir. Deney öncesi bir kez olmak üzere, kablolardaki direnç değerlerinin sıfırlanıp, problardan gelen sinyallerin sağlıklı bir şekilde okunabilmesi amacıyla kompansasyon işlemi yapılmıştır. Her deney günü, dalga cihazı çalıştırılmadan önce, tekne modeli ile dalga yapıcı cihaz arasındaki bölgeye konulan dalga proplarından gelen sinyaller okunmuş ve bu değerler için sistem ayarı sağlanmıştır.

Çizelge 6.1 : Tasarım su çekiminde model ve gemi karakteristikleri.

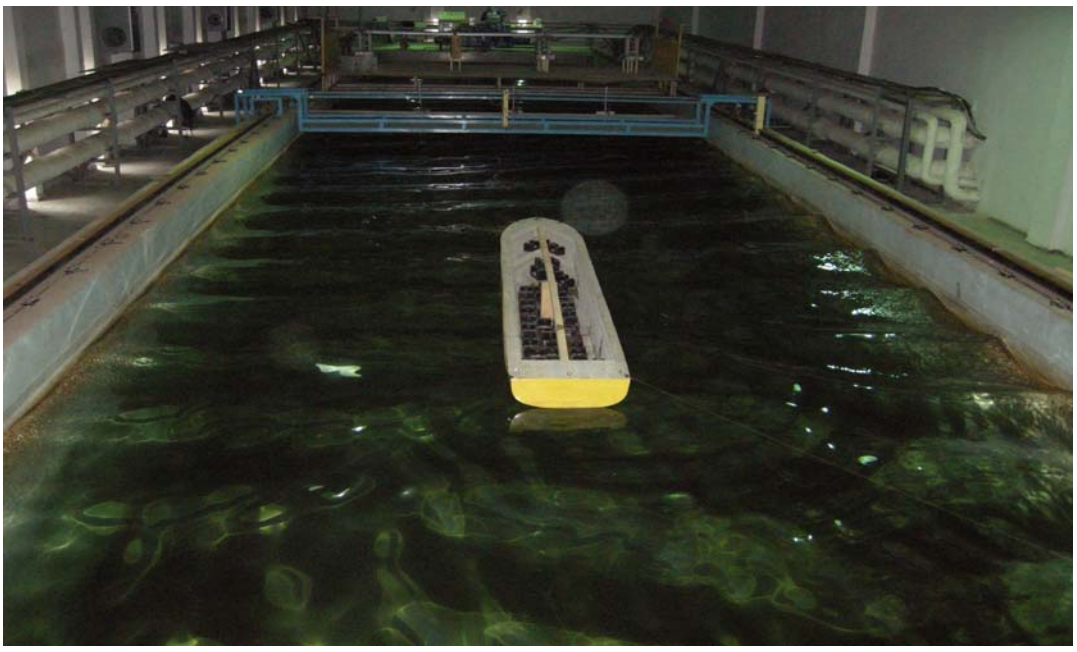
Model ölçeği (α) = 18.5		Model	Gemi
Dikeyler arası boy	LBP (m)	3.942	72.932
Genişlik	B (m)	0.665	12.300
Tasarım su çekimi	Tdesign (m)	0.268	4.950
Deplasman	Δ (ton)	0.539	3496.28
Blok katsayısı	CB	0.768	0.768

Deneylerde kullanılan tankerin genel özellikleri Çizelge 6.1'de verilmiştir. Model halatlarla iki noktadan (baştan ve kıçtan), üç noktadan (baş merkez ve kıç iskele ve kıç sancak), dört noktadan (baş ve kıçta sancak ve iskelelerde) bağlanmıştır. Şekil

6.4'de 2 noktadan bağlı (model 45^0 açılı), Şekil 6.5'de 3 noktadan bağlı ve Şekil 6.6'da 4 noktadan bağlı sistemler görülmektedir. Sancak ve iskele bağlantıları model ile 45^0 açılar yapacak şekilde konumlandırılmıştır. EK D'de 2, 3 ve 4 noktadan bağlı tanker için olası tüm deney senaryoları verilmiştir.



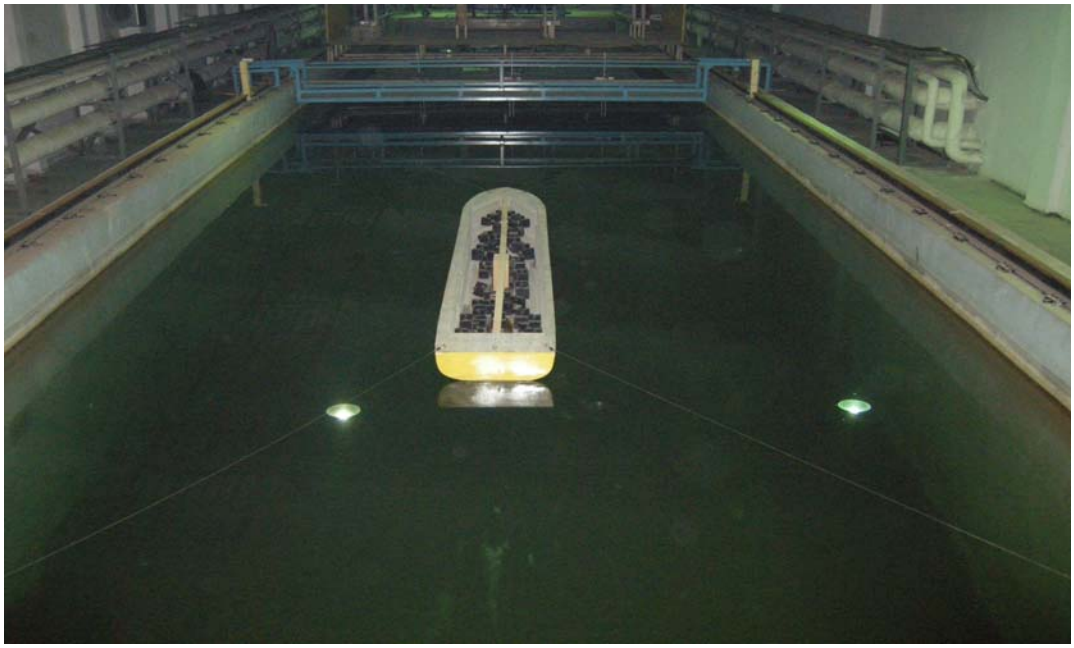
Şekil 6.4 : 2 Noktadan bağlı sistem (Model 45^0 açılı).



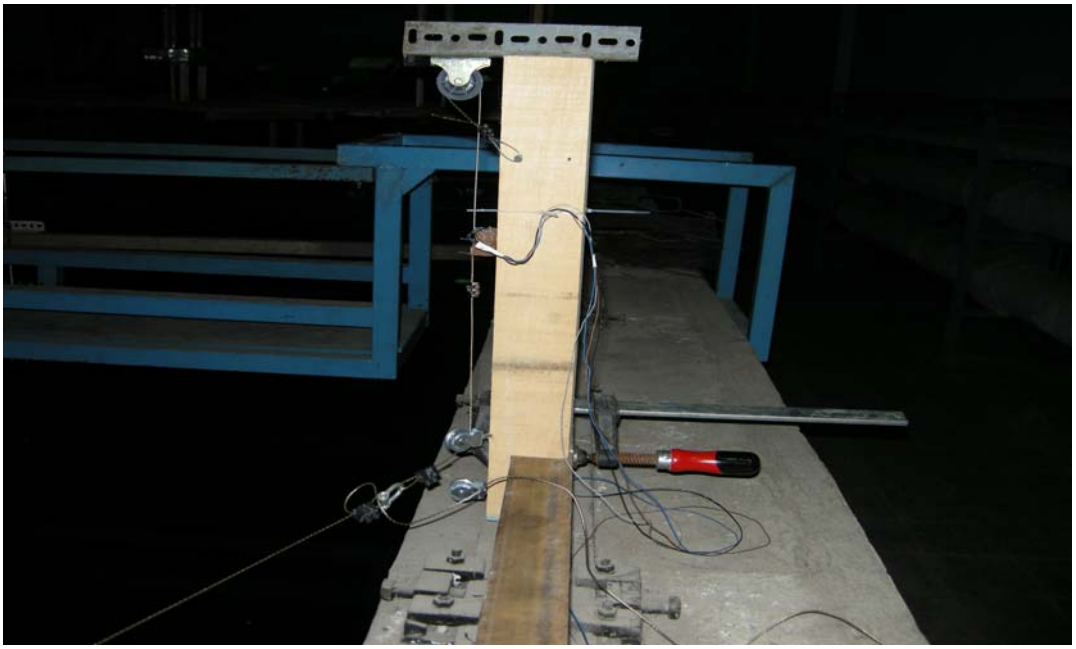
Şekil 6.5 : 3 Noktadan bağlı sistem.

Deneyde model ölçeğinde 0.8, 1.0, 1.2, 1.4 saniye periyotlu sinüzoidal dalgalar üretilmiştir. Dalgaların modele 0 ve 45^0 açılarla geldiği durumlar için deneyler gerçekleştirilmiştir. Gönderilen dalgaların halat üzerinde yarattığı dalga yüklerinin

ölçülmesi için load-cell'ler kullanılmıştır. Tipik bir load-cell halat bağlantısı Şekil 6.7'de görülmektedir. Deney sırasında, halatlarda oluşan gerilmeler her bir load-cell'e iletilmekte ve bu gerilme değerleri havuzdaki deney arabasında oluşturulan düzeneğe bağlı bilgisayardaki Labview programı ile kaydedilmektedir.



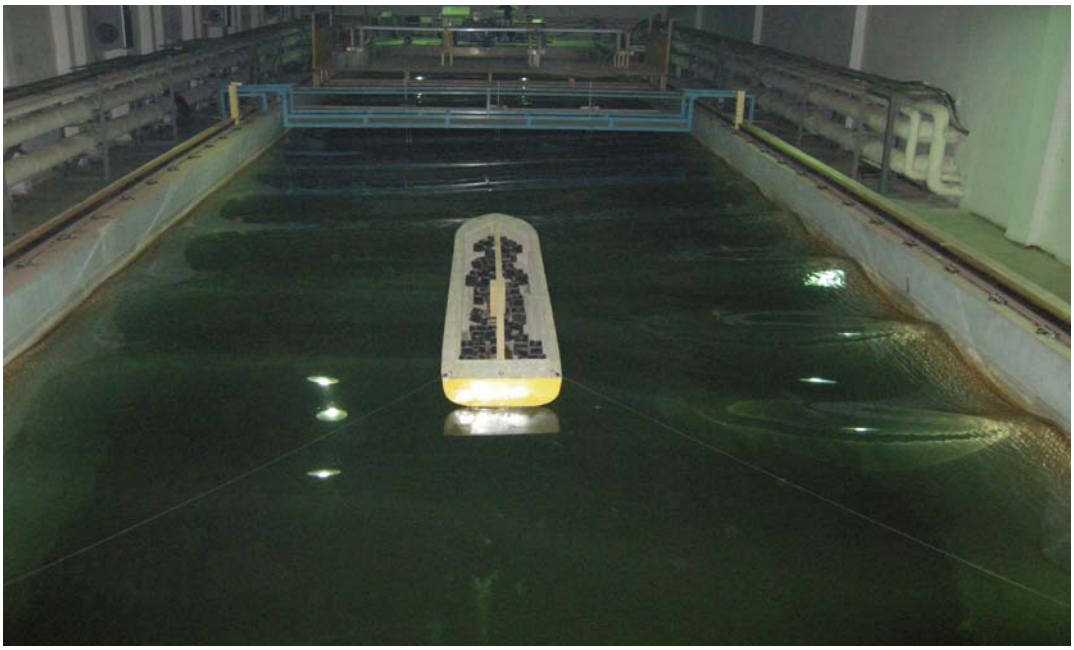
Şekil 6.6 : 4 Noktadan bağlı sistem.



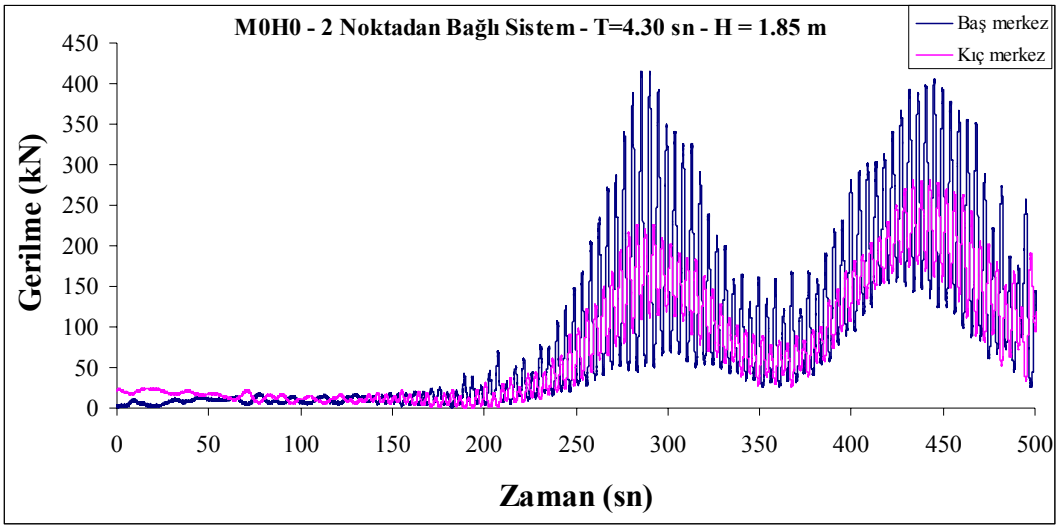
Şekil 6.7 : Load-cell halat bağlantısı.

Şekil 6.8'de model ölçeğinde 1 saniye periyotlu sinüzoidal dalgalar için 4 noktadan bağlı sistemin davranışı görülmektedir.

Şekil 6.9 ve Şekil 6.10'da 2 noktadan bağlı sistemde baştan ve baş sancak omuzluktan gelen dalgalar için gemi ölçeğinde halat gerilmeleri görülmektedir. Bu şekillerde T periyot, H ise dalga yükseklik değerleridir.

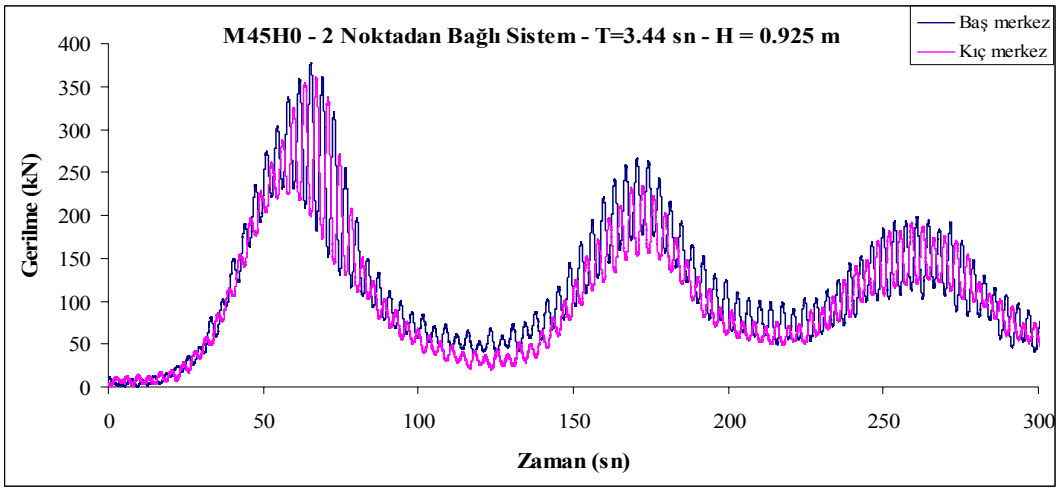


Şekil 6.8 : 1 saniye periyotluk dalgada 4 noktadan bağlı sistem.

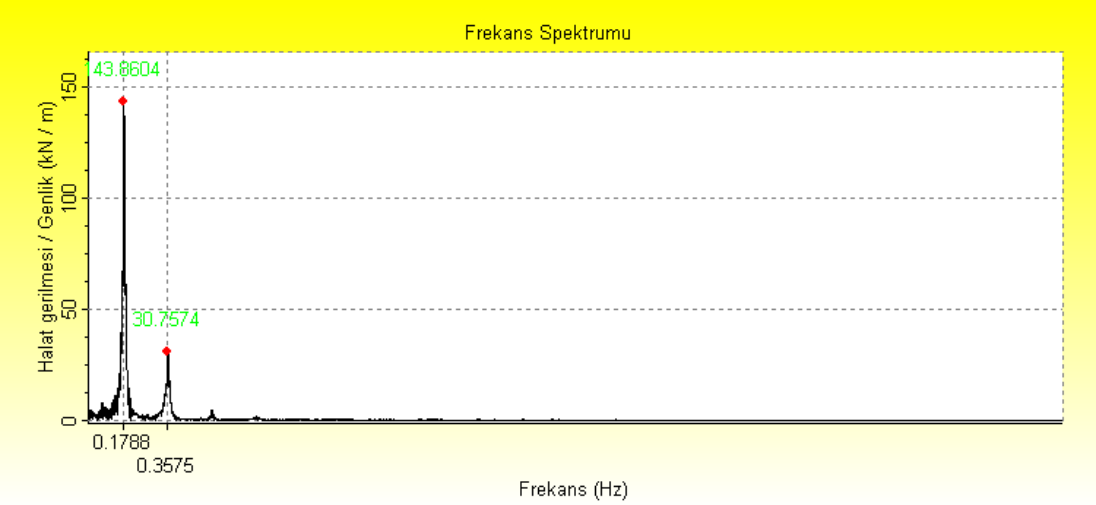


Şekil 6.9 : Baştan gelen dalgalarda 2 noktadan bağlı sistemde halat gerilmeleri.

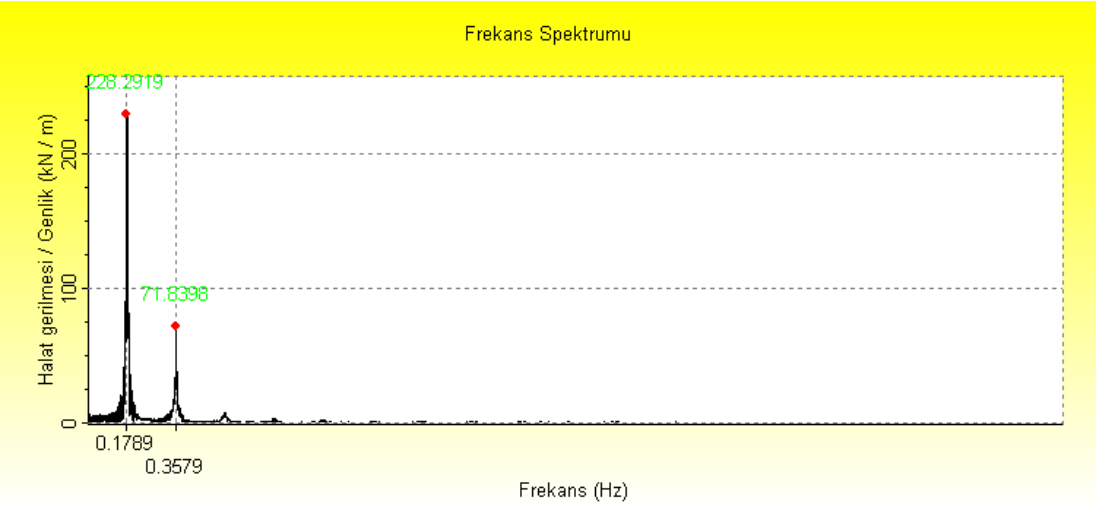
Gerek dalga probları ile ölçülen dalga verisi ve gerekse load-cell'ler yardımıyla ölçülen halat gerilme değerleri zaman bölgesinden frekans bölgesine geçiş için FFT analizine tabi tutulmuştur. 2 noktalı bağlama sistemi için, baştan 45^0 açıyla gelen dalgalar için baş ve kıç halat gerilme değerleri gerçek gemi ölçeğinde (T= 5.07 saniye) Şekil 6.11 ve 6.12'de verilmektedir.



Şekil 6.10 : Baş sancak omuzluk dalgalarında halat gerilmeleri.

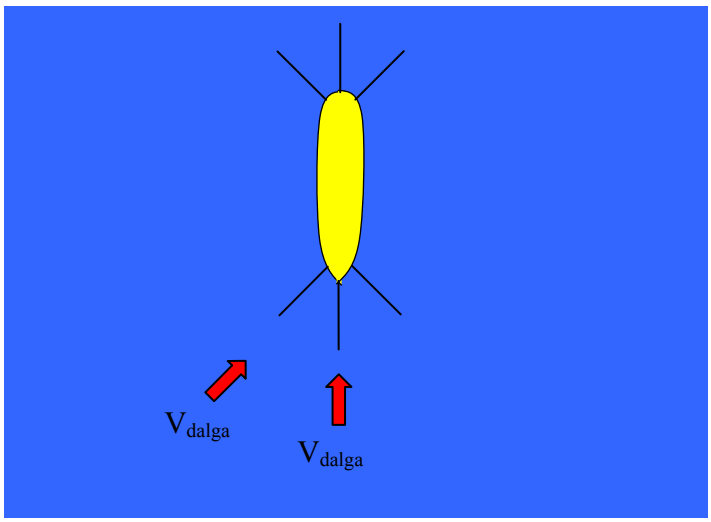


Şekil 6.11 : Baş sancak omuzluk dalgalarında baş halatı gerilme değeri.



Şekil 6.12 : Baş sancak omuzluk dalgalarında kıç halatı gerilme değeri.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler, Şekil 6.14'de OrcaFlex™ programından elde edilen verilerle karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 6.13 : Model deney düzeneği.

6.2 OrcaFlex Programı Hesapları

2, 3, 4, 5 ve 6 noktadan bağlı bir tankere (Şekil 6.13), tekne baş yönünde ve başa göre 45^0 açıyla (baş sancak omuzluktan) gelen düzenli dalganın oluşturduğu halat yük dağılımınlarının hesabı için OrcaFlex™ programı kullanılmıştır. Başlangıçta, genel yük dağılımını görmek için programda dalga kuvvetlerinin 1, 2, 3 ve 4 saniye periyotlarla değiştiği ve halat uzunluklarının başlangıçta her bir hat için 50 metre olduğu kabulü yapılmıştır. Hesaplamalarda dalga yüksekliği 2 metre uzunluğunda olan sinüzoidal dalgalardır. 2, 3, 4, 5 ve 6 noktadan bağlı sistemlerde birim boya gelen halat gerilme değerleri ve yük paylaşım oranları baştan gelen dalgalarda Çizelge 6.2'de, 45^0 açıyla gelen dalgalar için ise Çizelge 6.3'de verilmiştir.

Bağlama sistemindeki halatlar için yük paylaşım hesabı, tekrarlı yükler (sinüzoidal)'in yorulma analizi için önemlidir. Ayrıca, tankerin şamandıralara bağlanması sırasında, kaptanın hangi şamandıraya kaç halat vermesi gerektiğini göstermesi açısından da önemlidir. Burada dikkat edilecek bir nokta, aynı özelliklere sahip bağlama halatlarının kullanılması ve bağlanılan şamandıra donanım özelliklerinin aynı olması gereğidir.

Çizelge 6.2 : Baştan gelen dalgalarda gerilme değerleri (OrcaFlex).

		Halat gerilme / genlik değerleri (kN/m)					
	Periyot (sn)	Baş merkez	Baş sancak	Baş iskele	Kıç merkez	Kıç sancak	Kıç iskele
2 noktadan bağlı	1.0	0.22 (%48)	-	-	0.24 (%52)	-	-
	2.0	1.83 (%48)	-	-	2.00 (%52)	-	-
	3.0	6.23 (%48)	-	-	6.85 (%52)	-	-
	4.0	10.53 (%56)	-	-	8.23 (%44)	-	-
3 noktadan bağlı	1.0	0.23 (%44)	-	-	-	0.14 (%28)	0.14 (%28)
	2.0	1.84 (%44)	-	-	-	1.21 ((%28)	1.21 ((%28)
	3.0	6.23 (%46)	-	-	-	3.73 (%27)	3.73 (%27)
	4.0	10.58 (%52)	-	-	-	4.74 (%24)	4.74 (%24)
4 noktadan bağlı	1.0	-	0.13 (%24)	0.13 (%24)	-	0.15 (%26)	0.15 (%26)
	2.0	-	1.08 (%23)	1.08 (%23)	-	1.21 (%27)	1.21 (%27)
	3.0	-	3.44 (%24)	3.44 (%24)	-	3.74 (%26)	3.74 (%26)
	4.0	-	14.17 (%38)	14.17 (%38)	-	4.47 (%34)	4.47 (%34)
5 noktadan bağlı	1.0	0.18 (%24)	0.12 (%17)	0.12 (%17)	-	0.15 (%21)	0.15 (%21)
	2.0	1.78 (%28)	1.07 (%17)	1.07 (%17)	-	1.25 (%19)	1.25 (%19)
	3.0	6.16 (%28)	3.53 (%17)	3.53 (%17)	-	3.92 (%19)	3.92 (%19)
	4.0	12.10 (%24)	14.59 (%30)	14.59 (%30)	-	3.64 (%8)	3.64 (%8)
5 noktadan bağlı	1.0	-	0.14 (%19)	0.14 (%19)	0.19 (%24)	0.13 (%19)	0.13 (%19)
	2.0	-	1.11 (%17)	1.11 (%17)	1.93 (%30)	1.21 (%18)	1.21 (%18)
	3.0	-	3.6 (%17)	3.6 (%17)	6.68 (%30)	3.83 (%18)	3.83 (%18)
	4.0	-	14.01 (%32)	14.01 (%32)	7.13 (%16)	4.54 (%10)	4.54 (%10)
6 noktadan bağlı	1.0	0.22 (%22)	0.13 (%13)	0.13 (%13)	0.24 (%24)	0.15 (%14)	0.15 (%14)
	3.0	6.59 (%22)	3.74 (%13)	3.74 (%13)	7.22 (%24)	4.08 (%14)	4.08 (%14)
	4.0	11.9 (%22)	(14.6 (%26)	(14.6 (%26)	6.44 (%12)	3.83 (%7)	3.83 (%7)

Çizelge 6.3 : Baş sancak omuzluk dalgalarında gerilme değerleri (OrcaFlex).

		Halat gerilme / genlik değerleri (kN/m)					
	Periyot (sn)	Baş merkez	Baş sancak	Baş iskele	Kıç merkez	Kıç sancak	Kıç iskele
2 noktadan bağlı	1.0	0.45 (%55)	-	-	0.37 (%45)	-	-
	2.0	4.05 (%56)	-	-	3.13 (%44)	-	-
	3.0	15.13 (%58)	-	-	10.89 (%42)	-	-
	4.0	53.25 (%62)	-	-	33.11 (%38)	-	-
3 noktadan bağlı	1.0	0.35 (%30)	-	-	-	0.50 (%42)	0.33 (%28)
	2.0	2.82 (%31)	-	-	-	3.58 (%39)	2.76 (%30)
	3.0	9.41 (%30)	-	-	-	11.42 (%36)	10.95 (%34)
	4.0	6,24 (%46)	-	-	-	20.01 (%28)	3.52 ((%26)
4 noktadan bağlı	1.0	-	1.17 (%39)	0.83 (%28)	-	0.65 (%22)	0.34 (%11)
	2.0	-	10.03 (%39)	7.21 (%28)	-	5.34 (%22)	2.89 (%11)
	3.0	-	37.91 (%42)	25.01 (%27)	-	17.74 (%20)	10.46 (%11)
	4.0	-	20.73 (%32)	19.85 (%30)	-	16.33 (%25)	8.22 (%13)
5 noktadan bağlı	1.0	0.22 (%7)	1.15 (%36)	0.56 (%17)	-	0.65 (%20)	0.65 (%20)
	2.0	2.25 (%9)	9.98 (%38)	5.93 (%22)	-	5.39 (%20)	2.98 (%11)
	3.0	8.14 (%9)	36.91 (%41)	15.26 (%17)	-	18.37 (%20)	12.03 (%13)
	4.0	9.00 (%13)	25.72 (%38)	7.90 (%12)	-	14.71 (%22)	68.35 (%15)
5 noktadan bağlı	1.0	-	1.18 (%38)	0.86 (%27)	0.22 (%7)	0.63 (%20)	0.26 (%8)
	2.0	-	10.08 (%36)	7.47 (%27)	2.36 (%9)	5.32 (%19)	2.43 (%9)
	3.0	-	38.63 (%39)	29.68 (%30)	8.13 (%8)	17.49 (%18)	5.80 (%5)
	4.0	-	31.48 (%31)	16.26 (%16)	7.39 (%7)	22.94 (%23)	22.94 (%23)
6 noktadan bağlı	1.0	0.28 (%8)	1.17 ((%34)	0.82 (%23)	0.30 (%8)	0.65 (%18)	0.33 (%9)
	2.0	2.35 (%8)	10.09 (%34)	7.09 (%23)	2.53 (%8)	5.40 (%18)	2.87 (%9)
	3.0	8.52 (%8)	38.07 (%36)	22.47 (%21)	9.02 (%8)	18.39 (%17)	11.10 (%10)
	4.0	9.64 (%7)	29.70 (%22)	7.86 (%6)	63.57 (%46)	18.13 (%13)	8.61 (%6)

Çizelge 6.2 ve Çizelge 6.3'de elde edilen sonuçlardan;

- Baştan gelen dalgalar için, 2 noktadan bağlı sistemde yüklerin yaklaşık eşit (ikisinde de ~ %50), 3 noktadan bağlı sistemde yüklerin baş merkez halatında daha fazla(~ % 40), kıç sancak ve iskele halatında ~ %30, 4 noktadan bağlı sistemde yaklaşık eşit (hepsinde ~ %25), 5 noktadan bağlı sistemde baş merkez ~ %28, baş sancak ve iskele ~ % 17 ve kıç sancak ve iskele ~%19, 6 noktadan bağlı sistemde baş merkez ~ %22, baş sancak ve iskele ~ % 13 ve kıç merkez ~ % 24, kıç sancak ve iskele ~%14 olduğu söylenebilir.
- Baş sancak omuzluktan gelen dalgalarda da, ne kadar dalga yönünde olan halat en büyük gerilmeye maruz kalsa da, diğer halatlarda yükü belirli oranlarda paylaşmaktadır.

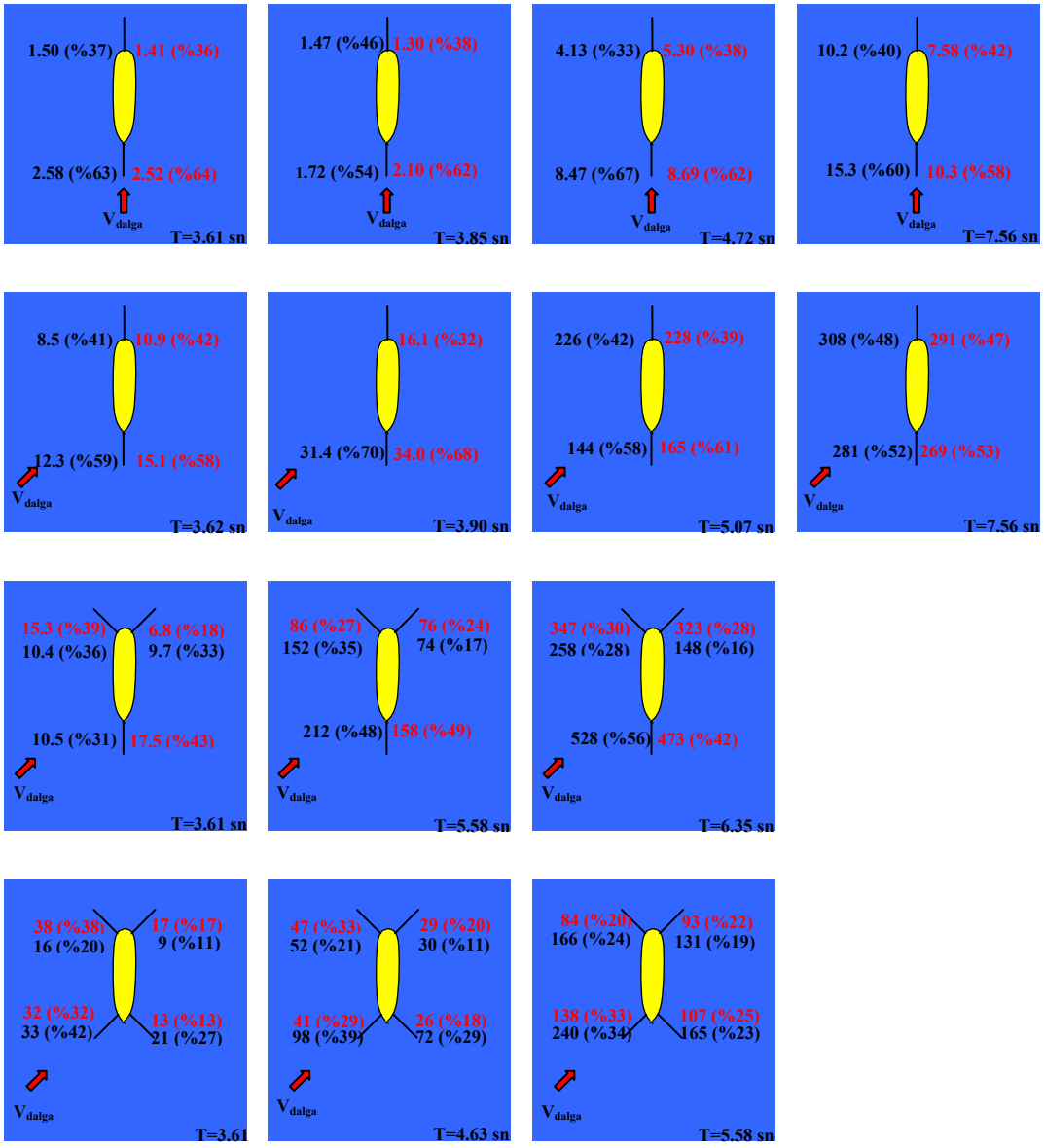
Bağlama hatlarına gelen yük dağılım oranları hesaplandıktan sonra İTÜ Ata Nutku Model Deney Havuzunda yapılan deneysel çalışmaların karşılaştırılması için OrcaFlex^{TM} programı kullanılarak bağlama halatlarına gelen gerilmelerin hesabı yapılmıştır. Deney takımında kullanılan tüm kabuller programda girilmiştir. Deney ve OrcaFlex^{TM} hesaplamalarından elde edilen sonuçlar Şekil 6.14'de verilmektedir. Verilen şekillerde, kırmızı renkte verilen değerler deney sonuçlarını, siyah renkte olanlar OrcaFlex^{TM} sonuçlarını temsil etmektedir.

6.3 Sonuçlar

Bu bölümde 2, 3 ve 4 noktalı tanker bağlama sisteminde, modele baştan ve modele göre 45^0 açıyla baş sancak omuzluktan gelen sinüzoidal dalgalarda, halatlara gelen yüklerin ve yük paylaşım oranlarının hesabı için yapılan deneysel çalışmalar ve elde edilen verileri karşılaştırmak için OrcaFlex^{TM} programı ile yapılan hesaplamalardan oluşmaktadır. Bu çalışmalara ek olarak 2, 3, 4, 5 ve 6 noktadan bağlı bir tankerde baştan gelen ve modele göre 45^0 açıyla baş sancak omuzluktan gelen dalgalarda halatlara gelen yük paylaşımı, eşit halat uzunlukları için OrcaFlex^{TM} programı kullanılarak hesaplanmıştır.

2 noktadan bağlı sistemde, baştan gelen dalgalarda ve modele göre 45^0 açıyla baş sancak omuzluktan gelen dalgalarda, deney ve OrcaFlex^{TM} programı hesapları karşılaştırıldığında, gerek halat gerilme değerleri ve gerekse yük paylaşım oranları mertebe olarak birbirine çok yakın değerler vermiştir.

3 ve 4 noktalı bağlama sisteminde, modele göre 45^0 açıyla baş sancak omuzluktan gelen dalgalarda, deney ve OrcaFlex™ programı hesapları karşılaştırıldığında yük paylaşım oranları mertebe olarak birbirine yakın değerlerde hesaplanmıştır. Ancak ölçülen halat gerilme değerleri hesaplamalardan farklı bulunmaktadır. Bunun nedeni modelden ve havuz duvarından yansıyan dalgaların etkisi, halat stifnesi modellemesindeki belirsizlikler ve ölçüm hataları olabilir. Ancak burada hedeflenen yük paylaşım yüzdelerinin miktarı olduğu için çalışma amacına ulaşmıştır.



Şekil 6.14 : Halat gerilmeleri (kN/m) ve yük paylaşım yüzdeleri.

7. UYGULAMA

Bu çalışmada, Marmara Denizi'nin doğusunda kurulup, tanker yükleme/boşaltma işlemlerinde kullanılacak bir tesiste, rüzgar, akıntı ve dalga gibi çevresel yüklerin etkisindeki çok noktalı tanker – şamandıra bağlama sistemi için en uygun bağlama seçeneğinin seçimi problemi ele alınmıştır. En güvenilir LPG/LNG yükleme-boşaltma işleminin yapılabileceği bağlama seçeneğini seçmek için BÇÖNKV yöntemlerini içeren bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntem, BÇÖNKV yöntemlerinden bulanık AHP ve bulanık TOPSIS yöntemlerini içeren melez bir yapıya sahiptir. Önerilen yöntemin uygulama aşamaları, Bölüm 2.8'de detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

Çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sisteminde, yukarıda ifade edilen seçim probleminin yanısıra bağlama sisteminin ve bu sistemi oluşturan ana (bağlama halatı, çapa, yatak zincirleri, çabuk çözülür kanca) ve ana alt bileşenlerin risk analizini yapmak için de bir yöntem geliştirilmiştir. Klasik hata ağacı analizi (KHA) ve bulanık hata ağacı analizi (BHA) yöntemlerini içeren bu yöntemin aşamaları da Bölüm 3.4'de detaylı bir şekilde açıklanmıştır. KHA risk tayini için Relex Studio^{TM} programından faydalanılmıştır. Relex Studio^{TM}, sistem emniyet ve güvenilirlik hesaplamaları için pek çok analiz tekniğini içerisinde barındıran, geniş bir kullanım alanına sahip, etkin, güçlü ve güvenilir bir programdır.

Bu yapılan çalışmalara ilave olarak, tüm bağlama sistemi seçeneklerinde, sistemi oluşturan tüm ana ve ana alt bileşenleri risk açısından değerlendirmek için hassasiyet analizi yapılmıştır. Risk analizi ve hassasiyet analizinin yapılması, sistemin ve sistemin ana ve ana alt bileşenlerinin güçlü-zayıf yönlerini ortaya çıkaracak ve bu sonuçlar sistem tasarımcılarının sistemi ve sistem bileşenlerini yeniden gözden geçirmeleri ve bir takım değişiklikler yapmaları için yol gösterici olacaktır.

Çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemi karar verme ve risk analiz problemleri için önerilen yöntemlerin uygulamaları ve yapılan hesaplamalar aşağıdaki bölümler de verilmiştir.

7.1 Bulanık Çok Öz Nitelikli Karar Verme Yöntemi

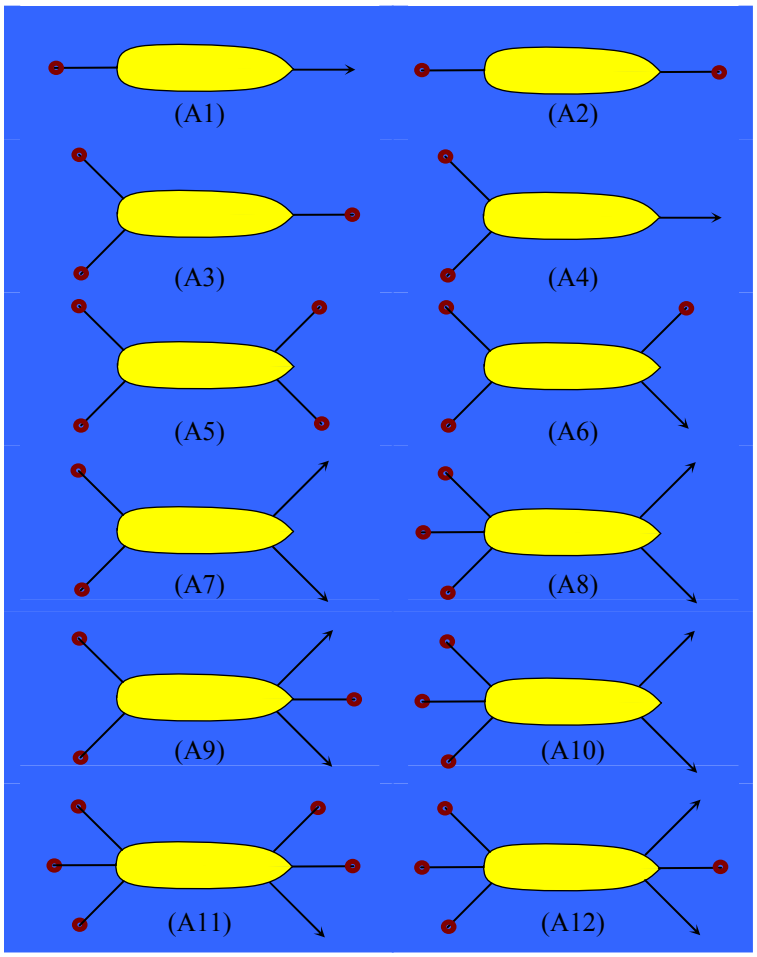
Bu bölümde, çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemi seçim probleminde kullanılacak olan melez bulanık çok öz nitelikli karar verme yönteminin uygulama aşamaları detaylı bir şekilde anlatılmaktadır.

7.1.1 Bulanık AHP yöntemi

Bulanık AHP yöntemi aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır:

1.Adım: Modelin Kurulması:

Çok noktalı tanker – şamandıra bağlama sistemi seçim probleminde, 12 farklı bağlama konfigürasyonu düşünülmüştür (Şekil 7.1 ve Çizelge 7.1). Şekil 7.1'de ok işaretleri tanker çapalarını, halka şekilleri ise şamandıraları temsil etmektedir. Bu seçenekler, Türkiye'yi çevreleyen denizlerde kullanılan veya kullanılması muhtemel olan bağlama şekillerini kapsamaktadır.



Şekil 7.1 : Çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemi seçenekleri.

Çizelge 7.1 : Çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemi seçenekleri.

	Tanker – şamandıra bağlama şekli
A1	Baş merkezde 1 çapa ve kıç merkezde 1 şamandıra
A2	Baş ve kıç merkezde 1'er şamandıra
A3	Baş merkezde 1, kıç sancak ve iskelede 1'er şamandıra
A4	Baş merkezde 1 çapa, kıç sancak ve iskelede 1'er şamandıra
A5	Baş sancak ve iskelede, kıç sancak ve iskelede 1'er şamandıra
A6	Baş sancakta 1 çapa, baş iskelede, kıç sancak ve iskelede 1'er şamandıra
A7	Baş sancak ve iskelede 1'er çapa, kıç sancak ve iskelede 1'er şamandıra
A8	Baş sancak ve iskelede 1'er çapa, kıç merkez, sancak ve iskelede 1'er şamandıra
A9	Baş sancak ve iskelede 1'er çapa, baş merkezde ve kıçta sancak, iskelede 1'er şamandıra
A10	Baş sancak ve iskelede 1'er çapa, kıçta merkezde, sancak ve iskelede 1'er şamandıra
A11	Baş sancakta 1 çapa, baş merkez ve iskelede ve kıçta merkez, sancak ve iskelede 1'er şamandıra
A12	Baş sancak ve iskelede 1'er çapa, baş merkezde ve kıçta merkez, sancak ve iskelede 1'er şamandıra

Seçeneklerin seçiminde etkili olan 9 öz nitelik vardır. En iyi bağlama sisteminin seçiminde kullanılacak olan öz nitelikler ve bunların genel karakteristikleri Çizelge 7.2'de görülmektedir. Öz nitelikler 5 maliyet ve 4 yarar/fayda tipi öz nitelikden oluşmaktadır. Öz niteliklerin değerlendirmesinde öz nitelik değeri yaklaşık 50 (approximately equal to 50), yaklaşık 145 (approximately equal to 145) gibi yaklaşık sayılardan oluşuyorsa bu tip öz nitelikler bulanık öz nitelik olarak adlandırılır. Bu tip öz niteliklerde, yaklaşık 300 oranındaki bir değer (290, 300, 310) şeklinde üçgen bulanık sayılarla ifade edilebilmektedir. Eğer, öz niteliklerin değeri orta, iyi, çok iyi, en iyi vb. şeklinde ifade ediliyorsa bu tip öz niteliklerde sözel öz nitelik olarak adlandırılmaktadır (Çizelge 7.2).

Çizelge 7.2 : Öz niteliklerin değerlendirmesi.

	Öz niteliklerin tanımlaması	Değerlendirme şekli	Öz nitelik şekli
C1	Yatırım maliyeti	Bulanık	Maliyet
C2	Bakım-tutum-servis ve işletme masrafları	Bulanık	Maliyet
C3	Tanker geometrisi/tonaji ve ana boyutları	Sözel	Yarar/Fayda
C4	Güverte donanımı özellikleri	Sözel	Yarar/Fayda
C5	Halat/Zincir gerilme miktarı	Bulanık	Maliyet
C6	Şamandıra bağlama donanımı özellikleri	Sözel	Yarar/Fayda
C7	İşlem süresi	Bulanık	Maliyet
C8	Tanker hareket miktarı	Bulanık	Maliyet
C9	Güvenilirlik	Sözel	Yarar/Fayda

Seçenek bağlama şekillerinin seçiminde etkili olan öz niteliklerin tanımları aşağıda verilmiştir.

İlk yatırım maliyeti (C1): Çok noktalı bağlama sisteminde her bağlama konfigürasyonunda mevcut olan tüm şamandıra sistemlerinin maliyetidir (bir şamandıra sistemi; şamandıra ve bağlama hattı (zincir ve aranjmanları), sinkerler ve çapalardan oluşan alt yapı sistemini içermektedir).

Bakım – tutum – servis ve işletme masrafları (C2): Çok noktalı bağlama sisteminde her bağlama konfigürasyonunda, mevcut olan tüm şamandıra sistemleri için yıllık bakım-tutum-servis ve işletme maliyetlerinin toplam değerini içermektedir.

Bağlanacak tankerin tonajı / ana boyutları / geometrisi (C3): Yükleme / boşaltma işlemleri yapılacak tankerin taşıdığı petrol miktarı, ana boyutları ve geometrisini ifade etmektedir.

Tankerin güverte donanımı özellikleri (C4): Gemi vincinin, manifoldunun ve donanımlarının konumu, manevra donanımının özelliklerini (çelik, naylon, melez vb. halatlar) ifade etmektedir.

Bağlama hatlarına gelen gerilme büyüklükleri (C5): Her bir bağlama hattına gelen maksimum gerilme miktarıdır. OrcaFlex^{TM} programında yapılan benzetimler ile hesaplanmıştır.

Şamandıraların demirleme donanımı özellikleri (C6): Tankerlerin yükleme / boşaltma istasyonlarında konumlarını korumak amacıyla kullanılacak şamandıraların alt yapı sistemi donanım özelliklerini ifade etmektedir.

Işlem süresi (C7): Her bir bağlama sistemi seçeneği için yükleme / boşaltma işlemi yapacak tankerin işlemin yapılacağı istasyona gelip, çapalarını deniz dibine sermesi ve halatlarını şamandıralara bağlaması için geçen süredir.

Tanker hareket miktarı (C8): Yükleme/boşaltma işlemi sırasında tankerin bağlı bulunduğu konuma göre yaptığı en büyük yaklaşık hareket miktarıdır. Yükleme/boşaltma işlemleri sırasında en önemli istenmeyen hareket miktarı yükleme/boşaltma ünitesine zarar verme olasılığı en yüksek olan gemi ortasında gerçekleşeceği için, BÇÖNKV hesapları yapılırken gemi ortasında gerçekleşen yaklaşık tanker hareket miktarları değerleri BÇÖNKV analizinde kullanılmıştır.

Yaklaşık hareket miktarları, OrcaFlex™ programında yapılan benzetimler ile hesaplanmıştır.

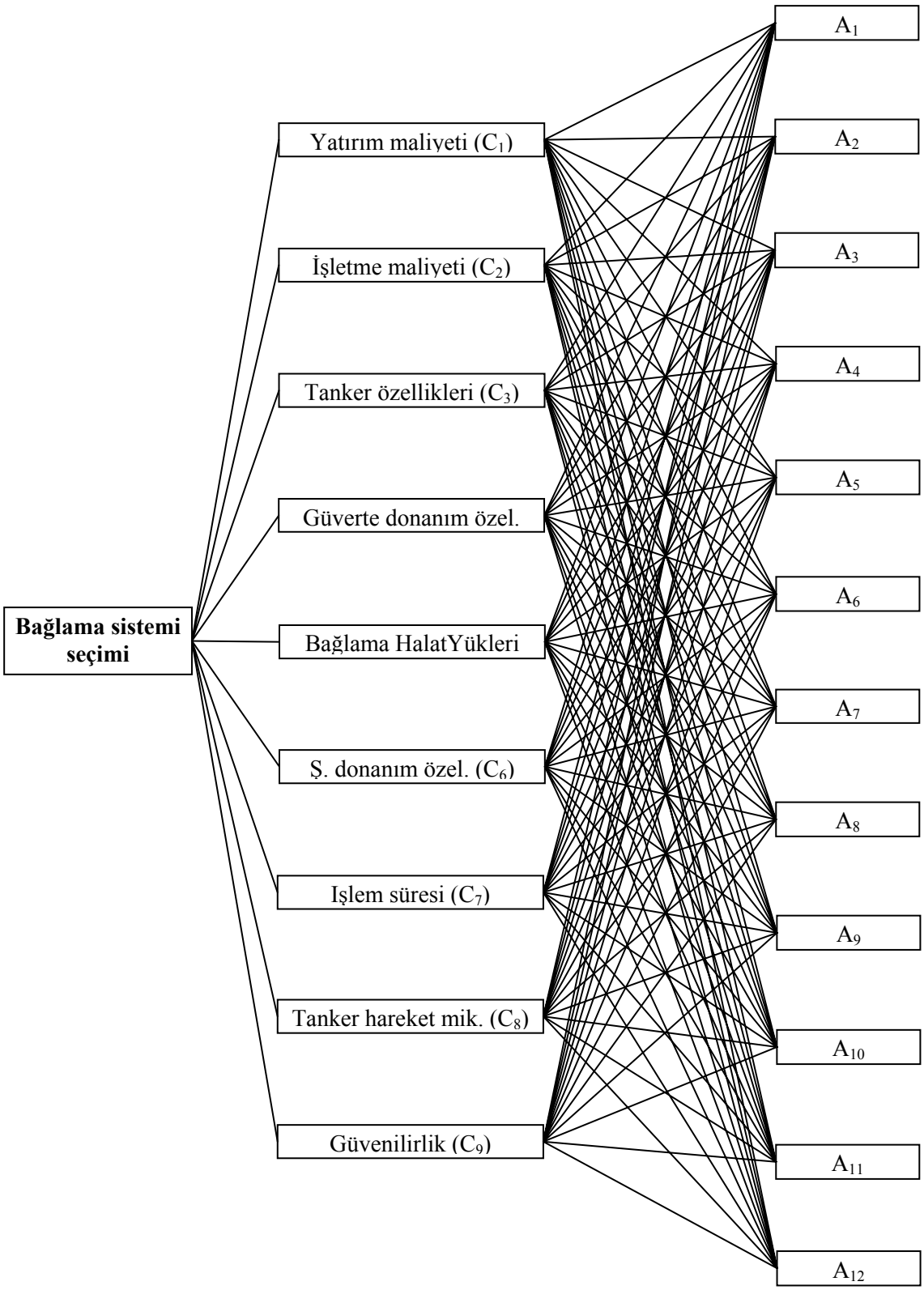
Emniyet/güvenilirlik (C9): Her bir bağlama sistemi seçeneği için emniyet/güvenilirlik derecelendirmesi bu bölümde yapılacaktır.

Çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sisteminde en uygun bağlama sisteminin seçim sürecinde, seçenekler ve öz nitelikler belirlendikten sonra, üç seviyeden oluşan bir hiyerarşik yapı oluşturulmuştur (Şekil 7.2). Bu yapı, en üstte amaç / hedef, ikinci sırada öz nitelikler ve üçüncü sırada da olası bağlama seçeneklerinden oluşmaktadır.

Seçeneklerin ve öz niteliklerin ağırlık tayininde, karar vericilerin görüşlerine başvurulmuştur. Fikirlerine başvurulan KV sayısı 10 olup, bunlardan 4'ü bağlama sistemi tasarımcısı, 1'i load master, 5'i uzak yol tanker kaptanıdır (tecrübesi 2 ile 8 yıl arasında değişen). Söz konusu olan 9 öz niteliğin ve 9 öz nitelik bazında 12 seçeneğin ikili karşılaştırma skorlarını elde etmek için, bir anket hazırlanarak KV'lerden bu anketi doldurmaları istenmiştir (EK E). KV'lerden gelen ikili karşılaştırma skorları, BÇÖNKV yöntemleri ile hesap yapabilmek için, her KV için matris formunda oluşturulmuştur.

Karar vericilerden, öz nitelik bazında seçeneklerin ağırlıklandırmasında, bağlama hatlarına gelen gerilme büyüklükleri (C5) ve tanker hareket miktarı (C8) öz nitelikleri için, mevcut seçeneklerin ağırlıklandırmalarını yapmamaları istenmiştir. Karar vericilerin bu iki öz niteliğe göre ağırlıklandırmaları bu öz niteliklerin belirgin-bulanık özellikleri içermesi nedeniyle çok zor olduğundan, C5 ve C8 için bu ağırlık değerleri OrCaFlex™ benzetim hesaplamaları ile elde edilmiştir. Her bir bağlama sistemi seçeneğinde, en büyük tonajdaki tanker (Tanker C) için hesaplanan en büyük hat gerilmesi değeri o bağlama sistemi seçeneği için C5 ağırlığı olarak kabul edilmiş ve karar matrisinde uygun yere yerleştirilmiştir. Tanker hareket miktarı içinde, yine en büyük tonajdaki tanker (Tanker C) için hesaplanan gemi ortasındaki en büyük hareket miktarı, o bağlama sistemi seçeneği için C8 ağırlığı olarak kabul edilmiş ve karar matrisinde uygun yere yerleştirilmiştir.

Örnek olarak, KV1 için öz niteliklerin ikili karşılaştırma matrisi Çizelge 7.3'de, öz nitelik bazında seçeneklerin ikili karşılaştırma matrisi de Çizelge 7.4'de verilmiştir.



Şekil 7.2 : Tanker-şamandıra sistemi seçimi hiyerarşi ağacı.

Çizelge 7.3 : KV1 için öz nitelik ikili karşılaştırma matrisi.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
C1	1	9	9	9	9	9	9	9	9
C2	1/9	1	1	1	1	1/9	1/9	1	1/9
C3	1/9	1	1	1	1	1/9	1/9	1	1/9
C4	1/9	1	1	1	9	1/9	1/9	1	1/9
C5	1/9	1	1	1/9	1	9	1/9	1	1/9
C6	1/9	9	9	9	1/9	1	9	1	1/9
C7	1/9	9	9	9	9	1/9	1	9	1/9
C8	1/9	1	1	1	1	1	1/9	1	1/9
C9	1/9	9	9	9	9	9	9	9	1

Çizelge 7.4 : KV1 için öz nitelik bazında seçeneklerin ikili karşılaştırma matrisi.

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
C1	~150	~300	~450	~300	~600	~450	~300	~600	~450	~450	~750	~600
C2	10	12	18	22	24	18	12	24	18	18	30	24
C3	1	1	5	3	7	5	3	7	7	9	9	9
C4	1	3	5	3	7	5	3	7	7	9	4	5
C5	~714	~725	~706	~690	~424	~417	~398	~313	~387	~240	~252	~225
C6	1	1	5	3	7	5	3	7	3	9	9	9
C7	4	2	3	5	4	6	9	7	12	8	11	13
C8	~74	~81	~45	~45	~34	~32	~26	~28	~25	~21	~19	~22
C9	3	1	1	1	1	5	5	7	5	7	9	7

Çizelge 7.4'de C1 değerleri (*1000$), C2 değerleri (*1000 TL), C5 değerleri (ton), C7 değerleri (birim süre) ve C8 değerleri (metre) olarak verilmiştir.

2.Adım: Bulanık İkili Karşılaştırma Matrisinin Değerlendirmesi:

Uzmanlardan elde edilen sözel verilerin, bulanık ortamda çözümünü elde etmek için, bulanık sayılara dönüştürülmesi gerekir. Bunun için, Çizelge 7.5'de verilen üçgen bulanık sayı ikili karşılaştırma ölçeği kullanılır (Şekil 2.14). Uygulanan anketlerde KV'lerden öz nitelikler için ikili karşılaştırma yapmaları istenirken,

Bir öz nitelik diğer öz niteliğe göre eşit derecede önemli ise: 1

Bir öz nitelik diğer öz niteliğe göre biraz daha önemli ise: 3

Bir öz nitelik diğer öz niteliğe göre güçlü derecede daha fazla önemli ise: 5

Bir öz nitelik diğer öz niteliğe göre çok güçlü derecede daha fazla önemli ise: 7

Bir öz nitelik diğer öz niteliğe göre kesinlikle daha fazla önemli ise: 9

puanlarını vermeleri istenmiştir. Ayrıca bu verilen skalanın ara değerleri içinde 2,4,6,8 değerlerini vermeleri istenmiştir. Bu değerlere göre oluşturulan ikili karşılaştırma matrisleri, Çizelge 7.5 kullanılarak üçgen bulanık sayılara dönüştürülmektedir.

Çizelge 7.5 : Üçgen bulanık sayı ikili karşılaştırma ölçeği.

Bulanık sayı	Üçgen bulanık sayı
Eşit derecede önemli	(1.00,1.00,1.25)
Biraz daha önemli	(1.25,1.50,1.75)
Güçlü derecede daha fazla önemli	(1.75,2.00,2.25)
Çok güçlü derecede daha fazla önemli	(2.25,2.50,2.75)
Kesinlikle daha fazla önemli	(2.75,3.00,3.00)

KV1, için Çizelge 7.3 de verilen öz nitelik ikili karşılaştırma matrisi, Çizelge 7.5 de verilen dönüşüm ölçeği kullanılarak, Çizelge 7.6'de verilen üçgen bulanık sayılar elde edilir. Tüm karar vericilerer için elde edilen üçgen bulanık sayı değerleri EK F'de verilmiştir.

Çizelge 7.6 : KV1 için öz niteliklerin üçgen bulanık sayı değerleri.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
C1	(1,1,1)	(2.75,3,3)	(2.75,3,3)	(2.75,3,3)	(2.75,3,3)	(2.75,3,3)	(2.75,3,3)	(2.75,3,3)	(2.75,3,3)
C2	(0.3,0.3,0.4)	(1,1,1)	(1,1,1.25)	(1,1,1.25)	(1,1,1.25)	(0.3,0.3,0.4)	(0.3,0.3,0.4)	(1,1,1.25)	(0.3,0.3,0.4)
C3	(0.3,0.3,0.4)	(0.8,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1.25)	(1,1,1.25)	(0.3,0.3,0.4)	(0.3,0.3,0.4)	(1,1,1.25)	(0.3,0.3,0.4)
C4	(0.3,0.3,0.4)	(0.8,1,1)	(0.8,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1.25)	(0.3,0.3,0.4)	(0.3,0.3,0.4)	(1,1,1.25)	(0.3,0.3,0.4)
C5	(0.3,0.3,0.4)	(0.8,1,1)	(0.8,1,1)	(0.3,0.3,0.4)	(1,1,1)	(2.75,3,3)	(0.3,0.3,0.4)	(1,1,1.25)	(0.3,0.3,0.4)
C6	(0.3,0.3,0.4)	(2.75,3,3)	(2.75,3,3)	(2.75,3,3)	(0.3,0.3,0.4)	(1,1,1)	(2.75,3,3)	(1,1,1.25)	(0.3,0.3,0.4)
C7	(0.3,0.3,0.4)	(2.75,3,3)	(2.75,3,3)	(2.75,3,3)	(2.75,3,3)	(0.3,0.3,0.4)	(1,1,1)	(2.75,3,3)	(0.3,0.3,0.4)
C8	(0.3,0.3,0.4)	(0.8,1,1)	(0.8,1,1)	(0.8,1,1)	(0.8,1,1)	(0.8,1,1)	(0.3,0.3,0.4)	(1,1,1)	(0.3,0.3,0.4)
C9	(0.3,0.3,0.4)	(2.75,3,3)	(2.75,3,3)	(2.75,3,3)	(2.75,3,3)	(2.75,3,3)	(2.75,3,3)	(2.75,3,3)	(1,1,1)

3.Adım: Bulanık sentetik genişleme değeri:

Uzman anketlerinden elde edilen ve üçgen bulanık sayılara dönüştürülen öz niteliklerin ikili karşılaştırma matrisleri denklem (2.23) kullanılarak matrislerin sentetik değerleri hesaplanır. Daha sonra denklem (2.27) ile matrislerin tersi elde edilir. KV1 için bu işlemleri yaparsak,

$A=(l,m,u)$ şeklindeki üçgen bulanık sayılar için önce her öz niteliğin toplam üçgen bulanık sayı değeri hesaplanır. Tüm karar vericiler için hesaplanan öz nitelik toplam üçgen bulanık sayı değerleri EK G'de, KV1 için Çizelge 7.7'de verilmiştir. KV1 için C_1 öz niteliğinin toplamsal ücgensel sayı değeri hesabı,

$$C_1(l)=1.00+2.75+2.75+2.75+2.75+2.75+2.75+2.75+2.75=23$$

$$C_1(m)=1+3+3+3+3+3+3+3+3=25$$

$$C_1(u)=1+3+3+3+3+3+3+3+3=25$$

şeklindedir. KV1 için aynı şekilde bu hesaplamalar C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8 ve C9 öz nitelikleri içinde yapılırsa (Çizelge 7.7)' de verilen toplam bulanık üçgen sayı değerler, elde edilir.

Çizelge 7.7 : KV1 için toplam üçgen bulanık sayı değerleri.

Öz nitelikler	l	m	u
C1	23.0	25.0	25.0
C2	6.3	6.3	7.5
C3	6.1	6.3	7.2
C4	5.9	6.3	7.0
C5	7.7	8.3	8.7
C6	14.0	15.0	15.3
C7	15.8	17.0	17.1
C8	6.0	7.0	7.1
C9	20.6	22.3	22.4
toplam	105.4	113.7	117.2

Daha sonra denklem (2.27) kullanılarak her bir öz nitelik için sentetik değerler elde edilir (Çizelge 7.8). KV1 için C_1 öz niteliğinin S_{C1} sentetik değeri,

$$S_{C1} = (23,25,25) \otimes \left(\frac{1}{117.2}, \frac{1}{113.7}, \frac{1}{105.4} \right) = (0.196,0.220,0.237)$$

şeklinde hesaplanır. Aynı şekilde C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8 ve C9 öz nitelikleri için hesaplanan öz nitelik sentetik değerleri, KV1 için (Çizelge 7.8)'de verilmektedir. Tüm karar vericiler için elde edilen üçgen bulanık sayı değerleri EK H'de verilmiştir.

Çizelge 7.8 : KV1 için öz niteliklerin sentetik değerleri.

Sentetik değerler	l	m	u
SC1	0.196	0.220	0.237
SC2	0.054	0.056	0.071
SC3	0.052	0.056	0.068
SC4	0.051	0.056	0.066
SC5	0.066	0.073	0.083
SC6	0.119	0.132	0.146
SC7	0.134	0.150	0.162
SC8	0.051	0.062	0.067
SC9	0.176	0.196	0.212

4.Adım: Öz niteliklerin Durulaştırılması:

Öz niteliklerin ağırlık vektörlerini hesaplamak için denklem (2.16)'da verilen Liou ve Wang (1992)'ın toplam integral değeri yöntemi kullanılır. Bu yöntem kullanılarak her KV için öz nitelik ağırlık vektörleri hesaplanır (Çizelge 7.9). KV1 için C_1 öz niteliğinin ağırlık vektörünün hesabı,

$$V_{C1} = \frac{1}{2}\left[\frac{1}{2}(0.220 + 0.237) + (1 - 0.5).(0.196 + 0.220) \right] = 0.218$$ şeklindedir.

Çizelge 7.9 : Her KV için öz nitelik ağırlıkları.

	V_{C1}	V_{C2}	V_{C3}	V_{C4}	V_{C5}	V_{C6}	V_{C7}	V_{C8}	V_{C9}
KV 1	0.218	0.059	0.058	0.057	0.074	0.132	0.149	0.060	0.195
KV 2	0.185	0.118	0.087	0.086	0.100	0.063	0.079	0.080	0.212
KV 3	0.127	0.111	0.140	0.159	0.077	0.116	0.080	0.079	0.121
KV 4	0.137	0.160	0.108	0.088	0.116	0.134	0.074	0.048	0.146
KV 5	0.120	0.043	0.159	0.078	0.108	0.089	0.076	0.137	0.199
KV 6	0.137	0.046	0.180	0.087	0.136	0.082	0.051	0.129	0.161
KV 7	0.068	0.050	0.157	0.148	0.111	0.101	0.079	0.104	0.192
KV 8	0.141	0.058	0.170	0.091	0.085	0.108	0.072	0.102	0.184
KV 9	0.115	0.065	0.156	0.077	0.089	0.100	0.091	0.125	0.190
KV10	0.095	0.118	0.136	0.094	0.097	0.100	0.035	0.095	0.233

7.1.2 Bulanık TOPSIS yöntemi

Bulanık TOPSIS yönteminin aşamaları aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır:

1.Adım: Öz niteliklere göre seçeneklerin matris formlarını oluşturma:

KV1 için Çizelge 7.4'de ve diğer karar vericiler için EK F'de verilen her öz nitelik için seçeneklerin ikili karşılaştırma matrisleri bulanık sayılara dönüştürülür. Bunun için Çizelge 7.5'deki üçgen dönüşüm ölçeği kullanılır. KV1 için öz nitelik bazında seçeneklerin elde edilen üçgen bulanık sayı değerleri Çizelge 7.10'de verilmektedir. Diğer KV'ler için elde edilen üçgen bulanık sayı değerleri EK I'da verilmiştir.

2.Adım:Bulanık matrisin normalizasyonu:

Her bir KV için elde edilen bulanık matrislerin normalize edilebilmesi için başlangıçta öz nitelikler kar/fayda ya da maliyet tipi öz nitelik olarak gruplandırılmalıdır. Çizelge 7.2'de öz niteliklerin ne çeşitte olduğu belirlenmiştir. Kar/fayda tipi öz nitelikler için denklem (2.38), maliyet tipi öz nitelikler için denklem (2.39) kullanılarak normalizasyon işlemi yapılır. Bu işlem her KV için gerçekleştirilir. KV1 için normalize edilmiş matris değerleri Çizelge 7.11'de verilmektedir. Tüm KV'ler için elde edilen değerler EK J'da verilmiştir.

3.Adım:Ağırlıklandırılmış normalize matris:

Seçeneklerin her öz nitelikden aldığı değerler, o öz niteliklerin ağırlıkları ile çarpılarak ağırlıklandırılmış normalize matris değerleri elde edilir. Bu işlem için denklem (2.40) kullanılır. KV1 için normalize edilmiş değerler Çizelge 7.12'da verilmektedir.

Çizelge 7.10 : KV1 için üçgen bulanık sayı değerleri.

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
C1	(142,150,158)	(285,300,315)	(427,450,473)	(285,300,315)	(570,600,630)	(427,450,473)	(285,300,315)	(570,600,630)	(427,450,473)	(427,450,473)	(712,750,788)	(570,600,630)
C2	(8,10,12)	(10,12,14)	(16,18,20)	(10,12,14)	(22,24,26)	(16,18,20)	(10,12,14)	(22,24,26)	(16,18,20)	(16,18,20)	(28,30,32)	(22,24,26)
C3	(1,1,1.3)	(1,1,1.3)	(1.8,2,2.3)	(1.3,1.5,1.8)	(2.3,2.5,2.8)	(1.8,2,2.3)	(1.3,1.5,1.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.8,3,3)	(2.8,3,3)	(2.8,3,3)
C4	(1,1,1.3)	(1.3,1.5,1.8)	(1.8,2,2.3)	(1.3,1.5,1.8)	(2.3,2.5,2.8)	(1.8,2,2.3)	(1.3,1.5,1.8)	(2.3,2.5,2.8)	(1.3,1.5,1.8)	(2.8,3,3)	(2.8,3,3)	(2.8,3,3)
C5	(678,714,750)	(689,725,761)	(671,706,741)	(655,690,725)	(403,424,445)	(396,417,438)	(378,398,418)	(297,313,329)	(368,387,406)	(228,240,252)	(239,252,265)	(214,225,236)
C6	(1,1,1.3)	(1,1,1.3)	(1.8,2,2.3)	(1.3,1.5,1.8)	(2.3,2.5,2.8)	(1.8,2,2.3)	(1.3,1.5,1.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.8,3,3)	(1.5,1.8,2)	(1.8,2,2.3)
C7	(3,4,5)	(1,2,3)	(2,3,4)	(4,5,6)	(3,4,5)	(5,6,7)	(8,9,10)	(6,7,8)	(11,12,13)	(7,8,9)	(10,11,12)	(12,13,14)
C8	(66,74,78)	(77,81,85)	(43,45,47)	(43,45,47)	(32,34,36)	(30,32,34)	(26,27,28)	(27,28,29)	(24,25,26)	(20,21,22)	(18,19,20)	(21,22,23)
C9	(1.3,1.5,1.8)	(1,1,1.3)	(1,1,1.3)	(1,1,1.3)	(1,1,1.3)	(1.8,2,2.3)	(1.8,2,2.3)	(2.3,2.5,2.8)	(1.8,2,2.3)	(2.3,2.5,2.8)	(2.8,3,3)	(2.3,2.5,2.8)

Çizelge 7.11 : KV1 için normalize edilmiş üçgen bulanık sayılar.

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
C1	(1,1,1)	(0.5,0.5,0.5)	(0.33,0.33,0.33)	(0.5,0.5,0.5)	(0.25,0.25,0.25)	(0.33,0.33,0.33)	(0.5,0.5,0.5)	(0.25,0.25,0.25)	(0.33,0.33,0.33)	(0.33,0.33,0.33)	(0.2,0.2,0.2)	(0.25,0.25,0.25)
C2	(1,1,1)	(0.8,0.83,0.86)	(0.5,0.56,0.6)	(0.8,0.83,0.86)	(0.36,0.42,0.46)	(0.5,0.56,0.6)	(0.8,0.83,0.86)	(0.36,0.42,0.46)	(0.5,0.56,0.6)	(0.5,0.56,0.6)	(0.29,0.33,0.38)	(0.36,0.42,0.46)
C3	(0.36,0.33,0.42)	(0.36,0.33,0.42)	(0.64,0.67,0.75)	(0.45,0.5,0.58)	(0.82,0.83,0.92)	(0.64,0.67,0.75)	(0.45,0.5,0.58)	(0.82,0.83,0.92)	(0.82,0.83,0.92)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)
C4	(0.36,0.33,0.42)	(0.45,0.5,0.58)	(0.64,0.67,0.75)	(0.45,0.5,0.58)	(0.82,0.83,0.92)	(0.64,0.67,0.75)	(0.45,0.5,0.58)	(0.82,0.83,0.92)	(0.45,0.5,0.58)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)
C5	(0.32,0.32,0.31)	(0.31,0.31,0.31)	(0.32,0.32,0.32)	(0.33,0.33,0.33)	(0.53,0.53,0.53)	(0.54,0.54,0.54)	(0.57,0.57,0.56)	(0.72,0.72,0.72)	(0.58,0.58,0.58)	(0.94,0.94,0.94)	(0.9,0.89,0.89)	(1,1,1)
C6	(0.36,0.33,0.42)	(0.36,0.33,0.42)	(0.64,0.67,0.75)	(0.45,0.5,0.58)	(0.82,0.83,0.92)	(0.64,0.67,0.75)	(0.45,0.5,0.58)	(0.82,0.83,0.92)	(0.82,0.83,0.92)	(1,1,1)	(0.55,0.58,0.67)	(0.64,0.67,0.75)
C7	(0.33,0.5,0.6)	(1,1,1)	(0.5,0.67,0.75)	(0.25,0.4,0.5)	(0.33,0.5,0.6)	(0.2,0.33,0.43)	(0.13,0.22,0.3)	(0.17,0.29,0.38)	(0.09,0.17,0.23)	(0.14,0.25,0.33)	(0.1,0.18,0.25)	(0.08,0.15,0.21)
C8	(0.27,0.26,0.26)	(0.23,0.23,0.24)	(0.42,0.42,0.43)	(0.42,0.42,0.43)	(0.56,0.56,0.56)	(0.6,0.59,0.59)	(0.69,0.7,0.71)	(0.67,0.68,0.69)	(0.75,0.76,0.77)	(0.9,0.9,0.91)	(1,1,1)	(0.86,0.86,0.87)
C9	(0.45,0.5,0.58)	(0.36,0.33,0.42)	(0.36,0.33,0.42)	(0.36,0.33,0.42)	(0.36,0.33,0.42)	(0.64,0.67,0.75)	(0.64,0.67,0.75)	(0.82,0.83,0.92)	(0.64,0.67,0.75)	(0.82,0.83,0.92)	(1,1,1)	(0.82,0.83,0.92)

Çizelge 7.12 : KV1 için ağırlıklı normalize edilmiş üçgen bulanık sayılar.

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
C1	(0.22,0.22,0.22)	(0.11,0.11,0.11)	(0.07,0.07,0.07)	(0.11,0.11,0.11)	(0.05,0.05,0.05)	(0.07,0.07,0.07)	(0.11,0.11,0.11)	(0.05,0.05,0.05)	(0.07,0.07,0.07)	(0.07,0.07,0.07)	(0.04,0.04,0.04)	(0.05,0.05,0.05)
C2	(0.06,0.06,0.06)	(0.05,0.05,0.05)	(0.03,0.03,0.04)	(0.05,0.05,0.05)	(0.02,0.02,0.03)	(0.03,0.03,0.04)	(0.05,0.05,0.05)	(0.02,0.02,0.03)	(0.03,0.03,0.04)	(0.03,0.03,0.04)	(0.02,0.02,0.02)	(0.02,0.02,0.03)
C3	(0.02,0.02,0.02)	(0.02,0.02,0.02)	(0.04,0.04,0.04)	(0.03,0.03,0.03)	(0.05,0.05,0.05)	(0.04,0.04,0.04)	(0.03,0.03,0.03)	(0.05,0.05,0.05)	(0.05,0.05,0.05)	(0.06,0.06,0.06)	(0.06,0.06,0.06)	(0.06,0.06,0.06)
C4	(0.02,0.02,0.02)	(0.03,0.03,0.03)	(0.04,0.04,0.04)	(0.03,0.03,0.03)	(0.05,0.05,0.05)	(0.04,0.04,0.04)	(0.03,0.03,0.03)	(0.05,0.05,0.05)	(0.03,0.03,0.03)	(0.06,0.06,0.06)	(0.06,0.06,0.06)	(0.06,0.06,0.06)
C5	(0.02,0.02,0.02)	(0.02,0.02,0.02)	(0.02,0.02,0.02)	(0.02,0.02,0.02)	(0.04,0.04,0.04)	(0.04,0.04,0.04)	(0.04,0.04,0.04)	(0.05,0.05,0.05)	(0.04,0.04,0.04)	(0.07,0.07,0.07)	(0.07,0.07,0.07)	(0.07,0.07,0.07)
C6	(0.05,0.04,0.06)	(0.05,0.04,0.06)	(0.08,0.09,0.1)	(0.06,0.07,0.08)	(0.11,0.11,0.12)	(0.08,0.09,0.1)	(0.06,0.07,0.08)	(0.11,0.11,0.12)	(0.11,0.11,0.12)	(0.13,0.13,0.13)	(0.07,0.08,0.09)	(0.08,0.09,0.1)
C7	(0.05,0.07,0.09)	(0.15,0.15,0.15)	(0.07,0.1,0.11)	(0.04,0.06,0.07)	(0.05,0.07,0.09)	(0.03,0.05,0.06)	(0.02,0.03,0.04)	(0.02,0.04,0.06)	(0.01,0.02,0.03)	(0.02,0.04,0.05)	(0.01,0.03,0.04)	(0.01,0.02,0.03)
C8	(0.02,0.02,0.02)	(0.01,0.01,0.01)	(0.03,0.03,0.03)	(0.03,0.03,0.03)	(0.03,0.03,0.03)	(0.04,0.04,0.04)	(0.04,0.04,0.04)	(0.04,0.04,0.04)	(0.05,0.05,0.05)	(0.05,0.05,0.05)	(0.06,0.06,0.06)	(0.05,0.05,0.05)
C9	(0.09,0.1,0.11)	(0.07,0.07,0.08)	(0.07,0.07,0.08)	(0.07,0.07,0.08)	(0.07,0.07,0.08)	(0.12,0.13,0.15)	(0.12,0.13,0.15)	(0.16,0.16,0.18)	(0.12,0.13,0.15)	(0.16,0.16,0.18)	(0.2,0.2,0.2)	(0.16,0.16,0.18)

Diğer KV'ler için elde edilen ağırlıklandırılmış normalize matris değerleri EK K'de verilmiştir.

4.Adım: Pozitif İdeal ve Negatif İdeal Çözüm:

Her KV için bulanık pozitif ideal çözüm (BPİÇ) ve bulanık negatif ideal çözüm (BNİÇ) değerleri ağırlıklı normalize matrisler ve denklem (2.41) kullanılarak hesaplanır.

5.Adım: İdeal çözüme yakınsama:

Her KV için ideal çözüme pozitif ve negatif uzaklık değerleri $(D^+ \text{ ve } D^-)$, denklem (2.43) ve (2.44) kullanılarak hesaplanmıştır. (Çizelge 7.13 Çizelge 7.14).

Çizelge 7.13 : Pozitif ideal çözüme olan uzaklıklar.

	D^+									
	KV1	KV2	KV3	KV4	KV5	KV6	KV7	KV8	KV9	KV10
A1	0.426	0.310	0.336	0.289	0.521	0.418	0.496	0.438	0.433	0.420
A2	0.487	0.290	0.466	0.424	0.504	0.458	0.508	0.451	0.448	0.481
A3	0.515	0.278	0.502	0.436	0.483	0.454	0.484	0.346	0.296	0.449
A4	0.541	0.277	0.398	0.377	0.430	0.426	0.469	0.278	0.277	0.415
A5	0.499	0.260	0.365	0.353	0.373	0.361	0.295	0.206	0.191	0.382
A6	0.474	0.229	0.307	0.322	0.330	0.335	0.283	0.193	0.177	0.346
A7	0.470	0.206	0.265	0.321	0.247	0.173	0.255	0.164	0.147	0.235
A8	0.414	0.196	0.275	0.356	0.212	0.232	0.275	0.189	0.188	0.268
A9	0.461	0.210	0.372	0.358	0.189	0.203	0.210	0.134	0.181	0.214
A10	0.325	0.175	0.250	0.319	0.115	0.075	0.103	0.089	0.131	0.166
A11	0.398	0.230	0.249	0.324	0.107	0.115	0.109	0.096	0.103	0.116
A12	0.405	0.193	0.380	0.338	0.135	0.090	0.108	0.096	0.105	0.109

Çizelge 7.14 : Negatif ideal çözüme olan uzaklıklar.

	D^-									
	KV1	KV2	KV3	KV4	KV5	KV6	KV7	KV8	KV9	KV10
A1	0.329	0.189	0.359	0.344	0.112	0.136	0.127	0.129	0.12	0.178
A2	0.265	0.206	0.231	0.209	0.127	0.099	0.115	0.116	0.109	0.118
A3	0.239	0.218	0.180	0.168	0.148	0.101	0.140	0.214	0.257	0.150
A4	0.214	0.219	0.283	0.228	0.198	0.128	0.155	0.281	0.275	0.183
A5	0.256	0.236	0.275	0.225	0.255	0.191	0.324	0.353	0.362	0.215
A6	0.279	0.267	0.331	0.255	0.297	0.217	0.336	0.365	0.375	0.251
A7	0.283	0.290	0.394	0.283	0.380	0.377	0.364	0.394	0.405	0.361
A8	0.339	0.297	0.354	0.209	0.417	0.319	0.344	0.369	0.365	0.327
A9	0.291	0.284	0.251	0.233	0.439	0.347	0.408	0.424	0.371	0.380
A10	0.425	0.318	0.411	0.285	0.512	0.474	0.515	0.469	0.421	0.429
A11	0.352	0.267	0.375	0.242	0.518	0.436	0.509	0.463	0.450	0.477
A12	0.347	0.302	0.244	0.255	0.490	0.460	0.511	0.462	0.448	0.483

6.Adım: Grup agregasyonunun hesabı:

Seçeneklerin pozitif ve negatif ideal çözümleri, 10 KV için geometrik ortalamaları alınarak agregasyon değerleri elde edilir (Çizelge 7.15).

7.Adım: Sonuçların sıralanması:

Her seçenek için denklem (2.47) kullanılarak yakınsama katsayıları hesaplanılır (Çizelge 7.15). Çok noktalı bağlama sistemi seçeneklerinden baştan 2 çapa ve kıçtan 3 şamandıra ile bağlı sistem (A10) hesaplamalarda en iyi bağlama şekli olarak bulunmuştur.

Çizelge 7.15 : Grup mesafeleri, yakınsama katsayıları ve sıralama.

	Grup agregasyon mesafeleri		Yakınsama katsayısı	Sıralama
A1	0.402	0.183	0.313	10
A2	0.447	0.150	0.251	12
A3	0.415	0.175	0.297	11
A4	0.379	0.210	0.357	9
A5	0.316	0.264	0.455	8
A6	0.288	0.293	0.561	7
A7	0.235	0.350	0.599	4
A8	0.252	0.329	0.567	6
A9	0.236	0.335	0.587	5
A10	0.155	0.419	0.731	1
A11	0.161	0.397	0.712	2
A12	0.164	0.387	0.702	3

7.2 Risk Analizi Yöntemi

Bu bölümde çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemi risk analizi için geliştirilen yöntemin uygulaması verilmektedir. Önerilen yöntemin aşamaları Bölüm 3.4'de detaylı bir şekilde açıklanmıştır (Şekil 3.5).

Tanker-şamandıra bağlama sistemlerinin güvenli bir şekilde yükleme/boşaltma işlemlerini yapabilmesi olası kaza risk limitlerinin doğru bir şekilde tayin edilmesi ile mümkün olabilir. Sistem emniyetini sağlamak için izlenilen bu süreçte kazalara neden olan pek çok olası durum göz önüne alınır.

12 farklı tanker-şamandıra bağlama konfigürasyonu için kargo hattının zarar görmesi olayı zirve olay (top-event) olarak tanımlanmıştır. Kargo hattının zarar görmesinde etkili olan,

- Bağlama hattı kaybı,
- Tanker çapa kaybı,
- Şamandıra yatak zinciri kaybı,
- Şamandıra kanca kaybı,

şeklinde 4 hata şekli ana kayıp unsurları olarak belirlenmiştir.

Tanker-şamandıra sisteminde farklı dalga, rüzgar ve akıntı kombinasyonlarının hassasiyetini tahmin etmek ve sistem için risk oluşturan bileşenlerin frekans değerlerini hesaplamak için OrcaFlex™ programı kullanılarak bir grup benzetim çalışmaları yapılmıştır. Her benzetimde, ana ve alt sistem bileşenlerine etkiyen kuvvetler hesaplanmış ve bu sistem bileşenlerin kopma limit değerleri ile karşılaştırılmıştır. Bağlama halatları için bu değerler yaklaşık 1471 kN, tanker çapaları için 1850 kN, yatak zincirleri için 950 kN ve çabuk çözülür kanca için 981 kN olarak kabul edilmiştir. Bu limitleri geçen her değer bir hata olarak kabul edilmiştir.

Tanker-şamandıra sistemi risk limitlerinin belirlenmesinde kullanılacak yöntem klasik hata ağacı analizi (KHA) ve bulanık hata ağacı analizi (BHA) yöntemlerinden oluşmaktadır. Yöntemlerin uygulama safhaları aşağıda anlatılmaktadır.

7.2.1 Klasik Hata Ağacı risk analizi

Tanker-şamandıra bağlama sistemi KHA için, 7 adımdan oluşan bir yöntem geliştirilmiştir (Şekil 3.5). Önerilen yöntemin çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemi risk analizi uygulanması aşağıdaki gibidir.

Sistem modelleme ve planlama:

Kaza istatistikleri, bağlama işlemlerinde yapılan gözlemler, bağlama işlemlerinden sorumlu uzman ve personelden elde edilen verilerden, gemi hareketi nedeniyle oluşan kargo hattının zarar görmesi olayı en büyük risk olayı (top event) olarak görülmüştür.

Kargo hattının zarar görmesinde etkili olan alt sistem bileşenlerinin hata frekans oranlarının hesabı için OrcaFlex™ programı kullanılmıştır. Programda, Yarımca bölgesi için geçerli ekstrem hava koşulları ve maksimum tonajdaki tanker için (Tanker C) hesaplamalar yapılmıştır.

Çizelge 7.16 : Alt olay kayıpları.

Hata kodu	Hata
TAFc	Tanker çapa kaybı (baş merkez)
TAFfs	Tanker çapa kaybı (baş sancak
TAFfp	Tanker çapa kaybı (baş iskele
BAFfc.n	Baş merkez yatak zinciri kaybı (kuzey)
BAFfc.s	Baş merkez yatak zinciri kaybı (güney)
BAFfc.e	Baş merkez yatak zinciri kaybı (doğu
BAFfc.w	Baş merkez yatak zinciri kaybı (batı)
BAFfsb.n	Baş sancak yatak zinciri kaybı (kuzey)
BAFfsb.s	Baş sancak yatak zinciri kaybı (güney)
BAFfsb.e	Baş sancak yatak zinciri kaybı (doğu)
BAFfsb.w	Baş sancak yatak zinciri kaybı (batı)
BAFfp.n	Baş iskele yatak zinciri kaybı (kuzey)
BAFfp.s	Baş iskele yatak zinciri kaybı (kuzey)
BAFfp.e	Baş iskele yatak zinciri kaybı (kuzey)
BAFfp.w	Baş iskele yatak zinciri kaybı (kuzey)
BAFac.n	Kıç merkez yatak zinciri kaybı (kuzey)
BAFac.s	Kıç merkez yatak zinciri kaybı (güney)
BAFac.e	Kıç merkez yatak zinciri kaybı (doğu
BAFac.w	Kıç merkez yatak zinciri kaybı (batı)
BAFasb.n	Kıç sancak yatak zinciri kaybı (kuzey)
BAFasb.s	Kıç sancak yatak zinciri kaybı (güney)
BAFasb.e	Kıç sancak yatak zinciri kaybı (doğu)
BAFasb.w	Kıç sancak yatak zinciri kaybı (batı)
BAFap.n	Kıç iskele yatak zinciri kaybı (kuzey)
BAFap.s	Kıç iskele yatak zinciri kaybı (kuzey)
BAFap.e	Kıç iskele yatak zinciri kaybı (kuzey)
BAFap.w	Kıç iskele yatak zinciri kaybı (kuzey)
MLFfc	Baş merkez bağlama hattı kaybı
MLFfsb	Baş sancak bağlama hattı kaybı
MLFfp	Baş iskele bağlama hattı kaybı
MLFac	Kıç merkez bağlama hattı kaybı
MLFasb	Kıç sancak bağlama hattı kaybı
MLFap	Kıç iskele bağlama hattı kaybı
BHFfc	Baş merkez şamandıra kanca kaybı
BHFfsb	Baş sancak şamandıra kanca kaybı
BHFfp	Baş iskele şamandıra kanca kaybı
BHFac	Kıç merkez şamandıra kanca kaybı
BHFas	Kıç sancak şamandıra kanca kaybı
BHFap	Kıç iskele şamandıra kanca kaybı

Risk tanımlama:

Bir önceki adımda bahsedilen kargo hattının zarar görmesi olayı, zirve olay olarak seçilmiştir. Ana alt olay kayıpları; tanker çapa kaybı, bağlama halatı kaybı, şamandıra yatak zincirleri çapa kaybı ve şamandıra kanca kaybı olarak seçilmiştir. İnsan faktörü, malzeme, üretim, tasarım ve şamandıra yapısal hataları hesaba

katılmamıştır. Tüm bağlama şekilleri seçenekleri için eşit öneme sahip olduğu kabülü yapılmıştır. Çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemi tüm bağlama seçenekleri için geçerli olan olası hatalar Çizelge 7.16'da görülmektedir.

Hata ağacı oluşturma:

Zirve olay en tepede olmak üzere, hata ağacı diyagramı tepeden başlayarak aşağıya doğru çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemi için oluşturulmuştur. A7 için oluşturulan hata ağacı Şekil 7.3'de verilmektedir.

Frekans tayini:

Çok noktalı bağlama sistemi seçim işlemi sırasında maksimum tonajdaki tanker (TankerC) ve ekstrem hava koşulları (60 knot rüzgar, 2.5 knot akıntı ve 3 m. karakteristik dalga yüksekliği) için yapılan OrcaFlex™ benzetim çalışmaları değerleri kullanılarak her bir sistem bileşeni hata frekans değerleri tayin edilmiştir.

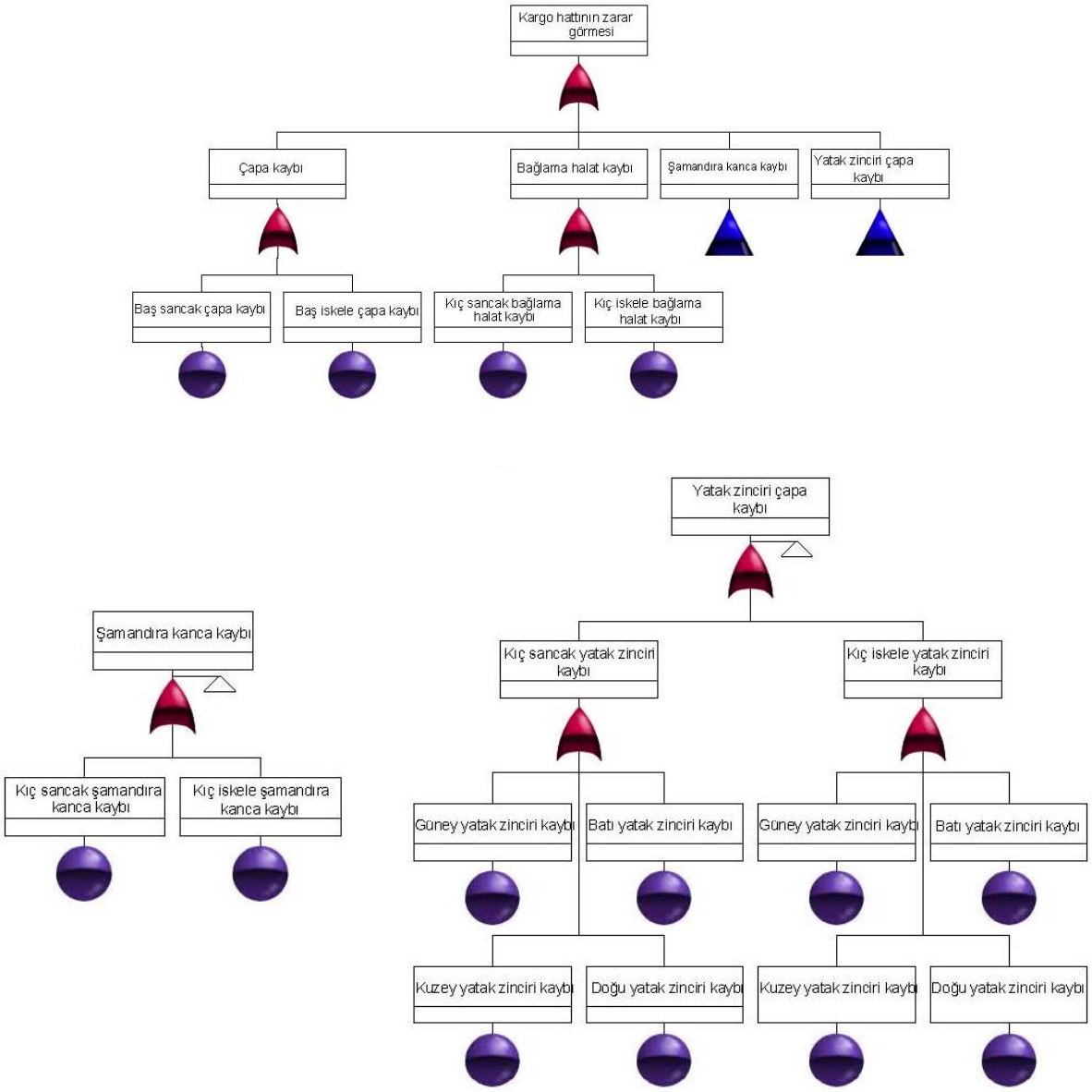
Etkin yön dilimleri için yapılan benzetimlerde elde edilen veriler kullanılarak, sistemin alt olaylarına etkiyen gerilme değerleri bu olayların maksimum dayanma gerilmeleri ile karşılaştırılmıştır. Maksimum değeri geçen her değer sistemde bir hata olarak kabul edilmiş ve tüm alt olaylar için frekans değerleri tespit edilmiştir.

Sonuç tayini:

Hesaplanan frekans değerleri, yıllık en büyük rüzgar hızlarının en büyük değerler istatistiği eğrisinde (Şekil 5.6) sistemin 20 yıllık tasarım ömrüne karşılık gelen değerle çarpılarak sistemde kayıp oluşturan tüm sistem bileşenlerin 20 yıllık işletilme ömrü için frekans değerleri hesaplanmıştır. Sonuç olarak, çok noktadan bağlı 12 farklı bağlama seçeneğinin her biri için sistemlerin tüm alt olaylarının frekans değerleri hesaplanmıştır.

Hata ağacı tabanlı risk tayini:

12 farklı bağlama seçeneği için zirve olayı olasılık değerlerinin hesabında Relex Studio™ programı kullanılmıştır. Programda her bağlama seçeneği için hata ağacı oluşturulmuş ve tüm alt olayların frekans değerleri girilmiştir. 20 yıllık servis yaşamı tanımlanmış ve her seçenek için zirve olayının olasılık değerleri (Şekil 7.3) ve bu tasarım ömrü içinde yıllara göre mevcut olmama (unavailability) ve emniyetli olmama (unreliability) değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 7.17).



Şekil 7.3 : Tanker-şamandıra bağlama sistemi hata ağacı (A7 için).

Elde edilen sonuçlardan aşağıda verilen bilgilere ulaşılmıştır:

•A1 yerine A2 seçilirse zirve olayı hata olasılığı % 5 (2 noktadan bağlı sistemler)

•A4 yerine A3 seçilirse zirve olayı hata olasılığı % 20 (3 noktadan bağlı sistemler)

•A7 yerine A5 seçilirse zirve olayı hata olasılığı % 133 (4 noktadan bağlı sistemler)

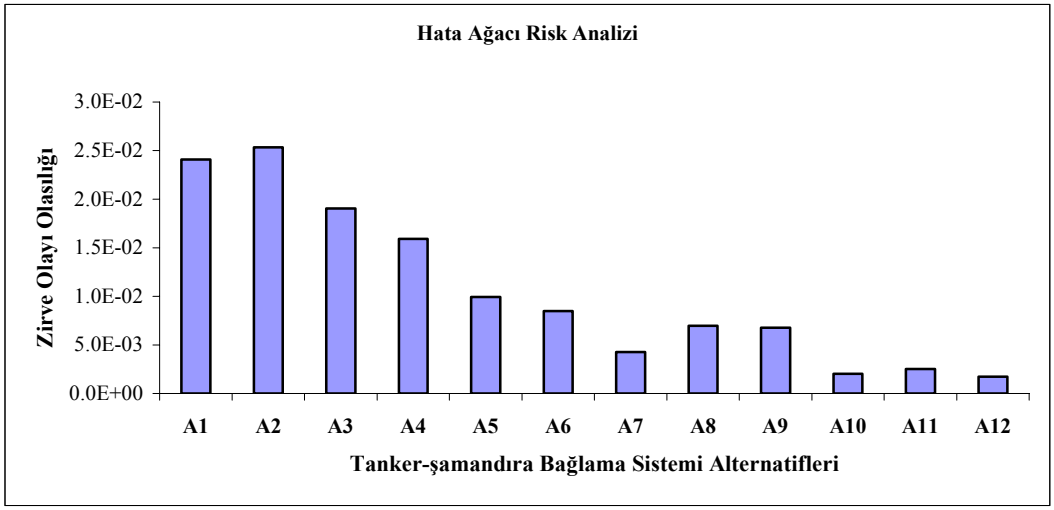
•A10 yerine A8 seçilirse zirve olayı hata olasılığı % 240 (5 noktadan bağlı sistemler)

•A12 yerine A11 seçilirse zirve olayı hata olasılığı % 45 (6 noktadan bağlı sistemler)

Tüm tanker-şamandıra bağlama seçenekleri hata olasılıkları dikkate alındığında, A12 yerine A2 seçilirse zirve olayı hata olasılığı % 1356 artış göstermektedir.

Çizelge 7.17 : Bağlama seçenekleri için güvenilir olmama değerleri.

Yıllar	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
1	2.00E-06	5.29E-03	2.00E-06	2.00E-06	9.93E-07	1.00E-06	1.60E-03	6.97E-07	6.77E-07	7.90E-07	2.53E-07	1.70E-07
2	9.00E-06	5.29E-03	7.00E-06	6.00E-06	3.81E-06	3.00E-06	1.60E-03	2.68E-06	2.60E-06	1.58E-06	9.70E-07	6.70E-07
3	1.90E-05	5.30E-03	1.50E-05	1.20E-05	7.63E-06	7.00E-06	1.60E-03	5.35E-06	5.21E-06	2.05E-06	1.94E-06	1.33E-06
4	2.80E-05	5.31E-03	2.20E-05	1.80E-05	1.14E-05	1.00E-05	1.60E-03	8.03E-06	7.81E-06	2.36E-06	2.91E-06	2.00E-06
5	3.70E-05	5.32E-03	2.90E-05	2.40E-05	1.53E-05	1.30E-05	1.60E-03	1.07E-05	1.04E-05	3.15E-06	3.88E-06	2.67E-06
6	4.60E-05	5.33E-03	3.70E-05	3.10E-05	1.91E-05	1.60E-05	1.60E-03	1.34E-05	1.30E-05	3.94E-06	4.86E-06	3.34E-06
7	5.60E-05	5.34E-03	4.40E-05	3.70E-05	2.29E-05	2.00E-05	1.61E-03	1.61E-05	1.56E-05	4.73E-06	5.83E-06	4.01E-06
8	6.50E-05	5.35E-03	5.10E-05	4.30E-05	2.67E-05	2.30E-05	1.61E-03	1.87E-05	1.82E-05	5.52E-06	6.80E-06	4.68E-06
9	7.40E-05	5.36E-03	5.90E-05	4.90E-05	3.05E-05	2.60E-05	1.61E-03	2.14E-05	2.08E-05	6.30E-06	7.77E-06	5.35E-06
10	8.30E-05	5.37E-03	6.60E-05	5.50E-05	3.44E-05	2.90E-05	1.61E-03	2.41E-05	2.34E-05	7.09E-06	8.74E-06	6.01E-06
11	9.30E-05	5.38E-03	7.30E-05	6.10E-05	3.82E-05	3.30E-05	1.61E-03	2.68E-05	2.60E-05	7.88E-06	9.71E-06	6.68E-06
12	1.02E-04	5.39E-03	8.00E-05	6.70E-05	4.20E-05	3.60E-05	1.61E-03	2.94E-05	2.86E-05	8.67E-06	1.07E-05	7.35E-06
13	1.11E-04	5.40E-03	8.80E-05	7.30E-05	4.58E-05	3.90E-05	1.62E-03	3.21E-05	3.12E-05	9.46E-06	1.17E-05	8.02E-06
14	1.20E-04	5.41E-03	9.50E-05	7.90E-05	4.96E-05	4.20E-05	1.62E-03	3.48E-05	3.38E-05	1.02E-05	1.26E-05	8.69E-06
15	1.30E-04	5.42E-03	1.02E-04	8.60E-05	5.34E-05	4.60E-05	1.62E-03	3.75E-05	3.64E-05	1.10E-05	1.36E-05	9.36E-06
16	1.39E-04	5.43E-03	1.10E-04	9.20E-05	5.72E-05	4.90E-05	1.62E-03	4.02E-05	3.90E-05	1.18E-05	1.46E-05	1.00E-05
17	1.48E-04	5.44E-03	1.17E-04	9.80E-05	6.10E-05	5.20E-05	1.62E-03	4.28E-05	4.16E-05	1.26E-05	1.55E-05	1.07E-05
18	1.57E-04	5.45E-03	1.24E-04	1.04E-04	6.49E-05	5.50E-05	1.62E-03	4.55E-05	4.42E-05	1.34E-05	1.65E-05	1.14E-05
19	1.67E-04	5.46E-03	1.32E-04	1.10E-04	6.87E-05	5.90E-05	1.63E-03	4.82E-05	4.69E-05	1.42E-05	1.75E-05	1.20E-05
20	1.76E-04	5.47E-03	1.39E-04	1.16E-04	7.25E-05	6.20E-05	1.63E-03	5.09E-05	4.95E-05	1.50E-05	1.85E-05	1.27E-05



Şekil 7.4 : Bağlama sistemlerinde zirve olayı olma olasılığı değerleri.

Risk yönetimi ve kontrol:

Sistem alt bileşenleri için elde edilen verileri gözden geçirerek, tanker-şamandıra bağlama sistemi için optimum emniyet seviyesi elde edilebilir.

7.2.2 Bulanık Hata Ağacı risk analizi

Tanker-şamandıra bağlama sistemini oluşturan tüm sistem bileşenleri dinamik bir ortamda sürekli çevresel yüklerin etkisi altında kalırlar. Böyle bir dinamik sistemde meydana gelen kazaların analizi yapılırken, olasılık değerlerini belirgin sayılarla ifade etmek doğru değildir. Bu nedenle KHA yanında, bulanık mantığı hesaba katan BHA yöntemi ile de risk analizi yapmak sistem limitlerinin doğru bir şekilde belirlenmesi için çok önemlidir.

KHA'de olduğu gibi, BHA yöntemi de 7 adımdan oluşur. Oluşturulan bu yöntemde tek fark KHA'de 6. adımda yer alan klasik 'Hata ağacı tabanlı risk tayini' hesaplamaları yerine, bu yöntemde 'Bulanık tabanlı risk analizi' hesaplamaları yapılmaktadır (Şekil 3.5).

BHA yönteminde her bağlama seçeneği için, bulanık üyelik fonksiyonları kullanılarak, bulanık sayılar yamuk bulanık olasılık skorlarına dönüştürülür. A1 için temel olayların yamuk bulanık sayılar şeklinde ifadesi Çizelge 7.18'de verilmektedir. Denklem (3.2) ve (3.4) kullanılarak, 12 seçenek için zirve olayının bulanık hata olasılık skorları elde edilir. Tüm seçenekler için temel olayların bulanık olasılık değerleri EK K'da verilmektedir.

Çizelge 7.18 : A1 için temel olayların yamuk bulanık olasılık değerleri.

Bulanık Olasılık	Bulanık sayı (yaklaşık)	Yamuk bulanık sayı			
		P_{iA}	P_{iB}	P_{iC}	P_{iD}
MLFac	0.008461	0.004231	0.006346	0.010576	0.012692
AFfc	0.003831	0.001916	0.002873	0.004789	0.005747
HFac	0.007855	0.003928	0.005891	0.009819	0.011783
BAFac.s	0.000040	0.000020	0.000030	0.000050	0.000060
BAFac.n	0.000091	0.000046	0.000068	0.000114	0.000137
BAFac.w	0.003804	0.001902	0.002853	0.004755	0.005706

Tüm bağlama seçeneklerini oluşturan ana ve ana alt bileşenlerde, sistemi oluşturan bileşenlerin bulanık olasılık değerleri denklem 3.4 kullanılarak, zirve olay hata olasılığı hesaplanır. A_1 için zirve olay hata olasılığı şu şekilde yapılır:

A_1 seçeneğinin zirve olay olma olasılığı P_{A_1} ve $P_{A_1} = (P_{A_{1a}}, P_{A_{1b}}, P_{A_{1c}}, P_{A_{1d}})$ şeklinde bir yamuk sayı ise, denklem 3.4 kullanılarak, $P_{A_{1a}}$ değeri,

$$P_{A_{1a}} = (1-(1-0.004231)*(1-0.001916)*(1-0.003928)*(1-0.00002)*$$
$$(1-0.000046)*(1-0.001902))$$
$$P_{A_{1a}} = 0.001991$$

şeklinde hesaplanır. Aynı şekilde $P_{A_{1b}}$, $P_{A_{1c}}$, $P_{A_{1d}}$ değerleri de hesaplanırsa,

$P_{A_{1b}} = 0.017944$, $P_{A_{1c}} = 0.029778$, $P_{A_{1d}} = 0.035658$ değerleri bulunur.

Çizelge 7.19 : Zirve olay olasılığı.

Seçenekler	Zirve olay olasılığı				Durulaştırma		
					Sağ skor	Sol skor	Toplam skor
A1	0.011991	0.017944	0.029778	0.035658	0.035450	0.982162	0.026644
A2	0.015277	0.022841	0.037830	0.045256	0.044922	0.977330	0.033796
A3	0.010746	0.016079	0.026672	0.031934	0.031767	0.984006	0.023881
A4	0.008223	0.012314	0.020450	0.024497	0.024398	0.987736	0.018331
A5	0.004957	0.007426	0.012348	0.014803	0.014767	0.992592	0.011088
A6	0.004234	0.006346	0.010555	0.012654	0.012627	0.993667	0.009480
A7	0.002935	0.004396	0.007318	0.008779	0.008766	0.995610	0.006578
A8	0.003482	0.005216	0.008678	0.010410	0.010392	0.994793	0.007799
A9	0.003385	0.005071	0.008442	0.010124	0.010107	0.994938	0.007585
A10	0.001027	0.001539	0.002564	0.003075	0.003073	0.998462	0.002306
A11	0.001265	0.001895	0.003154	0.003788	0.003786	0.998106	0.002840
A12	0.000871	0.001304	0.002173	0.002608	0.002607	0.998697	0.001955

Bu işlemler tüm bağlama sistemleri seçenekleri için aynı şekilde yapılarak Çizelge 7.19'da verilen zirve olayı hata olasılık değerleri elde edilir. Daha sonra, denklem

(3.8), (3.9) ve (3.10) kullanılarak bulanık olasılık skorları, belirgin sayılara dönüştürülür. Böylece 12 faklı bağlama seçeneği için zirve olay hata olasılıkları hesaplanmış olur (Çizelge 7.19 ve Şekil 7.5).

Elde edilen sonuçlardan aşağıda verilen bilgilere ulaşılmıştır:

•A1 yerine A2 seçilirse zirve olayı hata olasılığı % 27 (2 noktadan bağlı sistemler)

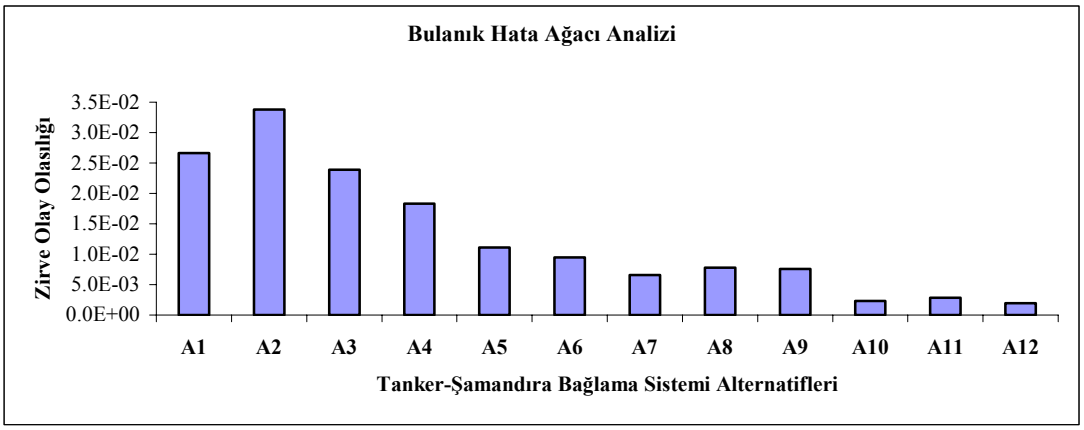
•A4 yerine A3 seçilirse zirve olayı hata olasılığı %30 (3 noktadan bağlı sistemler)

•A7 yerine A5 seçilirse zirve olayı hata olasılığı %69 (4 noktadan bağlı sistemler)

•A10 yerine A8 seçilirse zirve olayı hata olasılığı %238 (5 noktadan bağlı sistemler)

•A12 yerine A11 seçilirse zirve olayı hata olasılığı % 45 (6 noktadan bağlı sistemler)

Tüm tanker-şamandıra bağlama seçenekleri hata olasılıkları dikkate alındığında, A12 yerine A2 seçilirse zirve olayı hata olasılığı %1629 artış göstermektedir.

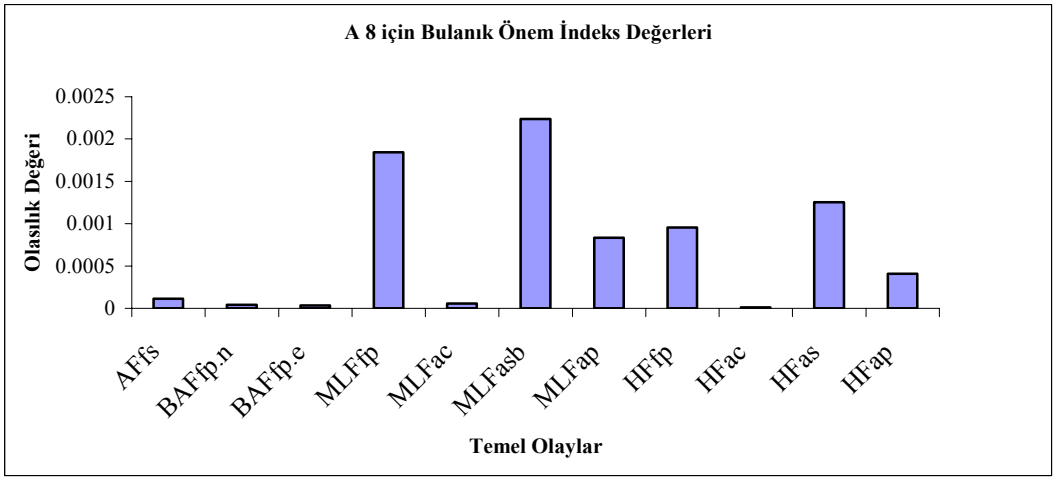


Şekil 7.5 : Zirve olay olasılığı.

7.2.3 Hassasiyet analizi

Denklem (3.11) kullanılarak hata ağacında sistem alt bileşenlerinin hata olasılık değerleri (önem dereceleri) elde edilir. Tüm bağlama sistemleri için bulunan değerler Çizelge 7.20'da görülmektedir. Ayrıca A8 için sistem alt bileşenlerin karşılaştırması grafik olarak Şekil 7.6'da görülmektedir.

Bu sonuçlardan; A1, A2, A3, A5, A6, A7, A8 ve A9 için bağlama halat kaybı, A4 için çapa kaybı, A10 ve A11 için kanca kaybı en kritik sistem alt bileşenleridir. Kaza olasılığı yüksek olan sistem bileşeninin sistem üzerindeki zararı çok büyüktür. Bu nedenle, tüm bağlama seçenekleri için, sistem alt bileşenlerinin risk limitlerini belirlemek son derece önemlidir.



Şekil 7.6 : A8 için bulanık önem göstergesi.

Çizelge 7.20 : Alt olaylar için önem göstergesi ($*10^5$).

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
AFc	419.8	-	-	379.9	-	-	-	-	-	-	-	-
AFfs	-	-	-	-	-	41.4	11.5	11.2	11.1	13.0	0.0	0.0
AFfp	-	-	-	-	-	-	0.0	-	0.0	0.0	-	0.0
BAFfc.n	-	0.0	0.0	-	-	-	-	-		-		
BAFfc.s	-	3.8	0.8	-	-	-	-	-		-		
BAFfc.e	-	336.8	310.3	-	-	-	-	-		-		
BAFfc.w	-	0.0	0.0	-	-	-	-	-		-		
BAFfsb.n	-	-	-	-	0.0	-	-	-	-	-	-	-
BAFfsb.s	-	-	-	-	3.3	-	-	-	-	-	-	-
BAFfsb.e	-	-	-	-	0.0	-	-	-	-	-	-	-
BAFfsb.w	-	-	-	-	0.0	-	-	-	-	-	-	-
BAFfp.n	-	-	-	-	0.0	0.7	-	4.3	-	-		-
BAFfp.s	-	-	-	-	0.0	0.0	-	0.0	-	-		-
BAFfp.e	-	-	-	-	0.0	0.0	-	3.4	-	-		-
BAFfp.w	-	-	-	-	0.0	0.0	-	0.0	-	-		-
BAFac.n	10.0	15.9	-	-	-	-	-	0.0	-	0.0	0.0	0.0
BAFac.s	864.3	4.6	-	-	-	-	-	0.0	-	0.0	0.0	0.0
BAFac.e	0.0	0.0	-	-	-	-	-	0.0	-	0.0	0.0	0.0
BAFac.w	416.8	257.7	-	-	-	-	-	0.0	-	0.0	0.0	0.0
BAFasb.n	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0
BAFasb.s	-	-	5.6	79.8	1.2	2.9	1.0	0.0		0.0	0.0	0.0
BAFasb.e	-	-	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0
BAFasb.w	-	-	0.0	71.8	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0
BAFap.n	-	-	0.0	50.8	36.9	22.5	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0
BAFap.s	-	-	39.3	0.0	0.0	0.0	10.2	0.0		3.8	3.0	2.0
BAFap.e	-	-	30.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0
BAFap.w	-	-	0.0	55.6	0.0	2.2	0.0	0.0		8.0	0.0	0.0
MLFfc	-	663.1	493.6	-	-	-	-	-	0.0	-	0.0	0.0
MLFfsb	-	-	-	-	189.5	-	-	-	-	-	-	-
MLFfp	-	-	-	-	108.0	165.6	-	184.3	-	-	10.8	-
MLFac	931.6	817.3	-	-	-	-	-	5.5	-	0.0	0.0	0.0
MLFasb	-	-	222.9	288.2	184.0	181.3	203.9	223.7	203.5	24.4	16.4	17.5
MLFap	-	-	28.92	364.4	170.7	182.8	178.5	83.3	248.1	37.0	71.6	25.9
HFfc	-	575.1	470.1	-	-	-	-	-	0.0	-	0.0	0.0
HFfsb	-	-	-	-	124.9	-	-	-	-	-	-	-
HFfp	-	-	-	-	55.1	84.5	-	95.5	-	-	36.5	-
HFac	864.3	257.7	-	-	-	-	-	1.0	-	0.0	0.0	0.0
HFas	-	-	194.7	245.5	96.5	114.4	117.8	125.2	116.8	32.2	32.5	23.8
HFap	-	-	224.0	289.8	135.3	147.4	133.9	40.8	164.3	119.3	113.2	2.0

7.3 Sonuçlar

Bu bölümde, çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemleri arasından en uygun bağlama şeklinin belirlenmesi için önerilen BÇÖNKV tabanlı karar verme yönteminin ve bağlama sistemleri ve bu sistemleri oluşturan ana ve alt bileşenlerin

emniyet analizi için önerilen KHA ve BHA tabanlı risk analiz yönteminin uygulamaları verilmiştir.

Başlangıçta bağlama sistemleri seçenekleri ve bu sistemlerin seçiminde etkili olan öz nitelikler belirlenmiş ve amaca uygun hiyerarşi ağacı oluşturulmuştur. Seçim işlemi için önerilen yöntem, bulanık tabanlı AHP ve TOPSIS yöntemlerinden oluşmaktadır. Çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemleri arasında en uygun bağlama sistemi olarak, baştan 2 çapa ve kıçtan 3 şamandıra ile bağlı sistem (A10), en uygun bağlama şekli olarak bulunmuştur.

Çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sisteminde en uygun bağlama sisteminin seçiminde elde edilen tercih edilme puanlara karşılaştırıldığında; A10 (baştan 2 çapa ve kıçtan 3 şamandıra ile bağlı sistem) daha az bağlama hattına sahip olmasına rağmen, A11 (Baştan 1 çapa, 2 şamandıra ve kıçtan 3 şamandıra ile bağlı sistem) ve A12 (Baştan 2 çapa, 1 şamandıra ve kıçtan 3 şamandıra ile bağlı sistem) seçeneklerine göre daha fazla tercih edilmektedir. Aynı şekilde, A7 (Baştan 2 çapa ve kıçtan 2 şamandıra ile bağlı sistem) daha az bağlama hattına sahip olmasına rağmen, A8 (Baştan 1 çapa, 1 şamandıra ve kıçtan 3 şamandıra ile bağlı sistem) ve A9 (Baştan 2 çapa, 1 şamandıra ve kıçtan 2 şamandıra ile bağlı sistem) seçeneklerine göre tercih edilmektedir. Ayrıca, beş noktadan bağlı sistemlerde; A10 (iki çapalı sistem), A8 (tek çapalı sistem)' göre, dört noktadan bağlı sistemlerde A7 (iki çapalı sistem), A5 ve A6 (tek çapalı sistem)'e göre daha fazla tercih edildiği görülmektedir.

Bağlama sistemi risk analizinde, kargo hattının zarar görmesi olayı zirve olay olarak belirlenmiş ve riski oluşturan bağlama sistemi bileşenleri, bağlama hattı kaybı, tanker çapa kaybı, şamandıra yatak zinciri kaybı ve şamandıra kanca kaybı olarak belirlenmiştir. 12 farklı bağlama seçeneği için KHA ve BHA yöntemlerini içeren risk analiz hesapları yapılmıştır. Yapılan hesaplar sonucunda, en riskli bağlama şekli olarak baştan ve kıçtan 1 şamandıra ile bağlı sistem (A2), en az riskli sistem ise baştan 2 çapa, 1 şamandıra ve kıçtan 3 şamandıralı sistem (A12) olarak elde edilmiştir. Bağlama sistemlerini oluşturan ana ve alt bileşenlerin güçlü/zayıf yönlerini ve sistemin zarar görmesinde ne kadar ağırlıklarının olduğunu görmek içinde, tüm bağlama sistemleri seçenekleri için hassasiyet analizi de yapılmıştır.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemleri için en uygun bağlama sisteminin seçiminde, BÇÖNKV tabanlı bir yöntem geliştirilmiş ve önerilmiştir. Bu yöntem, probleme uygun hiyerarşi ağacının kurulması, öz niteliklerin değerlendirilmesi, en uygun bağlama sisteminin seçimi ve tercihlerin sıralanması aşamalarında bulanık AHP ve bulanık TOPSIS yöntemlerini kullanan melez bir yapıya sahiptir.

Yöntemin uygulamasında, Yarımca bölgesinde hizmet verecek bir çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemi terminali ele alınmış ve bu terminalde kullanılabilecek 12 farklı bağlama sistemi seçeneği ve bu bağlama sistemleri seçeneklerinin seçiminde de etkili olan 9 öz nitelik tespit edilmiştir. Daha sonra, bölgenin çevre koşulları ve tanker-şamandıra bağlama sisteminin genel özellikleri belirlenerek sistemin amaca uygun matematiksel modellemesi yapılmıştır. Öz nitelik ikili karşılaştırma matrislerinin ve öz nitelik bazında mevcut seçenekler için karşılaştırma matrislerinin oluşturulması için, bağlama sistemlerinin tasarımı ve/veya kullanımı konusunda uzman olan 10 karar vericiye anketler uygulanmış ve elde edilen anket sonuçları önerilen BÇÖNKV yönteminde kullanılmıştır. Bağlama sistemleri seçeneklerinin seçiminde etkili olan öz niteliklerden 2 tanesinin (gemi hareket miktarları ve halatlara gelen gerilme değerleri) belirgin ve bulanık özellikler içermesi nedeniyle uzmanların ağırlıklandırması son derece güçtür. Bu nedenle bu iki öz nitelik için bağlama sistemlerini seçeneklerinin karşılaştırılıp ağırlıklandırılmasında, OrcaFlex™ programı ile yapılan 240 benzetim verisi kullanılmış ve elde edilen değerler karar matrislerinde uygun yerlere yerleştirilmişlerdir. Daha sonra da, önerilen yöntem de bulanık AHP ve bulanık TOPSIS yöntemleri kullanılarak en uygun çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemi seçilmiştir.

Genel bir değerlendirme yapıldığında, çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemleri için, baştan 2 çapa ve kıçtan 3 şamandıra ile bağlı sistem (A10) en iyi bağlama sistemi olarak önerilmektedir.

Önerilen yöntemin katkılarını; karar verme problemlerine yöntem olarak yapılan katkılar ve deniz endüstrisi karar verme problemlerine yaptığı katkılar olarak iki grupta incelemek mümkündür. Yöntem olarak yapılan katkıları şu şekilde sıralamak mümkündür.

1. Hiyerarşik yapının kurulması, öz niteliklerin, seçeneklerin ikili karşılaştırılma ve derecelendirme aşamalarındaki üstünlüğü ile bulanık AHP (Wang'ın bulanık AHP, Liou ve Wang'ın toplam integral değeri yöntemi), seçeneklerin seçimi ve sıralanması aşamalarında üstünlüğü ile bulanık TOPSIS (Chen'in yöntemi) yöntemlerini birleştiren melez bir yapıya sahiptir.
2. Chang'ın bulanık AHP yöntemi, öz nitelik derecelendirme safhası için önerilen formülasyonun yanlış hesaplamalar yapmasına rağmen literatürde hala sıklıkla kullanılmaktadır. Bu durumun vurgulaması ve yöntemin derecelendirme safhası için Liou ve Wang'ın integral toplamı yöntemini önermesi önemli bir katkıdır.
3. Belirgin, bulanık ve bunların karışımlarını içeren bilgiyi kullanması nedeniyle yöntemin kullanımında herhangi bir sınırlama yoktur.

Önerilen yöntemin deniz endüstrisine katkılarını ise şu şekilde sıralamak mümkündür:

1. Son derece çoklu, birbirleriyle çelişen ve klasik ÇÖNKV yöntemleriyle çözümü mümkün olmayan bağlama sistemlerinde, en uygun bağlama sisteminin seçimi için oldukça pratik ve etkili bir yöntemdir.
2. Deniz endüstrisinde belirgin, bulanık veya her ikisinin karışımını içeren veriye sahip karar verme problemlerinin çözümüne uygundur.
3. Önerilen yöntemin safhaları adım adım tanımlandığı için anlaması oldukça kolay ve son derece kullanışlı bir yöntemdir.
4. Bulanık ortamda çeşitli sayıdaki karar vericinin önerilerini işleyerek bir uzlaşım (konsensus, grup) kararı çıkartmak için uygundur.
5. Önerilen yöntem genelleştirilmiş bir şekilde verildiği için her çeşit deniz endüstrisi karar verme problemlerinde rahatlıkla kullanılabilecek esnek bir yapıya sahiptir.

Çalışmada, çok noktalı bağlama sistemleri için OrcaFlex™ programı ile yapılan dinamik hesaplamaların yanısıra, bağlama sistemlerinde halatlara gelen gerilme miktarları ve hesaplanan gerilme büyüklükleri mertebe kontrolleri için yarı-statik hesaplamalar da yapılmıştır. OrcaFlex™ ve yarı-statik hesaplamalardan elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, yük paylaşımları ve yük büyüklükleri arasında paralellikler olduğu görülmüştür. Ayrıca, İTÜ Ata Nutku Model Deney Havuzunda, 2, 3 ve 4 noktalı tanker bağlama sistemlerinde halatlara gelen yük paylaşımını görmek için bir grup deneysel çalışmalar yapılmış ve elde edilen verileri kontrol etmek için aynı deney koşulları OrcaFlex™ programında girilerek de hesaplamalar yapılmıştır. 2 noktadan bağlı sistemde, baştan gelen dalgalarda ve baş sancak omuzluktan gelen dalgalarda (modele 45^0 açılı) deney hesapları ve OrcaFlex™ hesaplarının hem yük paylaşım oranları hemde yük büyüklükleri olarak örtüştüğü görülmüştür. 3 ve 4 noktadan bağlı sistemlerde, deneysel çalışmalar ve OrcaFlex™ hesaplamaları, yük paylaşımı olarak benzer sonuçlar vermektedir. Halatlara gelen yük büyüklüklerinde ise her halat için aynı derecede benzer sonuçlar elde edilememiştir. Bu durum, deneysel çalışmalardaki eksikliklerden kaynaklanmıştır. Ayrıca, 2, 3, 4, 5 ve 6 noktalı bağlama sistemlerinde baştan ve baş sancaktan gelen dalgalar için tüm halatların yük paylaşım oranları bir fikir vermesi için, OrcaFlex™ programı kullanılarak hesaplanmıştır.

Tezde, BÇÖNKV yöntemleri kullanılarak en uygun çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemi seçimi için yapılan karar verme prosedürünün yanında, bağlama sistemlerinin risk limitlerini belirlemek için de, bir risk analizi yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntem klasik FFT ve BHA analiz yöntemlerini içerecek şekilde modellenmiştir.

KHA ve BHA yöntemlerinde 12 farklı tanker-şamandıra bağlama sistemi seçeneği için, kargo hattının zarar görmesi olayı zirve olay olarak seçilmiş ve ana alt olay kayıpları olarak da tanker çapa kaybı, bağlama halatı kaybı, şamandıra yatak zincirleri çapa kaybı ve şamandıra kanca kaybı olarak belirlenmiştir. Sistemin ana alt olaylarının ve bunlara ait alt olayların hata frekanslarını hesaplamak için OrcaFlex™ programı benzetim verileri kullanılmıştır.

12 farklı tanker-şamandıra bağlama sistemi için elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, BHA analizinde A12 yerine A2 seçilirse zirve olayı hata olasılığının %1629, KHA analizde ise A12 yerine A2 seçildiğinde zirve olayı hata

olasılığının %1356 artış gösterdiği görülmüştür. Hesaplanan KHA ve BHA sonuçları kullanılarak, bağlama şekillerine göre de (2, 3, 4, 5 ve 6 noktadan bağlı) risk artışlarını karşılaştırmak mümkündür.

Tanker-şamandıra bağlama sistemleri için tasarım ömrü 20 yıl olarak seçilmiş olup, KHA yönteminde Relex Studio^{TM} programı kullanarak, sistemin mevcut olmama / güvenilir olmama oranları da hesaplanmıştır. Bu oranlar, bu konuda çalışan uzmanlara her bir bağlama seçeneği için, sistemin 20 yıllık dayanma süresinde yıllara göre risk artışını göstermesi açısından önemlidir.

BHA yönteminde, bulanık ağırlık göstergesi (BAG) kullanılarak hata ağacında tepe olayı tetikleyen her ana ve alt olaylar için frekans değerleri hesaplanmıştır. BAG, her bir bağlama seçeneğinde, sistemi oluşturan ana ve alt bileşenlerin zayıf ve güçlü yönlerini ortaya çıkararak, sistem ve sistem bileşenlerinin analizine olanak sağlamaktadır. Bu sonuçlar, sistem tasarımı yapanlar için sistem bileşenlerini yeniden gözden geçirip, zayıf olan bileşenlerde birtakım değişiklikler yapmaları açısından oldukça önemlidir.

Bağlama sistemleri için risk limitlerinin azaltılması için aşağıdaki önlemleri alarak riski azaltmak mümkündür:

- Çapa kaybı, dikkatli çapa yerleştirme işlemleri ve deniz zeminine yeterli uzunlukta çapa zinciri sermek suretiyle,
- Bağlama halat kaybı, yeterli mukavemete sahip halatları seçerek, düzenli halat kontrol muayeneleri yaparak, bağlama işlemi sırasında halatları yeteri derecede ön gerilme vererek,
- Tanker-şamandıra bağlama sistemini oluşturan şamandıra, çabuk çözünür kanca, şamandıra çapa sistemini optimum emniyette tasarlayarak.

Yapılan risk analiz hesaplamalarında, önerilen yöntemin gerek uygulama aşamaları ve gerekse elde edilen sonuçlar, yöntemin çok kolay ve kullanışlı olduğunu göstermiştir. Çok noktalı bağlama sistemleri ve sistem bileşenlerinin risk haritasını çıkartmak amacıyla geliştirilen BHA ve KHA yöntemleri, yapılacak küçük değişikliklerle endüstride pek çok işlem sürecinde emniyet / risk analizi işlemlerinde rahatlıkla kullanılabilecek bir yapıya sahiptir.

Bulanık ortamda karar verme problemlerin çözümü için önerilen yöntemin devamı olarak gelecekte yapılabilecek çalışmaları şu şekilde özetlemek mümkündür:

1. Önerilen yöntem farklı derecelendirme ve sıralama yöntemleri ile birleştirilerek yeni yöntemlerin etki ve katkıları incelenebilir.
2. Bulanık sayıları sözel terimlerle eşleştirmek oldukça zordur. Literatürde bu konuda yapılan çalışmalar son derece azdır. Bu nedenle, sözel terimlerin semantik modellenmesi için uygun bir yöntemin geliştirilmesi BÇÖNKV problemlerinin çözümü için önemli bir katkı sağlayacaktır.
3. Karar vericiler için homojen/heterojen şeklinde bir sınıflandırma veya karar vericiler için farklı ağırlık derecelendirmeleri önerilen yönteme eklenebilir.
4. Elde edilen sonuçlar için hassasiyet analizi yapılarak karar bantları çıkartılabilir.

Bağlama sistemi için önerilen risk analiz yöntemi için de ileride yapılacak çalışmalar şu şekilde özetlenebilir:

1. Farklı risk analiz yöntemleri için hesaplamalar yapılarak yöntemin karşılaştırması yapılabilir.
2. Bağlama sistemi için önerilen risk analiz yönteminin uygulamasında insan hatası, malzeme özellikleri ve işlem kısıtlamaları vb. gibi sistemde hataya sebep olabilecek parametrelerde hesaba katılabilir.

Çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemi için sistemi oluşturan bileşenlerin gerilme değerlerinin ve tankerin hareket miktarının dinamik hesabı için tezde OrcaFlex^{TM} programı kullanılmıştır. Gelecekte bu tür hesaplamaları zaman/frekans bölgesinde yapabilecek bir program yazmak da açık deniz yapılarının analizi için önemli bir katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Abhulimen, K. E., 2009. Model for Risk and Reliability Analysis of Complex Production Systems: Application to FPSO/Flow-Riser System. *Computers and Chemical Engineering*, vol. **33**, pp. 1306-1321.

Abo-Sinna, M., Abou-El-Enien, T. H. M., 2005. An Interactive Algorithm for Large Scale Multiple Objective Programming Problems with Fuzzy Parameters through TOPSIS Approach. *Applied Mathematics and Computation*, vol. **177**(2), pp. 515-527.

ABS, 2009. *Rules for Building and Classing Steel Vessels.* Part 3, Hull Construction and Equipment.

Adamo, J. M., 1980. Fuzzy Decision Trees. *Fuzzy Sets Syst,* vol. **4**, pp. 207–220.

Aldwinckle, D. S., Lewis, K. J., 1984. Risk Analysis for Future Floating Systems. Royal Institution of Naval Architects' *International Symposium on Developments in Floating Production Systems,* no:86.

Ansari, K. H., 1999. *Mooring Dynamics of Offshore Vessels. Development in Offshore Engineering Wave Phenomena and Offshore Topics*, Chapter 5, pp. 195-255, Gulf Publishing Company, Houston, Texas.

Aranha, J. A. P., Pinto, M. O. and Leite, A. J. P., 2001a. Dynamic Tension of Cables in Random Sea: Analytical Approximation for the Envelope Probability Density Function. *Applied Ocean Research*, vol. **23**, pp. 93-101.

Aouam, T., Chang, S. I., Lee, E. S., 2003. Fuzzy MADM: An Outranking Method. *European Journal of Operational Research*, vol. **145**, pp. 317–328.

Ayağ, Z., Özdemir, R. G., 2006. A Fuzzy AHP Approach to Evaluating Machine Tool Alternatives. *J Intell Manuf,* vol. **17**, pp. 179-190.

Baar, J. J. M., Heyl, C. N., and Rodenbusch, G., 2000. Extreme Responses of Turret Moored Tankers. *Offshore Technology Conference*, OTC 12147, Houston.

Baas, S. J., Kwakernaak, H., 1977. Rating and Ranking of Multi-Aspects Alternatives Using Fuzzy Sets. *Automatica,* vol. **13**, pp. 47-58.

Bai, Y., 2003. *Marine Structural Design.* Elsevier Science Ltd., UK.

Baldwin, J. F., Guild, N. C. F., 1979. Comparison of Fuzzy Numbers on the Same Decision Space. *Fuzzy Sets and Systems,* vol. **2**, pp. 213-233.

Barltrop, N. D. P., 1998. Floating Structures: A Guide for Design and Analysis. *The Centre of Marine and Petroleum Technology*, Publication 101/98, vol. **I-II**.

Barusco, P., 1999. Mooring and Anchoring Systems Developed in Marlin Field. *Offshore Technology Conference,* OTC 10720, Houston.

Beck, R. F., Cao, Y., Lee, T., 1993. Fully Nonlinear Water Wave Computations Using the Desingularized Method. *Proc. of 6th International Symposium on Numerical Hydrodynamics*, pp. 3–20, University of Iowa, Iowa.

Bellman, R. E., Zadeh, L. E., 1970. Decision-Making in a Fuzzy Environment. *Management Science,* vol. **17**, pp. 212-223.

Bernitsas, M. M., Garza-Rios, L.O., 1996. Effect of Mooring Line Arrangement on the Dynamics of Spread Mooring Systems. *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering,* ASME Transactions, vol. **118**, no. 1, pp. 7-20.

Bernitsas, M. M., Kekridis, N. S., Papoulias, F. A., 1986. Solution of the Problem of Ship Towing by Elastic Rope Using Perturbation. *Journal of Ship Research,* vol. **30**, no. 1, pp. 51-68.

Bernitsas, M. M., Matsuura, J. P. J., 2002. Mooring System Design Based on Slow Motion Dynamics. *10th Congress of Intl. Maritime Assoc. of Mediterranean (IMAM),* Crete, Greece.

Bernitsas, M. M., Matsuura, J. P. J., Andersen, T., 2004. Mooring Dynamics Phenomena due to Slowly-Varying Wave Drift. *Transactions of the ASME,* vol. **126**, pp. 280-286.

Bernitsas, M. M., Papoulias, F. A., 1986. Stability of Single Point Mooring Systems. *Journal of Applied Ocean Research,* vol. **8**, no. 1, pp. 49-58.

Bhattacharyya, R., 1978. *Dynamics of Marine Vehicles.* John Wiley & Sons, Inc.

Bonissone, P. P., 1982. A Fuzzy Sets Based Linguistic Approach : Theory and Applications. *Approximate Reasoning in Decision Analysis,* M.M. Gupta and E. Sanchez (Eds.), pp. 329-339, North-Holland.

Bozbura, F. T., Beskese, A., 2007. Prioritization of Organizational Capital Measurement Indicators Using Fuzzy AHP. *International Journal of Approximate Reasoning,* vol. **44**, pp. 124–147.

Bozdağ, C. E., Kahraman, C., Ruan, D., 2003. Fuzzy Group Decision Making for Selection Among Computer Integrated Manufacturing Systems. *Computers in Industry,* vol. **51**, pp. 13-29.

Brans, J.P., Mareshal, B., Vincke, P., 1984. Promethee: A New Family of Outranking Methods in Multicriteria Analysis. *Proc. of the 10th IFORS International Conference on Operational Research,* J.P. Brans (Eds.), pp. 477-490, Elsevier Science Publishers, North Holland, Amsterdam.

Brown, M. G., Hall, T. D., Marr, D. G., English, M., and Snell, R. O., 2005. Floating Production Mooring Integrity JIP – Key Findings. *Offshore Technology Conference,* OTC 17499, Houston.

Buckley, J. J., 1985a. Ranking Alternatives Using Fuzzy Numbers. *Fuzzy Sets and Systems,* vol. **15**, pp. 21-31.

Buckley, J. J., 1985b. Fuzzy Hierarchical Analysis. **Fuzzy Sets and Systems,** vol. **17**, pp. 233-247.

Buckley, J. J., Chanas, A., 1989. A Fast Method of Ranking Alternatives Using Fuzzy Numbers. *Fuzzy Sets and Systems,* vol. **30**, no.3, pp. 337-339.

Byun, H.S., Lee, K.H., 2006. A Decision Support System for the Selection of a Rapid Protyping Process Using the Modified TOPSIS Method. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology,* pp. 1338-1347.

Carbono, A. J. J., Menezes, I. F. M. and Martha, L. F., 2005. Mooring Pattern Optimization Using Genetic Algorithms. *6th World Congress of Structural and Multidisciplinary Optimization,* Brazil.

Casarella, M. J., Parsons, M., 1970. Cable Systems under Hydrodynamics Loading. *Marine Technology Society Journal,* vol. **4** (4), pp. 27-44.

Celik, M., Er, I. D., Ozok, A. F., 2009a. Application of Fuzzy Extended AHP Methodology on Shipping Registry Selection: The Case of Turkish Maritime Industry. *Expert Systems with Applications,* vol. **36**, pp. 190-198.

Celik, M., Lavasani, S. M., Wang, J., 2009b. A Risk-Based Modelling Approach to Enhance Shipping Accident Investigation. *Safety Science,* vol. **48**, issue 1, pp. 18-27.

Cha, Y., Yung, M., 2003. Satisfaction Assessment of Multi-Objective Schedules Using Neural Fuzzy Methodology. *International Journal of Production Research,* vol. **41**(8), pp. 1831–1849.

Chakrabarti, S. K., 1997. Deep Water Floating Moored Systems and Their Numerical and Physical Simulation. *JNOC Workshop: Challenging Offshore Field Development,* pp. 147-187.

Chakrabarti, S. K., Cotter, D. C., 1978. Analysis of a Tower Tanker System, *Offshore Technology Conference,* Houston, Paper no. OTC-3202, pp. 1301-1310.

Chang, D. Y., 1992. Extent Analysis and Synthetic Decision, Optimization Techniques and Applications. *World Scientific,* **1**: 352, Singapore.

Chang, D. Y., 1996. Applications of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research,* vol. **95**, pp. 649–655.

Chang, J. R., Chang, K. H., Liao, S. H., Cheng, C. H., 2006. The Reliability of General Vague Fault-Tree Analysis on Weapon Systems Fault Diagnosis. *Soft Comput.* vol. **10**(7), pp. 531-542.

Chang, P. L. and Chen, Y. C., 1994. A Fuzzy Multi-Criteria Decision Making Method for Technology Transfer Strategy Selection in Biotechnology. *Fuzzy Sets and Systems,* vol. **63**, pp. 131-139.

Chen, C. T., 2000. Extensions of the TOPSIS for Group Decision Making under Fuzzy Environment. *Fuzzy Sets and Systems,* vol. **114**, pp. 1-9.

Chen, C. T., Lin, C.T. and Huang, S.F., 2006. A Fuzzy Approach for Supplier Evaluation and Selection in Supply Chain Management. *International Journal of Production Economics,* vol. **102**, pp. 289-301.

Chen, G., Pham, T.-T., 2006. *Introduction to Fuzzy Systems.* Taylor & Francis Group, LLC.

Chen, M.F., Tzeng, G. H., 2004. Combining Grey Relation and TOPSIS Concepts for Selecting an Expatriate Host Country. *Mathematical and Computer Modelling,* vol. **40**, pp. 1473–1490.

Chen, S., Fu, G., 2003. A Fuzzy Approach to the Lecotype Optimization of Offshore Platforms. *Ocean Engineering,* vol. **30**, pp. 877-891.

Chen, S.-H., 1985. Ranking Fuzzy Numbers with Maximizing Set and Minimizing Set. *Fuzzy Sets and Systems,* vol. **17**, pp. 113–129.

Chen S.-H., 1999. Ranking Generalized Fuzzy Number with Graded Mean Integration. *Proceedings of the 8th International Fuzzy Systems Association World Congress,* vol. **2**, pp. 899–902, Taipei, Taiwan, Republic of China.

Chen, S.-J., Hwang, C.-L., 1992. *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications.* Berlin, Springer.

Chen, S.-J., Chen, S.-M., 2006. Fuzzy Risk Analysis Based on the Ranking of Generalized Trapezoidal Fuzzy Numbers. *Appl. Intell.,* vol. **26**, pp. 1-11.

Chen, S. M., 1997. A New Method for Tool Steel Materials Selection under Fuzzy Environment. *Fuzzy Sets and Systems,* vol. **92**, pp. 265-274.

Chen, S. M., Ke, J. S., and Chang, J. F., 1989. Techniques for Handling Multicriteria Fuzzy Decision Making Problems, *Proc. of the 4th International Symposium on Computer and Information Sciences,* vol. **2**, pp. 919-925, Çeşme, Turkey.

Chen, T. C., 2001. A Fuzzy Approach to Select the Location of the Distribution Center. *Fuzzy Sets and Systems,* vol. **118**, pp. 65–73.

Chen, Y. W., Larbani, M., 2006. Two-Person Zero-Sum Game Approach for Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Problems. *Fuzzy Sets and Systems,* vol. **157**, pp. 34–51.

Cheng, C.-H., 1997. Evaluating Naval Tactical Missile Systems by Fuzzy AHP Based on the Grade Value of Membership Function. *European Journal of Operational Research,* vol. **96**(2), pp. 343–350.

Cheng C.-H., 1998. A New Approach for Ranking Fuzzy Numbers by Distance Method. *Fuzzy Sets Syst.,* vol. **95**(3), pp. 307–317.

Cheng, C.H., Yang, K. L., Hwang, C.-L., 1999. Evaluating Attack Helicopters by AHP Based on Linguistic Variable Weight, *European Journal of Operational Research,* vol. **116**(2), pp. 423–435.

Cheng, Y. M. and McInnis, B., 1980. An Algorithm for Multiple Attribute, Multiple Alternative Decision Problems Based on Fuzzy Sets with Application to Medical Diagnosis. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics,* vol. **10,** no.10, pp. 645-650.

Cheong, W. C., Lan Hui, L. A., 2004. Web Access Failure Analysis—Fuzzy Reliability Approach. *International Journal of the Computer,* the Internet and Management, vol. **12**(1), pp. 65–73.

Childers, M. A., 1973. Mooring Systems for Hostile Waters. *Petroleum Engineer,* pp. 58-70.

Childers, M. A., 1974a. Deep Water Mooring - Part I, Environmental Factors Control Station Keeping Methods. *Petroleum Engineer,* vol. **10**, pp. 36-58.

Childers, M. A., 1974b. Deep Water Mooring - Part II, The Ultra Deep Water Spread Mooring System. *Petroleum Engineer,* vol. **2**, pp. 108-118.

Childers, M. A., 1975. Deep Water Mooring- Part III, Equipment for Handling the Ultra Deep Water Spread Mooring System. *Petroleum Engineer,* vol. **5**, pp. 114-132.

Choobineh F, Li H., 1990: A New Index for Ranking Fuzzy Numbers. *Proceedings of the First International Symposium on Uncertainty Modelling and Analysis,* vol. **3–5**, pp. 387–391, Nebraska, USA.

Chu T.-C., 2002. Ranking Fuzzy Numbers with an Area Between the Centroid Point and Original Point. *Comput. Math. Appl.,* vol. **43**(1–2), pp. 111–117.

Chu, T.C., Lin, Y.C., 2003. A Fuzzy TOPSIS Method for Robot Selection. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology,* vol. **21**, pp. 284-290.

Chung, J., Hulbert, G. M., 1970. A time integration algorithm for structural dynamics with improved numerical dissipation: The generalized α method. *ASME Journal of Applied Mechanics,* vol. **60**, pp. 371-375.

Connaire, A., Kavanagh, K., Ahilan, R. V., Goodwin, P., 1999. Integrated Mooring and Riser Design: Analysis Methodology. *Offshore Technology Conference,* OTC10810, Houston.

Contini, S., Scheer, S. and Wilikens, M., 2000. *Sensitivity Analysis for System Design Improvement.* Joint Research Centre, Institute for Systems, Informatics and Safety, Ispra (VA), Italy.

Cummins, W. E., 1962. The Impulse Response Function and Ship Motions. *Schiffstechnik,* vol. **9**, pp. 101-109.

Daft, R. L., 1991. *Management.* The Dryden Press, 2nd Edition, USA.

Davison, N. J., Thomas, N. T., Nienhuis, U., Pinkster, J. A., 1987. Application of an Alternative Concept in Dynamic Positioning to a Tanker Floating Production System, *Offshore Technology Conference,* Houston.

De S. Maffra, S. A., C. Pacheco, M. A. C., Mota de Menezes, I. F. , 2001. Genetic Algorithm Optimization for Mooring Systems. *5th IEEE, International Conference on Intelligence Engineering Systems,* Helsinki, Stochholms.

De Kat, J. O., Wichers, J. E. W., 1991. *Behaviour of a Moored Ship in Unsteady Current, Wind, and Waves Marine Technology,* pp. 251-264.

Delgado, M., Verdegay, J. L., Villa, M. A., 1988. A Procedure for Ranking Fuzzy Numbers Using Fuzzy Relations. *Fuzzy Sets Syst.,* vol. **26**, pp. 46–92.

Deng, H., 1999. Multicriteria Analysis with Fuzzy Pair-Wise Comparison. *International Journal of Approximate Reasoning,* vol. **21**, pp. 215-231.

Deng, H., Yeh, C.-H., 2006. Simulation-Based Evaluation of Defuzzification-Based Approaches to Fuzzy Multicriteria Analysis. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernitics,* Part A: Systems and Humans, vol. **36** (5), pp. 968-977.

Deng, H., Yeh, C.-H., Willis, R. J., 2000. Inter-Company Comparison Using Modified TOPSIS with Objective Weights. *Computers & Operations Research,* vol. **27** (10), pp. 963-973.

d'Hautefeuille, B. B., 1991. Floating Production Storage and Offloading: Disconnectable or not? *SPE Asia-Pacific Conference,* Society of Petroleum Engineers, SPE 22987, Perth, Australia.

DNV, 2004. *Position Mooring.* Offshore Standards, DNV-OS-E301.

Dokas, I. M., Karras, D. A., and Panagiotakopoulos, D. C., 2009. Fault Tree Analysis and Fuzzy Expert Systems: Early Warning and Emergency Response of Landfill Operations. Environmental Modelling & Software, vol. **24**, pp. 8-25.

Dominguez, R. F., Smith, C. E., 1972. Dynamic Analysis of Cable Systems. *J. of Structural Div.,* Proc. ASCE, pp. 1817-1834.

Dubois, D., Prade, H., 1983. Ranking of Fuzzy Numbers in the Setting of Possibility Theory. *Information Sciences,* vol. **30**, pp. 183-224.

Dubois, D., Prade, H., 2000. *Fundamentals of Fuzzy Sets. The Handbooks of Fuzzy Sets Series,* pp. 343-438, Kluwer, Boston, Mass..

Dubois, D., Prade, H., Testemale, C., 1988. Weighted Fuzzy Pattern Matching, *Fuzzy Sets and Systems,* vol. **28**, pp. 313-331.

Duggal, A. S., Heyl, C. N., Vance, G. P., 2000. Global Analysis of the Terra Nova FPSO Turret Mooring System. *Offshore Technology Conference*, OTC 11914, Houston.

Efstathiou, H. J., 1979. A Practical Development of Multi-Attribute Decision Making Using Fuzzy Set Theory. *PhD Thesis,* Department of Computing, University of Durham, England.

Efstathiou, J., Tong, R., 1980. Ranking Fuzzy Sets Using Linguistic Preference Relations. *Proceeding of 10th International Symposium on Multiple-Valued Logic,* pp 137–142, Northwestern University, Evanston.

Ehlers, C., Young, A. G., and Chen, J. H., 2004. Technology Assessment of Deepwater Anchors. *Offshore Technology Conference,* OTC 16840, Houston.

Ekel, P. Y., 1999. Approach to Decision Making in Fuzzy Environment. *Computers and Mathematics with Applications,* vol. **37**, pp. 59-71.

Eleye-Datubo, E. G., Wall, A., Wang, J., 2008. Marine and Offshore Safety Assessment by Incorporative Risk Modelling in a Fuzzy-Bayesian Network of an Induced Mass Assignment Paradigm. *Risk Analysis,* vol. **28**, no 1.

Faltinsen, O. M., 1993. *Sea Loads on Ships and Offshore Structures.* Cambridge Ocean Technology Series, Cambridge University Press.

Faltinsen, O., Michelsen, F. C., 1974. Motions of Large Structures in Waves at Zero Froude Number. *Int. Symp. On the Dynamics of Marine Vehicles and Structures in Waves,* pp. 91–106, London.

Ferdous, R., Khan, F., Veitch, B., Amyotte, P., 2007. Methodology for Computer-Aided Fault Tree Analysis. *Process Safety and Environmental Protection,* vol. **85** (1), pp. 70-80.

Ferdous, R., Khan, F., Veitch, B., Amyotte, P. R., 2009. Methodology for Computer Aided Fuzzy Fault Tree Analysis. *Proc. Safety and Environmental Protection,* **88**, Article in Press.

Fernandes, A. C., Aratanha, M., 1996. Classical Assessment to the Single Point Mooring and Turret Dynamics Stability Problems, Proceedings of the *15th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering (OMAE),* Vol. **I-A**, pp. 423–430, Florence, Italy.

Figueira, J., Greco, S., Ehrgott, M., 2004. *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys.* Springer, New York.

Flory, J. F., Banfield, S. P., Petruska, D. J., 2004. Defining, Measuring, and Calculating the Properties of Fiber Rope Deepwater Mooring Lines. *Offshore Technology Conference,* OTC 16151, Houston.

Fodor, J. C., Roubens, M., 1994. *Fuzzy Preference Modelling and Multicriteria Decision Support,* Kluwer, Dordrecht.

Frank, W., 1967. *Oscillation of Cylinders in or Below the Free Surface of Deep Fluids.* NSRDC, rep. no 2375, Washington DC.

Garrett, D. L., 2005. Coupled Analysis of Floating Production Systems. *Ocean Engineering,* vol. **32**, pp. 802-816.

Gerritsma, J., Beukelman, W., 1964. The Distribution of the Hydrodynamic Forces on a Heaving and Pitching Ship Model in Still Water. *Int. Shipbuilding Progress,* no 123, pp. 506–522.

Gerritsma, J., Beukelman, W., 1972. Analysis of the Resistance Increase in Waves of a Fast Cargo Ship. *ISP.* vol. **19**, no. 217.

Gobat, J. I., Grosenbaugh, M. A., 2001. A Simple Model for Heave-Induced Dynamic Tension in Catenary Moorings. *Applied Ocean Research,* vol. **23**, pp. 159-174.

Gottlieb, O., Yim, S. C. S., 1992. Nonlinear Oscillations, Bifurcations and Chaos in a Multi-Point Mooring System with a Geometric Nonlinearity. *Applied Ocean Research,* vol. **14**, issue 4, pp. 241-257

Griffin, O. M., Rosenthal, F., 1989. Dynamics of Slack Marine Cables. *Trans. ASME, J. of Offshore Mechanics and Arctic Engineering,* vol. **III**, no. 4, pp. 298-302.

Güngör, Z., Serhadlıoğlu, G., Kesen, S. E., 2009. A Fuzzy AHP Approach to Personnel Selection Problem. *Applied Soft Computing,* vol. **9**, pp. 641-646.

Hauptmanns, U., 1988. Fault Tree Analysis for Process Industries Engineering Risk and Hazard Assessment. *Engineering Risk and Hazard Assessment,* CRC Press Inc., Florida, vol. **1**, pp. 21–59.

Hogben, N., Standing, R. G., 1974. Wave Loads on Large Bodies. *Int. Symp. on the Dynamics of Marine Vehicles and Structures in Waves,* pp. 258-277, London.

Hsu, F. H. and Blenkarn, K. A., 1970. Analysis of Peak Mooring Force Caused by Slow Vessel Drift Oscillation in Random Seas. *2nd Offshore Technology Conference,* vol. **1**, pp. 135-146.

Hwang, C. L. Yoon, K., 1981. *Multiple Attribute Decision Making Methods and Application.* Springer, New York.

Ikegami, K., Matsuura, M., 1981. Study on Motions of Floating Bodies Under Composite External Loads. *International Symposium on Hydrodynamics in Ocean Engineering,* pp. 789-876.

Inglis, R. B., Price, W. G., 1980. *Calculation of the Velocity Potential of a Translating.* Pulsating Source. Transactions R.I.N.A., vol. **123**, pp. 163–175.

Insel, M., Helvacıoglu, I. H., 1997. Manoeuvrability Analysis of Double Ended Ferries in Preliminary Design, *11th Ship Control Systems Symposium,* pp.127-141, Southampton, UK.

ISO, 2004. *Petroleum and Natural Gas Industries-Specific Requirements for Offshore Structures*, Part 7: Stationkeeping Systems for Floating Offshore Structures and Mobil Offshore Units. TC 67/SC 7.

Jacobs, W. R., 1958. The Analytical Calculation of Ship Bending Moments in Regular Waves. *Journal of Ship Research,* vol. **2**, no. 1.

Jahanshahloo, G. R., Hosseinzadeh. L. F., Izadikhah, M., 2006. An Algorithmic Method to Extend TOPSIS for Decision-Making Problems with Interval Data. *Applied Mathematics and Computation,* vol. **175**, pp. 1375–1384.

Jain, R., 1978. A Procedure for Multi-Aspect Decision Making Using Fuzzy Sets. *Int. J. Syst. Sci.,* vol.**8**, pp. 1–7.

Kahraman, C., 2008. *Fuzzy Multi-Criteria Decision Making Theory and Applications with Recent Developments.* Springer Science+Business Media, LLC.

Kahraman, C., Büyüközkan, G., Ateş, N. Y., 2007. A Two Phase Multi-Attribute Decision-Making Approach for New Product Introduction. *Information Sciences,* vol. **177**, pp. 1567-1582.

Kahraman, C., Cebeci, U., Ruan, D., 2004. Multi-Attribute Comparison of Catering Service Companies Using Fuzzy AHP: The Case of TURKEY. *International Journal of Production Economics,* vol. **87**, pp. 171–184.

Kaplan, P., Putz, R. R., 1962. *Waves and Their Influence on Construction Operation.* U.S. Naval Civil Engineering Laboratory, Port Hueneme, California.

Karsan, D., Kreinsen, M., Saricicek, M., 2009. Deepwater Black Sea Development Concepts. *17th International Petroleum and Natural Gas Congress and Exhibition of Turkey,* Ankara, Turkey.

Kat, J. O. D., Wichers, J. E. W., 1991. Behaviour of a Moored Ship in Unsteady Current, Wind and Waves. *Marine Technology,* September, pp. 251-264.

Kaufmann, A., Gupta M., 1988. *Fuzzy Mathematical Models in Engineering and Management Science,* North Holland.

Keeney, R., Raiffa, H., 1976. *Decisions with Multiple Objectives : Preferences and Values Tradeoffs,* John Wiley&Sons Inc.

Kerre E. E., 1982. The Use of Fuzzy Set Theory in Electrocardiological Diagnostics. Gupta MM, Sanchez E (eds) *Approximate Reasoning in Decision Analysis,* pp. 277–282, North-Holland, Amsterdam.

Kim, B. K., Bernitsas, M. M., 1999. Effect of Memory on the Stability of Spread Mooring Systems. *Journal of Ship Research,* vol. **43**, no. 3, pp. 157-169.

Kim, B. K., Bernitsas, M. M., 2001. Nonlinear Dynamics and Stability of Spread Mooring with Riser. *Applied Ocean Research,* vol. **23**, no. 2, pp. 111-123.

Kim, K., Park, K.G., 1990. Ranking Fuzzy Numbers with Index of Optimism. *Fuzzy Sets and Systems,* vol. **35**, pp. 143-150.

Klir, G. J., Yuan, B., 1995. *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications.* Eaglewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall.

Kolodziejczyk, W., 1986. Orlovsky's, Concept of Decision-Making with Fuzzy Preference Relation- Further Results. *Fuzzy Sets. Syst.,* vol. **19**, pp. 11–20.

Kristiansen, S., 2005. *Maritime Transportation Safety Management and Risk Analysis.* Elsevier Butterworth-Heinemann, Oxford, Burlington.

Korvin-Kroukovsky, B. V., 1955. Investigation of Ship Motions in Regular Waves, *Trans. SNAME,* vol. **63**, pp. 386-435.

Korvin-Kroukovsky, B. V., Jacobs, W. D., 1957. Pitching and Heaving Motions of a Ship in Regular Waves. *Trans. SNAME,* vol. **65**, pp. 590–632.

Kring, D., Huang, Y.-F., Sclavounos, P. D., Vada, T., Braathen, A., 1997. Nonlinear Ship Motions and Wave-Induced Load by a Rankine Method. *Proc. 21th Symposium on Naval Hydrodynamics,* pp. 45–63, Trondheim.

Kulak, O., Kahraman, C., 2005a. Multi-Attribute Comparison of Advanced Manufacturing Systems Using Fuzzy vs. Crisp Axiomatic Design Approach. *International Journal of Production Economics,* vol. **95**, pp. 415–424.

Kulak, O., Kahraman, C., 2005b. Fuzzy Multi-Attribute Selection Among Transportation Companies Using Axiomatic Design and Analytic Hierarchy Process. *Information Sciences,* vol. **170**, pp. 191–210.

Kuo, M. S., Tzeng, G.-H. and Huang, W.-C., 2007. Group Decision Making Based on Concepts of Ideal and Anti-Ideal Points in a Fuzzy Environment. *Mathematical and Computer Modeling,* vol. **45**, pp. 324-339.

Kwakernaak, H., 1979. An Algorithm for Rating of Multiple-Aspect Alternatives Using Fuzzy Sets, *Automatica,* vol. **15**, pp. 615-616.

Kwiesielewich, M., 1998. A Note on the Fuzzy Extension of Saaty's Priority Theory. *Fuzzy Sets and Systems,* vol. **95**, pp. 161-172.

Laarhoven, P. J. M., Pedrycz, W., 1983. A Fuzzy Extension of Saaty's Priority Theory. *Fuzzy Sets and Systems,* vol. **11**, pp. 229-241.

Lai, Y.-J., Hwang, C. L., 1994. *Fuzzy Multiple Objective Decision Making: Methods and Applications.* Springer, New York.

Lau, S. L., Ji, Z., Ng, C. O., 1990. Dynamics of an Elastically Moored Floating Body by the Three Dimensional Infinite Element Method. *Ocean Engineering,* vol. **17**, pp. 499-516.

Lee, E. S. and Li, R. L., 1988. Comparison of Fuzzy Numbers Based on the Probability Measure of Fuzzy Event. *Computers and Mathematics with Applications,* vol. **15**, pp. 887-896.

Lees, F. P., 1996. *Loss Prevention in the Process Industries,* 2nd Edition, vol. 1, pp. 9–13, London, UK.

Lee J.-H., Hyung L.-K., 2000. A Method for Ranking Fuzzily Fuzzy Numbers. *Proceedings of the 9th IEEE International Conference on Fuzzy Systems,* vol. *1*, pp. 71–76, Taejon, South Korea,.

Lee-Kwang H., Lee J.-H., 1999. A Method for Ranking Fuzzy Numbers and its Application to Decision-Making. *IEEE Trans Fuzzy Syst.,* vol. **7**(6), pp. 677–685.

Lee, M. Y., 1997. FPSO Mooring: Design and Regulatory Considerations. *Offshore Technology Conference,* OTC 8390, Houston.

Lee, W.-S., Grosh, D.-L., and Tillman, F.-A., Lie, C.-H., 1985. Fault Tree Analysis, Methods, and Applications: A Review. *IEEE Trans. Reliability,* vol. **34** (3), pp. 194-203.

Lee, T.-H., Cao, Y., Lin, Y.-M., 2002. Dynamic Positioning of Drilling Vessels with a Fuzzy Logic Controller. *International Journal of Systems Science,* vol. **33**, number 12, pp. 979-993.

Leonard, J. W., Nath, J. H., 1981. Comparison of Finite Element and Lumped Parameter Methods for Oceanic Cables. *Engineering Structures, IPC Business Press,* vol. **3**, pp. 153-167.

Lewis, F. M., 1929. The Inertia of Water Surrounding a Vibrating Ship. *Trans SNAME,* vol. **37**, pp. 1–20.

Liang, G. S., 1999. Fuzzy MCDM Based on Ideal and Anti-Ideal Concepts. *European Journal of Operational Research,* vol. **112**, pp. 682-691.

Liang, G. S., Wang, M. J., 1991. A Fuzzy Multi-Criteria Decision-Making Method for Facility Site Selection. *International Journal of Production Research,* vol. **29**, no.11, pp. 2313-2330.

Liang, G. S., Wang, M. J., 1993. Fuzzy Fault-Tree Analysis Using Failure Possibility. *Microelectron Reliab.,* vol. **33**(4), pp. 583-597.

Liapis, S. J., Beck, R. F., 1985. Seakeeping Computations Using Time Domain Analysis. *Proc. of 4th International Symposium on Numerical Hydrodynamics,* pp. 34–55, National Academy of Sciences, Washington D.C..

Li, D. F., 2007. Compromise Ratio Method for Fuzzy Multi-Attribute Group Decision Making. *Applied Soft Computing,* vol. **7**, pp. 807–817.

Lin, F.-T., 2002. Fuzzy Job-Shop Scheduling Based on Ranking Level (k, 1) Interval-Valued Fuzzy Numbers. *IEEE Trans Fuzzy Syst.,* vol. **10**(4), 510–522

Ling, Z., 2006. Expected Value Method for Fuzzy Multiple Attribute Decision Making. *Journal of Tsinghua Science and Technology,* vol. **11**(1), pp. 102–106.

Liou, T.S., Wang, M. J. J., 1992. Ranking Fuzzy Numbers with Integral Value. *Fuzzy Sets and Systems,* vol. **50** (3), pp. 247-255.

Lootsma, F. A., 1997. *Fuzzy Logic for Planning and Decision Making,* Kluwer Academic Publisher: Dordrecht.

Low, Y. M., Langley, R. S., 2006. Time and Frequency Domain Coupled Analysis of Deepwater Floating Production Systems. *Applied Ocean Research,* vol. **28**, pp. 371-385.

Luhandjula, M. K., 1989. Fuzzy Optimization: An Appraisal. *Fuzzy Sets and Systems,* vol. *30*, pp. 257–282.

Mabuchi, S., 1988. An Approach to the Comparison of Fuzzy Subsets with an α-cut Dependent Index. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics,* vol.**18**, no.2, pp. 264-272.

Mac Crimmon, K. R., 1968. *Decision Making Among Multiple–Attribute Alternatives: A Survey and Consolidated Approach.* RAND Memorandum RM-4823-ARPA.

Maruo, H., 1960. The Drift of a Body Floating in Waves. *Journal of Ship Research,* vol. **4**, no. 3.

Mastrangelo, C. F., 2000. One Company's Experience on Ship-Based Production System. *Offshore Technology Conference,* OTC 12053, Houston.

McCahone, C., 1987. Fuzzy Set Theory Applied to Production and Inventory Control. *Ph.D. Thesis,* Department of Industrial Engineering, Kansas State University.

McClure, B., Gay, T. A., and Slagsvold, L., 1989. Design of a Turret-Moored Production System (TUMOPS). *Offshore Technology Conference,* OTC 5979, Houston.

- **Mentes, A.**, Haziran 2000. Manevra ve Sevk Sistemi Seçiminde Bulanık Çok Kriterli Karar Verme. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yüksek Lisans Tezi,* İstanbul, Türkiye.

Miller, G. A., 1956. The Magic Number Seven, Plus or Minus Two. *Psychological Review,* vol. **63**, pp. 81-97.

MIMOSA, 2002. *User's Documentation.* MARINTEK, Trondheim.

Miyake, R., Kinoshita, T., Kagemoto, H., Zhu, T., 2000. Ship Motions and Loads in Large Waves. *23rd Symposium on Naval Hydrodynamics,* France, pp. 98–111.

Modarres M., Nezhad S.-S., 2001. Ranking Fuzzy Numbers by Preference Ratio. *Fuzzy Sets Syst.,* vol. **118**(3), pp. 429–436.

Molin, B., Bureau, G., 1980. A Simulation Model for the Dynamic Behaviour of Tankers Moored to a Single Point Moorings. *Int. Symp. Ocean Engineering and Ship Handling,* Gothenburg, Sweden.

Morris, W. T., 1964. *The Analysis of Management Decisions.* Homewood, N., Irwin.

Morrison, J. R., O'Brien, M. D., Johnson, J. W., Schaaf, S. A., 1950. The Force Exerted by Surface Waves on Piles. *Petrol Trans.*, AIME, **189**.

Muga, B., Freeman, M.A., 1977. Computer Simulation of Single Point Moorings. *Offshore Technology Conference,* OTC-2829, pp. 185-196.

Murakami, S., Maeda, S., Imamura, S., 1983. Fuzzy Decision Analysis on the Development of Centralized Regional Energy Control Systems. *Proceedings of the IFAC Symposium on Fuzzy Information, Knowledge Representation and Decision Analysis,* pp. 363–368, Pergamon Press, New York.

Nakamura K, 1986. Preference Relation on a Set of Fuzzy Utilities as a Basis for Decision Making. *Fuzzy Sets Syst.,* vol. **20**, pp. 147–162.

Nakamura, M., Koterayama, W., Kyozuka, Y., 1991. Slow Drift Damping Due to Drag Forces Acting on Mooring Lines. *Ocean Engineering,* vol. **18**, no. 4, pp. 283-296.

Nakos, D. E., Sclavounos, P. D., 1990. Steady and Unsteady Ship Wave Patterns. *Journal of Fluid Mechanics,* vol. **215**, pp. 263–288.

Nath, J. H., Felix, M. P., 1970. Dynamics of Single Point Mooring in Deep Water. J. Waterways, Harbours & Coastal Eng. Div., *Proc. ASCE,* pp. 815-833.

Nath, J. H., Thresher, R. W., 1975. Anchor-Last Deployment for Buoy Moorings. *Proc. of the Offshore Technology Conference,* Houston, Paper OTC 2364, pp. 273-283.

Negi, D. S., 1989. Fuzzy Analysis and Optimization. *PhD Thesis,* Kansas State University, Kansas, USA.

Nestegard, A., Krokstad, J. R., 1999. JIP-DEEPER: Deepwater Analysis Tools. *Offshore Technology Conference,* OTC 10811, Houston.

Newman, J. N., 1967. The Drift Force and Moment on Ships in Waves, *J. Ship Res.,* vol. **6**.

Newman, J. N., 1974. Second Order, Slowly Varying Forces on Vessels in Irregular Waves. *International Symposium in the Dynamics of Marine Vehicles in Waves,* University College, London.

Niedzwecki, J. M., Casarella, M. J., 1975. On the Design of Mooring Lines for Deep Water Applications. *ASME,* Paper no. 75-WA/OCE-1.

Noblesse, F., Yang, C., 2004. A Simple Green Function for Wave Diffraction-Radiation of Time-Harmonic Waves with Forward Speed. *Ship Technology Research,* vol. **51**, pp. 33–52.

Nojavan, M., Ghazanfari, M., 2006. A Fuzzy Ranking Method by Desirability Index. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems,* vol. **17**(1), pp. 27-34.

OCIMF, 1994. *Prediction of Wind and Current Loads on VLCCs*, Second Edition, London.

Odabaşı, A. Y., Şalcı, A., Insel, M., Özsoysal, O. A., 1992. *Choice of Propulsion System for a Double Ended Ferry.* ITU Foundation Report, İstanbul, Turkey, (In Turkish).

Odabaşı, A. Y., Söylemez, M., Yılmaz, O., İnsel, M., Helvacıoğlu, İ. H., Ünsan, Y., Bayraktarkatal, E., Özsoysal, R., 2006. *Yarımca Palamar Bağlama Sistemi Analizi.* Aygaz-P01.

Ogilvie, T. F., Tuck, E. O., 1969. *A Rational Strip Theory of Ship Motions: Part I.* The Univ. of Michigan, Coll. Of Eng., Dept. Naval Arch. & Mar. Eng., Report No 013.

Ohkusu, M., 1998. Validation of Theoretical Methods for Ship Motions by Means of Experiment. 22nd *Symposium on Naval Hydrodynamics,* Washington, pp. 341–358.

Okan, B., 2007a. Gemilerin Düşük Hızlarda Dalgalar Arasındaki Hareketlerinin İncelenmesi İçin Sayısal Bir Yöntem. İTÜ Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, Deniz Teknolojisi Bölümü, *Teknik Rapor,* TR 07/01.

Okan, B., 2007b. Ata Nutku Gemi Model Deney Havuzu Dalga Cihazı Yenileme Çalışması. İTÜ Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, Deniz Teknolojisi Bölümü *Teknik Rapor,* TR 07/02.

Olcer, A. I., Odabasi, A. Y., 2005. A New Fuzzy Multiple Attribute Group Decision Making Methodology and its Application to Propulsion/Maneuvering System Selection Problem. *European Journal of Operational Research,* vol. **166** (1), pp. 93-114.

Olcer, A. I., Tuzcu, C., Turan, O., 2005. An Integrated Multi-Objective Optimization and Fuzzy Multi-Attribute Group Decision-Making Technique for Sub-Division Arrangement of Ro-Ro Vessels. *Applied Soft Computing,* vol. **6**, issue 3, pp. 221-243.

Ong, P. P. P., Pellegrino, S., 2003. Modelling of Seabed Interaction in Frequency Domain Analysis of Mooring Cables. *22nd International Conference on Offshore Mechanics and Archtic Engineering,* Cancun, Mexico.

OrcaFlex™ User Manual, 1987-2008. *Version 9.1e*, Copyright Orcina Ltd..

Ostergaard, C., Schellin, T.E., 1987. Comparison of Experimental and Theoretical Wave Actions on Floating and Compliant Offshore Structures. *Applied Ocean Research,* vol. **9**, pp. 192-213.

Özhan, E., Abdalla, S., 2002. *Wind and Wave Climatologic Map of the Turkish Coast,* NATO TU-WAVES Project, ODTU Ankara, MEDCOAST Publ. (in Turkish).

Özkılıç, Ö., 2005. *İş Sağlığı ve Güvenliği, Yönetim Sistemleri ve Risk Değerlendirme Metodolojileri.* Türkiye İşveren Sendikaları Konfederasyonu Yayınları, no 246.

Paik, J. K., Thayamballi, A. K., 2007. *Ship-Shaped Offshore Installations: Design, Building, and Operation.* Cambridge University Press, New York, USA.

Pan, N.-F., 2008. Fuzzy AHP Approach for Selecting the Suitable Bridge Construction Method. *Automation in Construction,* vol. **17**, pp. 958-965.

Perego, A., Rangone, A., 1998. A Reference Framework for the Application of MADM Fuzzy Techniques to Selecting AMTS, *International Journal of Production Research,* vol. **36**, no.2, pp. 437-458.

Pillay, A., Wang, J., 2003. *Technology and Safety of Marine Systems.* Elsevier Ocean Engineering Book Series, vol. 7.

Pinkster, J. A., 1974. Low Frequency Phonemena Associated with Vessels Moored at Sea. *Society of Petroleum Engineers of A.I.M.E.,* Spring Meeting, Amsterdam.

Pinkster, J. A., 1979. Mean and Low Frequency Wave Drifting Forces on Floating Structures*, Ocean Engineering,* vol.**6**, pp. 593-615.

Pinkster, J. A., 1980. *Low Frequency Second Order Wave Exciting Forces on Floating Structures,* NSMB Report no. 650, Wageningen.

Pinkster, J. A., Oortmerssen, G. Van, 1976. *Computation of First and Second Order Wave Forces on Bodies Oscillating in Regular Waves.* Proc. 2nd Int. Conf. Num. Ship Hydrodyn., Berkeley.

Pode, L. 1950. *An Experimental Investigation of the Hydrodynamic Forces on Stranded Cables.* David Taylor Model Basin, no 713.

Portella, R. B., Mendes, C., 2002. DICAS (Differentiated Complacent Anchoring System) Mooring System: Practical Design Experience to Demystify the Concept. *Offshore Technology Conference,* OTC 14309, Houston.

Rangone, A., 1998. On the Applicability of Analytical Techniques for the Selection of AMTs in Small-Medium Sized Firms. *Small Business Economics,* vol. **10**, pp. 293-304.

Relex Studio Software, 2009. *V7.7,* <http://www.relexsoftware.com> alındığı tarih 11.04.2009.

Remery G. F. M., Hermans , A. J., 1971. The Slow Drift Oscillations of a Moored Object in Random Seas. *3rd Offshore Technology Conference,* **2**, pp. 829-838.

Remery, G.F.M., Oortmerssen, G. Van, 1973. The Mean Wave, Wind and Current Forces on Offshore Structures and Their Role in the Design Mooring Systems. *5th Offshore Technology Conference,*, preprints, vol.**1**, pp. 169-184.

Ren, J., Jenkinson, I., Sii, H.S. , Wang, J., Xu, D.L., Yang ,J.B., 2005. An Offshore Safety Assessment Framework Using Fuzzy Reasoning and

Evidential Synthesis Approaches. *Journal of Marine Engineering & Technology* (IMarEST)(A6), pp. 3-16.

Roy, B., 1971. Problems and Methods with Multiple Objective Functions. *Mathematical Programming,* vol. **1,** pp. 239-266.

Roy, B., 1977. *Partial Preference Analysis and Decision-Aid : The Fuzzy Outranking Relation Concept, Conflicting Objectives in Decisions,* Bell, R.L. Keeney, and H. Raiffa (Eds.), pp. 40-75, Wiley, New York.

Ruoning, X., Xiaoyan, Z., 1992. Extensions of the Analytic Hierarchy Process in Fuzzy Environment. *Fuzzy Sets and Systems,* vol. **52**, pp. 251-257.

Saaty, T. L., 1977. A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures. *Journal of Mathematical Psychology,* vol. **15**, pp. 234-281.

Saaty, T. L., 1980. *The Analytic Hierarchy Process.* New York: McGraw-Hill.

Saaty, T. L., 1996. *Decision Making with Dependence and Feedback The Analytic Network Process.* RWS Publications, USA.

Saaty, T. L., 2000. *Fundamentals of the Analytic Hierarchy Process.* RWS Publications, Ellsworth Avenue, Pittsburgh.

Sakawa, M., 1993. *Fuzzy Sets and Interactive Multiobjective Optimization.* Applied Information Technology, Plenum Press, New York.

Salvesen, N., 1974. Second-Order-Steady-State Forces and Moments on Surface Ships in Oblique Regular Waves. *Proc. Sym. Dyn. Mar. Veh. Struct. In Waves,* IMechE, London.

Salvesen, N., Tuck, E. O., Faltinsen, O., 1970. Ship Motions and Sea Loads. *Transactions SNAME,* **78**, pp. 250-287.

Schellin, T. E., Scharrer, M., Mathies, H. G., 1982. Analysis of Vessel Moored in Shallow Unprotected Waters. *Offshore Technol. Conf.,* OTC-4243.

Shafieefar, M., Rezvani, A., 2007. Mooring Optimization of Floating Platforms Using a Genetic Algorithm. *Ocean Engineering,* vol. **34**, pp. 1413-1421.

SHOD, 1978. *Wind, Sea and Wave Map for Marmara and Black Sea*, Cubuklu: Turkish Navy Publ. (in Turkish).

Sii, H. S., Wang, J., Eleye-Datubo, A. G., 2005. Safety Assessment of FPSO Turret-Mooring System Using Approximate Reasoning and Evidential Reasoning. *Marine Technology,* vol. **42**, no 2, pp. 88-102.

Singer, D., 1990. A Fuzzy Set Approach to Fault Tree and Reliability Analysis. *Fuzzy Sets and Systems,* vol. **34**, pp. 145-155.

Simoes, M. G., Tiquilloca, J. L. M., and Morishita, H. M., 2002. Neural-Network-Based Prediction of Mooring Forces in Floating Production Storage and Offloading Systems, IEEE *Transactions on Industry Applications,* vol. **38**, no.2, March/April.

Siskos, J. L., Lochard, J., Lombard, J., 1984. A Multicriteria Decision Making Methodology Under Fuzziness: Application to the Evaluation of Radiological Protection in Nuclear Power Plants. *TIMS/Studies in the*

Management Sciences, H. J. Zimmermann (Eds.), , vol. **20**, pp. 261-283, Elsevier Science Publishers, North Holland.

Sousa, J. M. C., Kaymak, U., 2002. Fuzzy Decision Making in Modelling and Control. *World Scientific Series in Robotics and Intelligent Systems,* SNAME, vol. **27**, Singapore.

St. Denis, M, Pierson, W. J., 1953. On the Motion of Ships in Confused Seas. *Trans. SNAME,* vol. **69**, pp. 280–357.

Stam, A., Minghe, S., Haines, M., 1996. Artificial Neural Network Representations for Hierarchical Preference Structures. *Computers and Operations Research,* vol. **23**(12), pp. 1191-1201.

Stillwell, W. G., Seaver, D. A., Edwards, W., 1981. A Comparison of Weight Approximation Techniques in Multi-Attribute Utility Decision Making. *Organizational Behaviour and Human Performance,* vol. **28**, pp. 62-77.

Şen, Z., 2004. *Mühendislikte Bulanık (Fuzzy) Mantık İle Modelleme Prensipleri.* Su Vakfı Yayınları, İstanbul.

Takagi, M., Saito, K., Nakamura, S., 1985. Comparison of Simulation Methods of Motions of a Moored Body in Waves. *Transactions of the ASME,* vol. **107**, pp. 34-41.

Tanaka, H., Fan, L. T., Lai, F. S., Toguchi, K., 1983. Fault-Tree Analysis by Fuzzy Probability. *IEEE Transactions on Reliability,* vol. **32**, pp. 150-163.

Takeda, E., 1982. Interactive Identification of Fuzzy Outranking Relations in a Multicriteria Decision Problem. *Fuzzy Information and Decision Processes,* M.M. Gupta and E. Sanchez (Eds.), pp. 301-307, North Holland.

Tasai, F., 1959. On the Damping Force and Added Mass of Ships Heaving and Pitching. *Rep. of the Res. Inst. For Appl. Mech.,* vol. **7**, no 26, Kyushu Univ..

Thresher, R. W., Nath, J. H., 1975. Anchor-Last Deployment by Lumped Masses. *J. of Waterways, Harbours and Coastal Engineering Div.,* Proc. ASCE, pp. 419-433.

Tong, R. M., Bonissone, P. P., 1984. Editorial: Fuzzy Information Processing. *Inf. Sci.,* vol. **34**(2), pp. 83-84.

Triantaphyllou, E., 2000. *Multi-Criteria Decision Making Methods: A Comparative Study.* vol. **44**, Kluwer Academic Publishers, Dortrecht.

Triantaphyllou, E., Lin, C.T., 1996. Development and Evaluation of Five Fuzzy Multi-Attribute Decision Making Methods. *International Journal of Approximate Reasoning,* vol. **14**, pp. 281-310.

Tsaur, S.-H., Chang, T.-Y., Yen, C.-H., 2002. The Evaluation of Airline Service Quality by Fuzzy MCDM. *Tourism Management,* vol. **23**, pp. 107-115.

Tsukamoto, Y, Nikiforuk, P. N. , Gupta M. M., 1983. On the Comparison of Fuzzy Sets Using Fuzzy Chopping. Akashi H (ed), *Control Science*

and Technology for Progress of Society, pp. 46–51, Pergamon Press, New York.

Tuah, H., Leonard, J. W., 1990. Dynamic Response of Viscoelastic Cable Elements. *Ocean Engineering,* vol. **17**, no. 1/2, pp. 23-34.

Turan, O., Olcer, A. I., Martin, P. L., 2003. Risk Assessment of Loss of Life for Fishing Vessels in Fuzzy Environment. *The Journal of Safety and Reliability,* vol. **23**, (2), pp.19-38.

Türk Loydu, 2010. *Çok Noktalı Bağlama Sistemleri Klaslama Kuralları* (Basım aşamasında).

Ursell, F., 1949. On the Heaving Motion of a Circular Cylinder on the Surface of a Fluid. *Quart. J. of Mech. And Appl. Maths.,* vol. **2**, , pp. 218–231.

US. Navy, 1985. *Fleet Moorings: Basic Criteria and Planning Guide Lines DM-26.5,* Naval Facilities Engineering Command, Alexandria, Virginia.

Vaidya, O. S., Kumar, S., 2006. Analytic Hierarchy Process: An Overview of Applications. *European Journal of Operational Research,* vol. **169**, pp. 1-29.

Van Der Molen, W., 2006. Behaviour of Moored Ships in Harbours. *PhD Thesis,* Delft University, Netherlands.

Van Laarhoven, P. J. M., Pedrycz, W., 1983. A Fuzzy Extension of Saaty's Priority Theory. *Fuzzy Sets and Systems, vol*. **11**, pp. 229-241.

Van Oortmerssen, G., Pinkster, 1976. *The Motions of a Moored Ship in Waves.* Publication No. 510, Netherlands Ship Model Basin, Wageningen, The Netherlands.

Van Oortmerssen, G. Pinkster, J. A., Van den Boom, H. J. J., 1986. Computer Simulation of Moored Ship Behavior. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering,* vol. **112**, no. 2, pp. 296-308.

Vose, D., 2008. *Risk Analysis: A Quantitative Guide.* John Wiley & Sons, Ltd., West Sussex, England.

Wang, J., 1997. A Fuzzy Outranking Method for Conceptual Design Evaluation, *International Journal of Production Research,* vol. **35**, no.4, pp. 995-1010.

Wang, M. J., Chang, T.C., 1995. Tool Steel Materials Selection Under Fuzzy Environment. *Fuzzy Sets and Systems,* vol. **72,** pp. 263-270.

Wang, Y. M., Elhag, T. M. S., 2006. Fuzzy TOPSIS Method Based on Alpha Level Sets with an Application to Bridge Risk Assessment. *Expert Systems with Applications,* vol. **31**, pp. 309-319.

Wang, Y-M., Parkan, C., 2005. Multiple Attribute Decision Making Based on Fuzzy Preference Information on Alternatives: Ranking and Weighting. *Fuzzy Sets and Systems,* vol. **153**, pp. 331–346.

Ward, E. G., Haring, R. E., Devlin, P. V., 1999. Deepwater Mooring and Riser Analysis for Depths to 10,000 Feet. *Offshore Technology Conference,* OTC 10808, Houston.

Watson, S., R., Weiss J. J., Donnell, M. L., 1979. Fuzzy Decision Analysis. *IEEE Trans. Syst. Man Cybernet,* SMC-9, pp. 1–9.

Weck, M., Klocke, F., Schell, H., Ruenauver, E., 1997. Evaluating Alternative Production Cycles Using the Extended Fuzzy AHP method, *European Journal of Operational Research,* vol. **100**(2), 351–366.

Wichers, J. E. W., 1976. On the Slow Motions of Tankers Moored to Single Point Mooring Systems. *Offshore Technology Conference,* OTC-2548, pp. 283-303.

Wichers, J. E. W., 1979. Slowly Oscillating Mooring Forces in Single Point Mooring Systems. *Second International Conference on Behaviour of Off-Shore Structures,* London, England.

Wichers, J. E. W, 1986. Progress in Computer Simulations of SPM Moored Vessels. *Offshore Technology Conference,* OTC-5175.

Wichers, J. E. W., De Boom, W. C. 1978. The Dynamic Loads for the Strength Design of Moored Offshore Structures Under Storm Conditions. *Offshore Technology Conference,* OTC-3249.

Wichers, J. E. W., Van Den Boom, H. J. J. , 1983. Simulation of the Behaviour of SPM-moored Vessels in Irregular Waves, Wind and Current. *Deep Offshore Technology 2nd International Conference and Exhibition,* Valletta, Malta.

Wilson, B. W., Garbaccio, D. H., 1969. Dynamics of Ship Anchor Lines in Waves and Current. *Proc. Amer. Soc. Civil Engineers, Journal of Waterways,* Harbours and Coastal Engineering Division, vol. **1969**, pp. 449-465.

Xu, R., 2000. Fuzzy Least Squares Priority Method in the AHP. *Fuzzy Sets and Systems,* vol. **112**, pp. 395-404.

Xu, Z., Yager, R. R., 2008. Dynamic Intuitionistic Fuzzy Multi-Attribute Decision Making. *International Journal of Approximate Reasoning,* vol. **48**(1), pp. 246–262.

Xu, Z-S., Chen, J., 2007. An Interactive Method for Fuzzy Multiple Attribute Group Decision Making. *Information Sciences,* vol. **177**(1), pp. 248–263.

Yager, R. R., 1977. Multiple Objective Decision-Making Using Fuzzy Sets. *International Journal of Man-Machine Studies,* vol. **9**, pp. 375-382.

Yager, R. R., 1978. Fuzzy Decision Making Including Unequal Objectives. *Fuzzy Sets and Systems,* vol. **1**, pp. 87-95.

Yager, R. R., 1980. On a General Class of Fuzzy Connectives. *Fuzzy Sets Syst.,* vol. **4**(6), pp. 235–242.

Yager, R. R., Asson, D., 1975. Decision-Making with Fuzzy Sets. *Decision Sciences,* vol. **6**, pp. 590-600.

Yamamoto, M., Mooroka K., 2005. Dynamic Positioning System of Semi-Submersible Platform Using Fuzzy Control. *Journal of the Braz. Soc. of Mech. Sci. & Eng.,* vol. **XXVII**, no. 4/449.

Yamamoto, T., Yoshida, A., Ijima, T., 1980. Dynamics of Elastically Moored Floating Objects. *Applied Ocean Research,* vol. **2**, pp. 85-92.

Yang, T., Hung, C. C., 2007. Multiple-Attribute Decision Making Methods for Plant Layout Design Problem. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing,* vol. **23**, issue 1, pp. 126-137.

Yeh, C.-H., Chang, Y.-H., 2009. Modeling Subjective Evaluation for Fuzzy Group Multicriteria Decision Making. *European Journal of Operational Research,* vol. **194,** pp. 464-473.

Yeh, C. H., Deng, H., Chang, Y. H., 2000. Fuzzy Multicriteria Analysis for Performance Evaluation of Bus Companies. *European Journal of Operational Research,* vol. **126**, pp. 459–473.

Yilmaz, O., Incecik, A., 1996. Hydrodynamic Design of Moored Floating Platforms. *Marine Structures,* vol. **9**, pp. 545-575.

Yoon, K., Hwang, C.L., 1995. *Multiple Attribute Decision Making an Introduction,* Sage Publications, USA.

Zadeh, L. A.,1965. Fuzzy Sets. *Information and Control,* vol. **8**, pp.338-353.

Zadeh, L. A., 1975. The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning. *1st Information Science,* vol. **8**, pp. 199-249.

Zhang, G., Lu, J., 2003. An Integrated Group Decision-Making Method Dealing with Fuzzy Preferences for Alternatives and Individual Judgments for Selection Criteria. *Group Decision and Negotiation,* vol. **12**, pp. 501-515.

Zhao, R., Govind, R., 1991. Algebraic Characteristics of Extended Fuzzy Numbers. *Information Sciences,* vol. **54**, pp. 103–130.

Zimmermann, H. J., 1978. Fuzzy Programming and Linear Programming with Several Objective Functions. *Fuzzy Sets and Systems,* vol. **1**, pp. 45-55.

Zimmermann, H. J., 1987. *Fuzzy Sets. Decision Making and Expert Systems.* Kluwer, Dordrecht.

Zimmermann, H. J., 2001. *Fuzzy Set Theory and Its Applications.* 4th Edition, Kluwer Academic Publishers, Boston.

Zio, E., Baraldi, P., Popescu, I. C., 2009. A Fuzzy Decision Tree Method for Fault Classification in the Steam Generator of a Pressurized Water Reactor. *Annals. of Nuclear Energy,* Article in Press.

Zhu, K. J., Jing, Y., Chang, D.Y., 1999. A Discussion of Extent Analysis Method and Applications of Fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research,* vol. **116**, pp. 450–456.

EKLER

EK A: Maksimum halat/çapa gerilme değerleri (çizelgeler) (CD içerisinde)

EK B: Maksimum gerilmeye maruz kalan halat/çapa için diğer halatlara/çapalara gelen gerilme değerleri (şekiller) (CD içerisinde)

EK C: Maksimum gerilmeye maruz kalan halat/çapa için diğer halatlara/çapalara gelen gerilme değerleri (çizelgeler) (CD içerisinde)

EK D: Tanker bağlama sistemi deneyi senaryoları (CD içerisinde)

EK E: Anket (CD içerisinde)

EK F: Öz niteliklerin üçgen bulanık sayı değerleri (CD içerisinde)

EK G: Toplam üçgen bulanık sayı değerleri (CD içerisinde)

EK H: Öz nitelik sentetik değerleri (CD içerisinde)

EK I: Her bir karar verici için öz nitelik bazında seçenek karşılaştırma bulanık üçgen sayı değerleri (CD içerisinde)

EK J: Her bir karar verici için öz nitelik bazında normalize edilmiş seçenek karşılaştırma bulanık üçgen sayı değerleri (CD içerisinde)

EK K: Her bir karar verici için öz nitelik bazında ağırlıklı normalize seçenek karşılaştırma bulanık üçgen sayı değerleri (CD içerisinde)

EK L: Tanker-şamandıra bağlama sistemi seçenekleri için temel olayların yamuk bulanık olasılık değerleri (CD içerisinde)

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Ayhan MENTEŞ

Doğum Yeri ve Tarihi: Adana, 1973

Adres: İstanbul Teknik Üniversitesi Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, Maslak 34469 İSTANBUL / TÜRKİYE

Lisans Üniversite: İstanbul Teknik Üniversitesi

Yüksek Lisans Üniversite: İstanbul Teknik Üniversitesi

Yayın Listesi:

- **Mentes, A.,** Haziran 2000. Manevra ve Sevk Sistemi Seçiminde Bulanık Çok Kriterli Karar Verme. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul, Türkiye.

- **Mentes, A.,** Helvacioglu, I. H., 24-25 Kasım 2008: Bulanık Karar Verme Yöntemi ve Çok Noktadan Bağlı Sistemlerde Uygulanması. *Gemi İnşaatı ve Deniz Teknolojisi Teknik Kongresi*, TMMOB Gemi Mühendisleri Odası, İstanbul.

- **Mentes, A.,** Helvacioglu, I. H., 21-23 September 2009. Fuzzy Risk Assessment for Spread Mooring Systems. *1st International Conference on Floating Structures for Deepwater Operations*, Glasgow, Scotland, UK.

- **Mentes, A.,** Helvacioglu, I. H., 12-15 October 2009. Application of Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Method to a Spread Mooring System. *13th Congress of Intl. Maritime assoc. of Mediterranean (IMAM)*, İstanbul, Turkey.

- **Mentes, A.,** Helvacioglu,I.H., Ekim 2009. Çok Noktadan Bağlı Tanker-Şamandıra Bağlama Sistemlerinde Hata Ağacı Tabanlı Risk Analizi. *Gemi ve Deniz Teknolojisi Dergisi*, Sayı 182.

EK A: Maksimum halat/çapa gerilme değerleri

Çizelge A.1 : Maksimum halat/çapa gerilme değerleri (ton) (Etkin rüzgar yönü kuzey)

	Baş sancak halatı	Baş iskele halatı	Baş merkez halatı	Kıç sancak halatı	Kıç iskele halatı	Kıç merkez halatı	Sancak çapası	İskele çapası	Merkez çapası
A_1	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	466	mevcut degil	mevcut degil	226
A_2	mevcut degil	mevcut degil	251	mevcut degil	mevcut degil	430	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil
A_3	mevcut degil	mevcut degil	58	182	45	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil
A_4	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	219	53	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	57
A_5	105	25	mevcut degil	321	23	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil
A_6	mevcut degil	19	mevcut degil	360	13	mevcut degil	94	mevcut degil	mevcut degil
A_7	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	329	30	mevcut degil	113	27	mevcut degil
A_8	mevcut degil	23	mevcut degil	275	27	39	101	mevcut degil	mevcut degil
A_9	mevcut degil	mevcut degil	33	334	23	mevcut degil	114	26	mevcut degil
A_{10}	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	226	28	45	98	19	mevcut degil
A_{11}	mevcut degil	21	20	218	19	42	101	mevcut degil	mevcut degil
A_{12}	mevcut degil	mevcut degil	29	205	8	54	118	27	mevcut degil

Çizelge A.2 : Maksimum halat/çapa gerilme değerleri (ton) (Etkin rüzgar yönü kuzey doğu)

	Baş sancak halatı	Baş iskele halatı	Baş merkez halatı	Kıç sancak halatı	Kıç iskele halatı	Kıç merkez halatı	Sancak çapası	İskele çapası	Merkez çapası
A_1	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	576	mevcut degil	mevcut degil	332
A_2	mevcut degil	mevcut degil	348	mevcut degil	mevcut degil	540	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil
A_3	mevcut degil	mevcut degil	110	37	319	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil
A_4	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	27	348	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	106
A_5	35	166	mevcut degil	33	424	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil
A_6	mevcut degil	196	mevcut degil	37	417	mevcut degil	28	mevcut degil	mevcut degil
A_7	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	35	399	mevcut degil	21	148	mevcut degil
A_8	mevcut degil	229	mevcut degil	31	285	106	31	mevcut degil	mevcut degil
A_9	mevcut degil	mevcut degil	30	28	387	mevcut degil	27	167	mevcut degil
A_{10}	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	31	240	136	32	234	mevcut degil
A_{11}	mevcut degil	154	63	33	252	111	28	mevcut degil	mevcut degil
A_{12}	mevcut degil	mevcut degil	33	33	225	148	31	210	mevcut degil

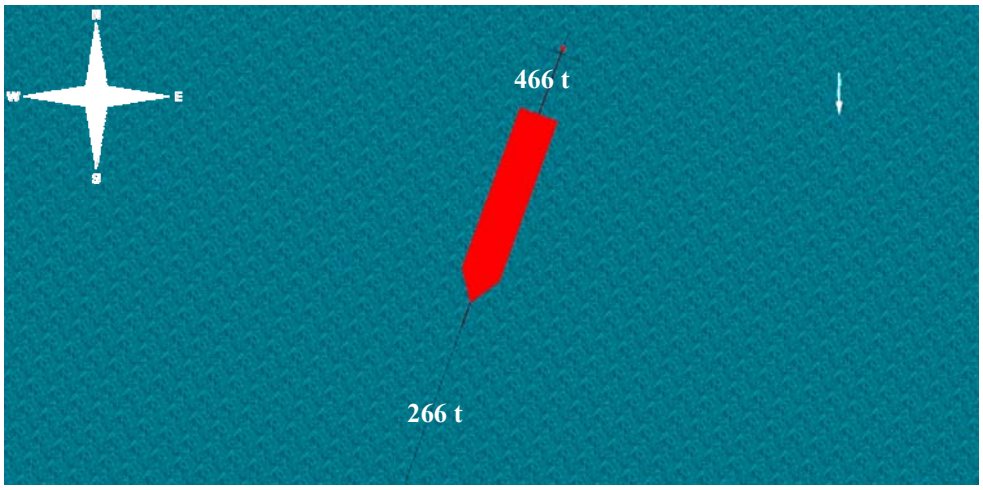
Çizelge A.3 : Maksimum halat/çapa gerilme değerleri (ton) (Etkin rüzgar yönü güzey)

	Baş sancak halatı	Baş iskele halatı	Baş merkez halatı	Kıç sancak halatı	Kıç iskele halatı	Kıç merkez halatı	Sancak çapası	İskele çapası	Merkez çapası
A_1	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	602	mevcut degil	mevcut degil	567
A_2	mevcut degil	mevcut degil	475	mevcut degil	mevcut degil	406	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil
A_3	mevcut degil	mevcut degil	646	73	705	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil
A_4	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	39	674	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	603
A_5	12	288	mevcut degil	26	126	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil
A_6	mevcut degil	323	mevcut degil	29	129	mevcut degil	28	mevcut degil	mevcut degil
A_7	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	42	146	mevcut degil	27	242	mevcut degil
A_8	mevcut degil	314	mevcut degil	56	163	179	214	mevcut degil	mevcut degil
A_9	mevcut degil	mevcut degil	47	48	88	mevcut degil	26	234	mevcut degil
A_{10}	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	36	71	72	30	248	mevcut degil
A_{11}	mevcut degil	188	76	27	94	78	27	mevcut degil	mevcut degil
A_{12}	mevcut degil	mevcut degil	39	63	71	78	29	198	mevcut degil

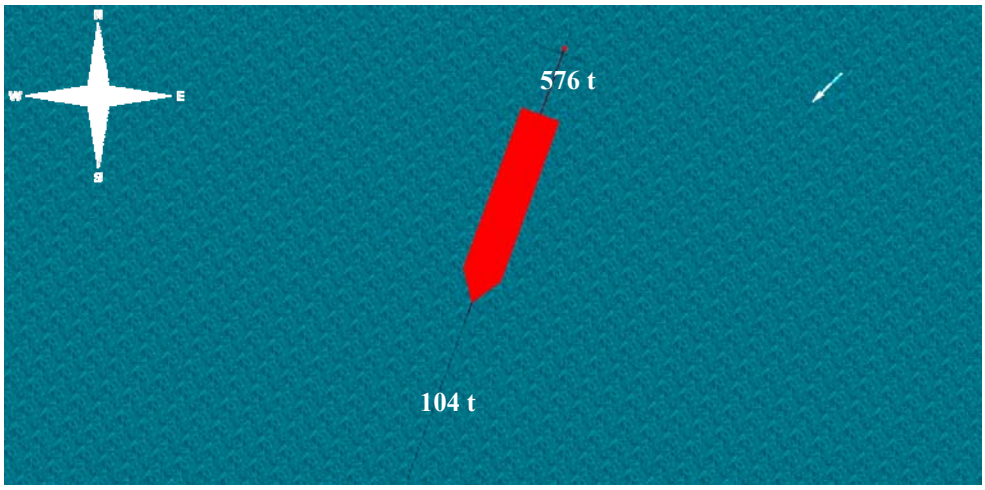
Çizelge A.4 : Maksimum halat/çapa gerilme değerleri (ton) (Etkin rüzgar yönü güney batı)

	Baş sancak halatı	Baş iskele halatı	Baş merkez halatı	Kıç sancak halatı	Kıç iskele halatı	Kıç merkez halatı	Sancak çapası	İskele çapası	Merkez çapası
A_1	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	714	mevcut degil	mevcut degil	620
A_2	mevcut degil	mevcut degil	725	mevcut degil	mevcut degil	653	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil
A_3	mevcut degil	mevcut degil	698	706	98	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil
A_4	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	690	57	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	683
A_5	363	26	mevcut degil	288	36	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil
A_6	mevcut degil	43	mevcut degil	277	95	mevcut degil	304	mevcut degil	mevcut degil
A_7	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	273	78	mevcut degil	317	26	mevcut degil
A_8	mevcut degil	32	mevcut degil	270	49	48	317	mevcut degil	mevcut degil
A_9	mevcut degil	mevcut degil	19	272	52	mevcut degil	327	26	mevcut degil
A_{10}	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	220	49	63	317	26	mevcut degil
A_{11}	mevcut degil	46	21	187	46	46	240	mevcut degil	mevcut degil
A_{12}	mevcut degil	mevcut degil	20	164	49	87	198	26	mevcut degil

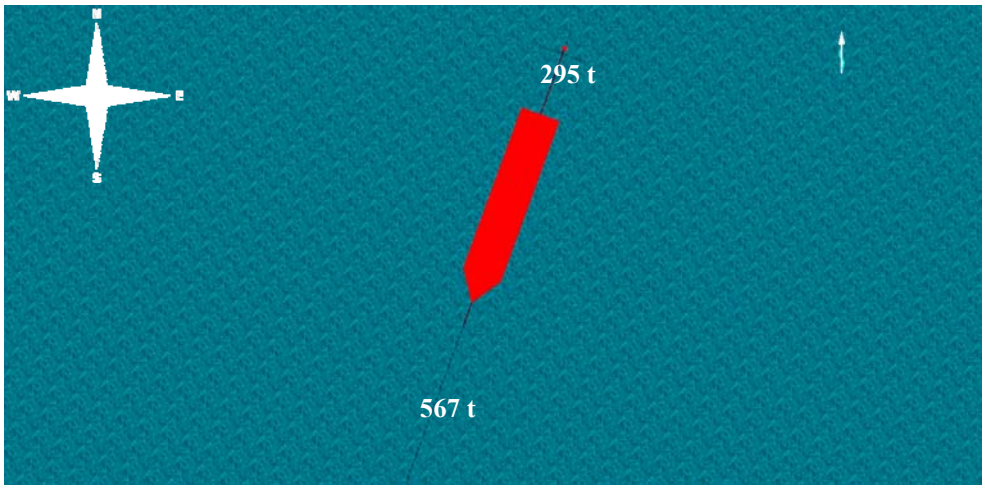
EK B: Maksimum gerilmeye maruz kalan halat/çapa için diğer halatlara/çapalara gelen gerilme değerleri



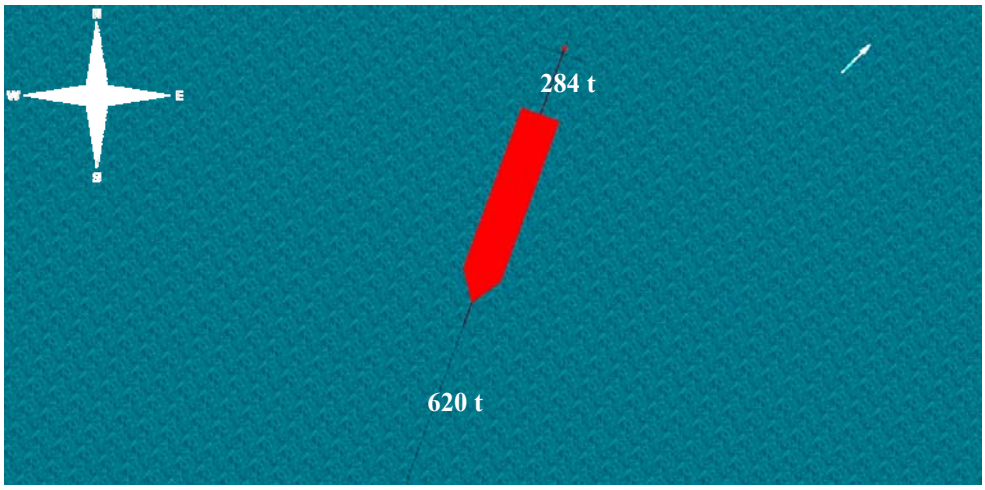
Şekil B.1: A_1 için hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü kuzey)



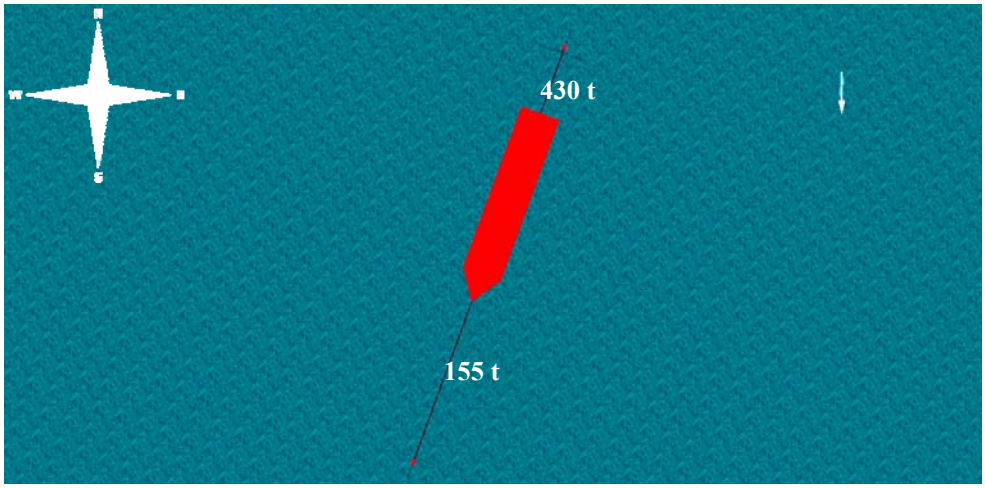
Şekil B.2: A_1 için hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü kuzey doğu)



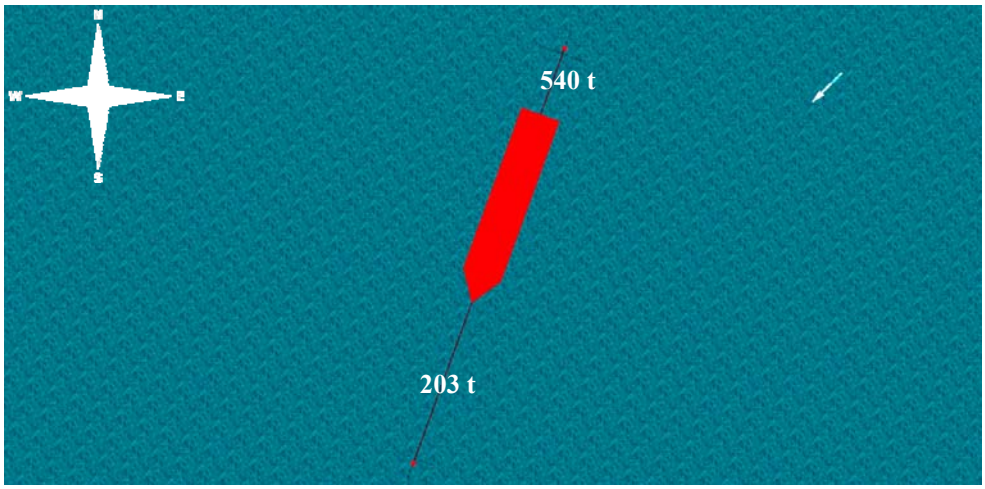
Şekil B.3: A_1 hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü güney)



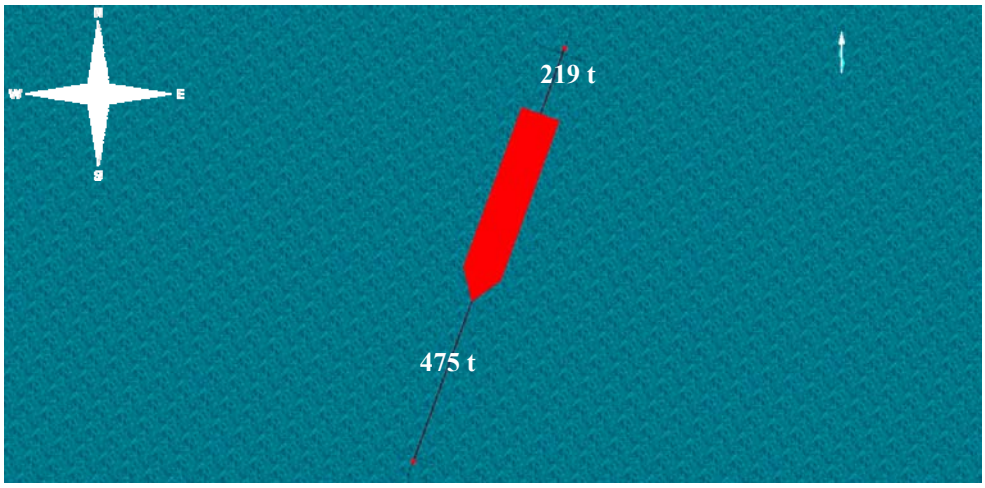
Şekil B.4: A_1 hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü güney batı)



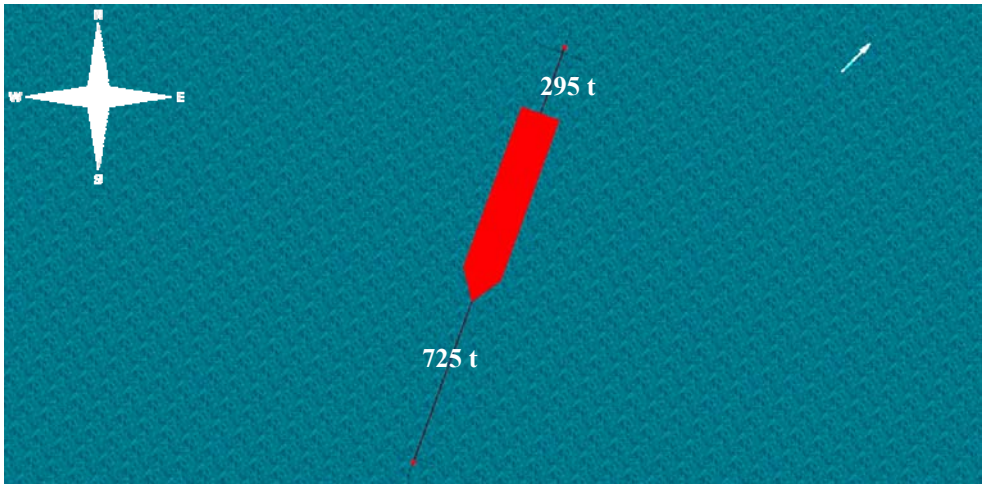
Şekil B.5: A_2 hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü kuzey)



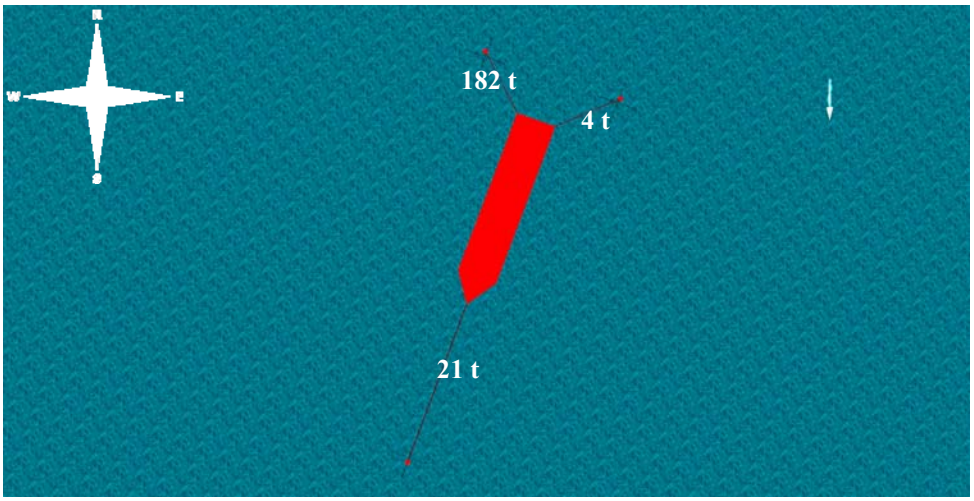
Şekil B.6: A_2 hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü kuzey doğu)



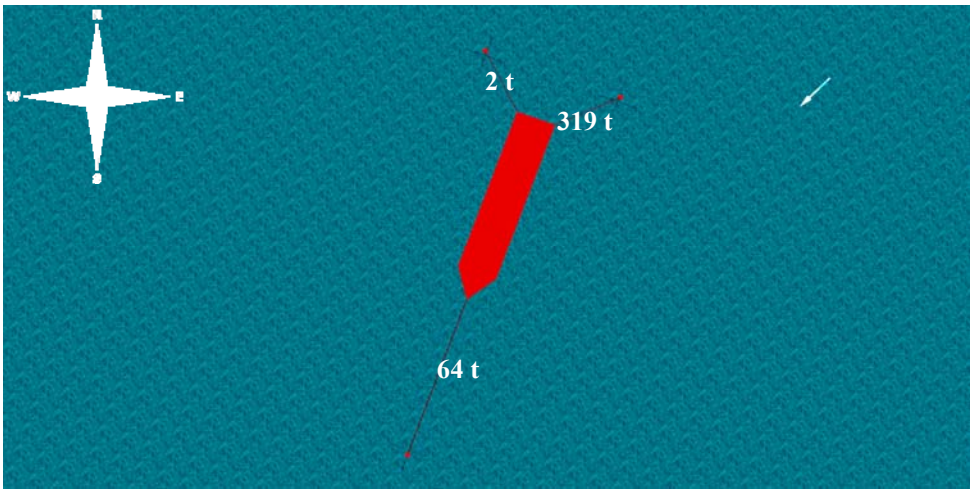
Şekil B.7: A_2 hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü güney)



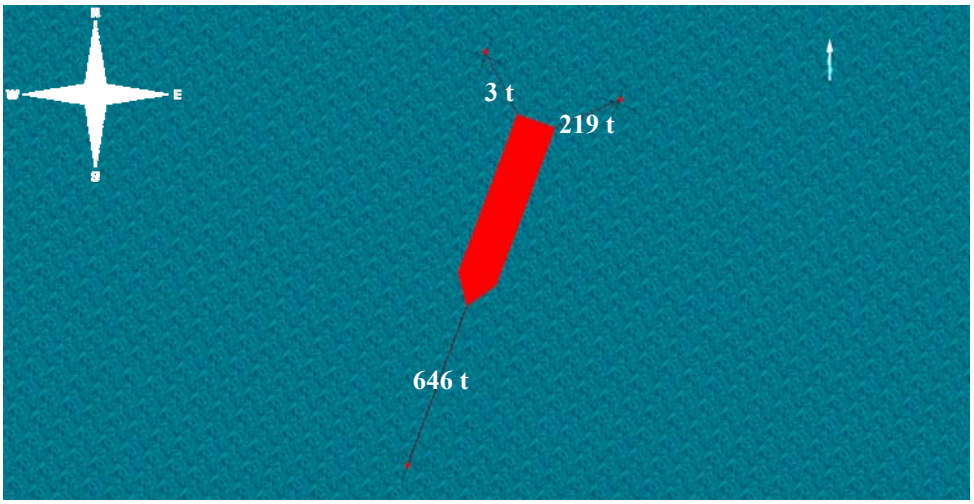
Şekil B.8: A_2 hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü güney batı)



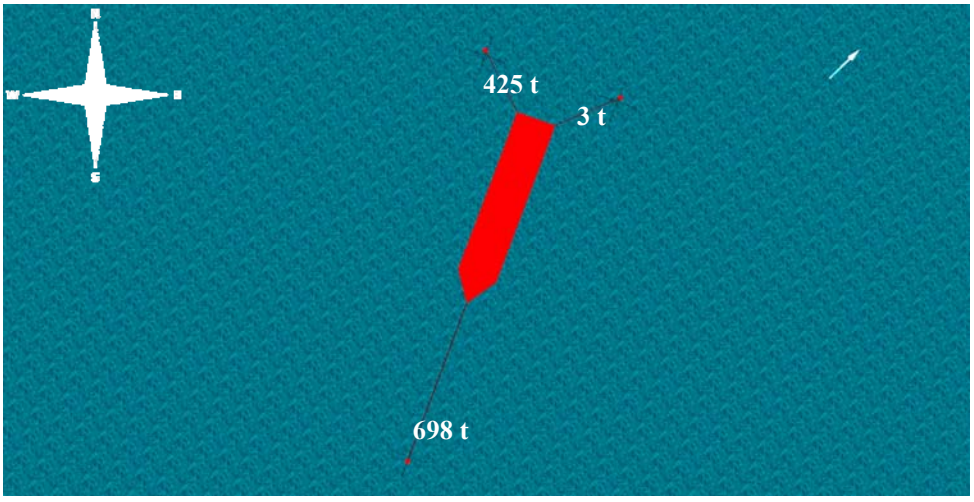
Şekil B.9: A_3 hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü kuzey)



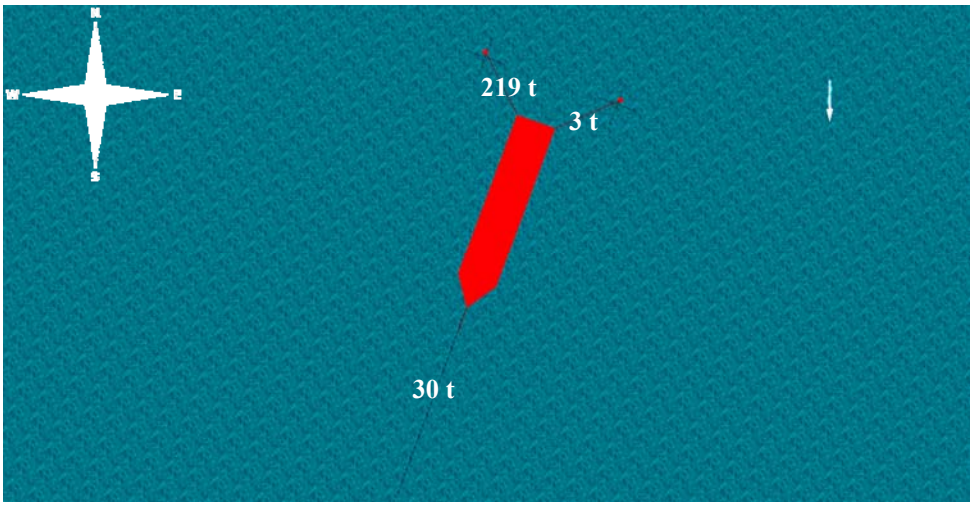
Şekil B.10: A_3 hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü kuzey doğu)



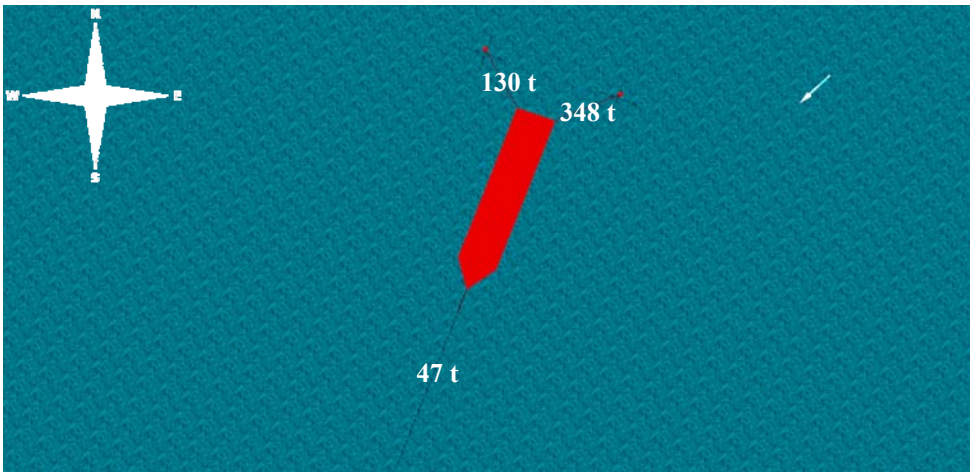
Şekil B.11: A_3 hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü güney)



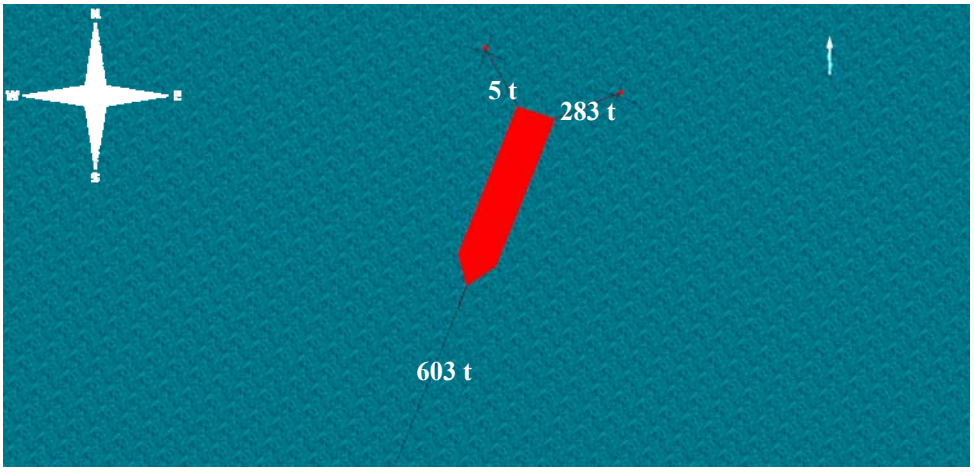
Şekil B.12: A_3 için hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü güney batı)



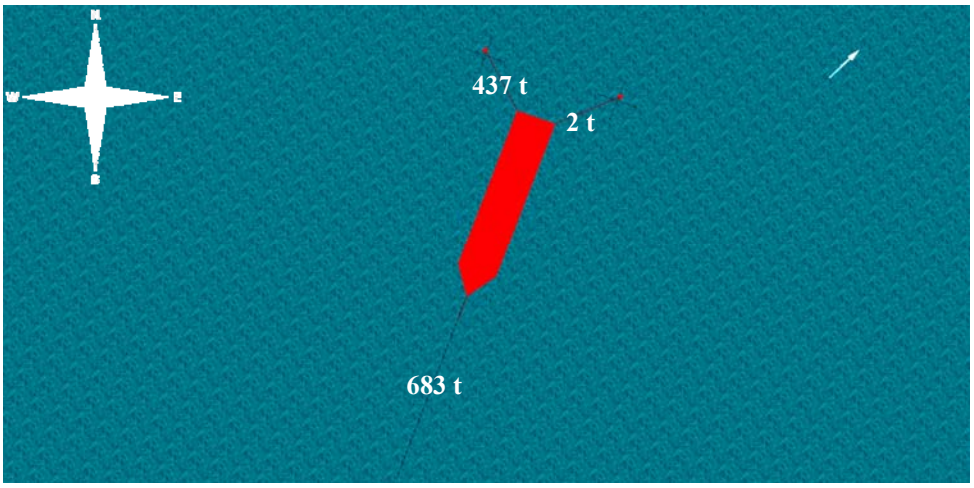
Şekil B.13: A_4 hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü kuzey)



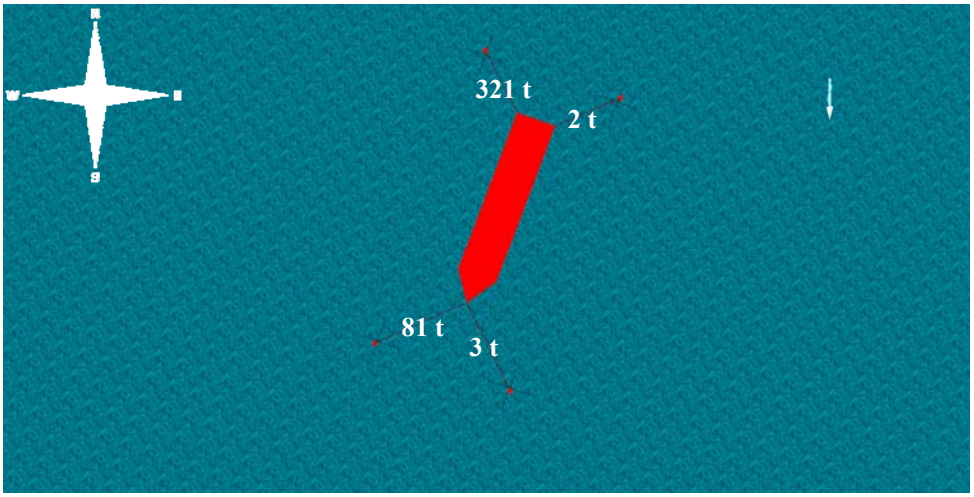
Şekil B.14: A_4 hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü kuzey doğu)



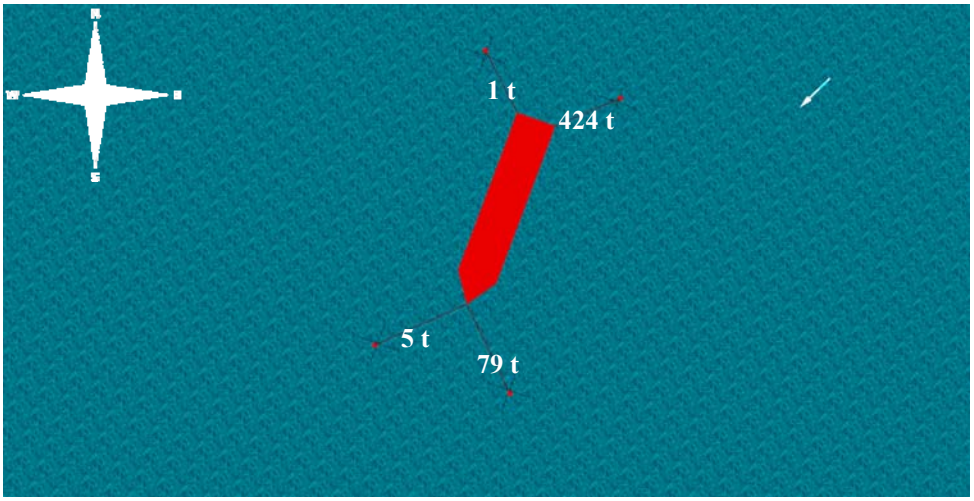
Şekil B.15: A_4 hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü güney)



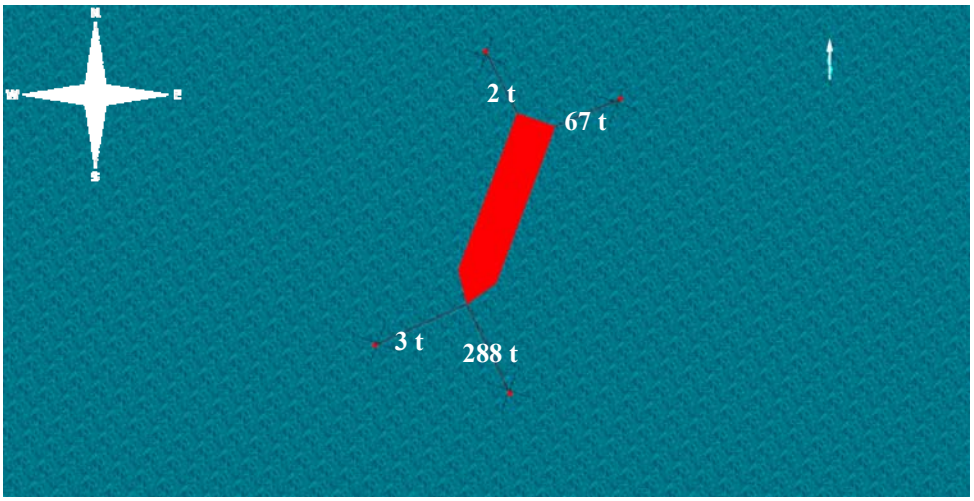
Şekil B.16: A_4 için hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü güney batı)



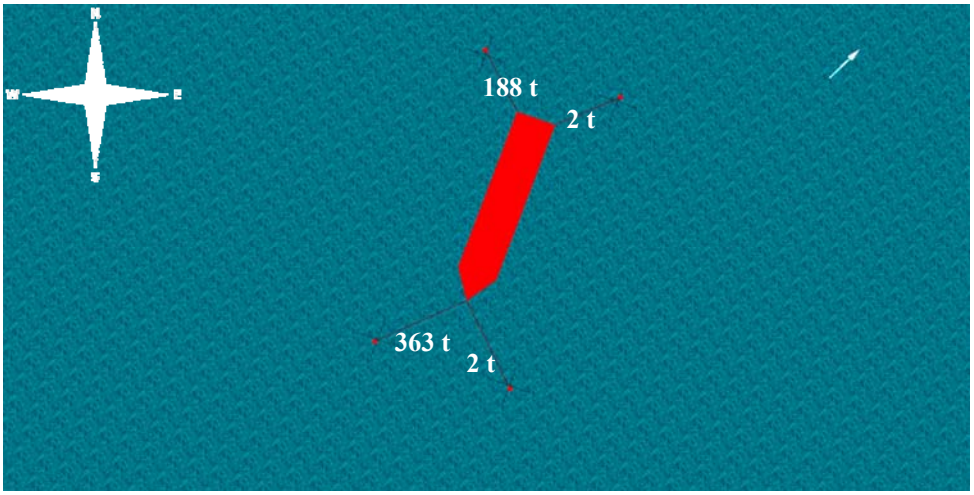
Şekil B.17: A_5 hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü kuzey)



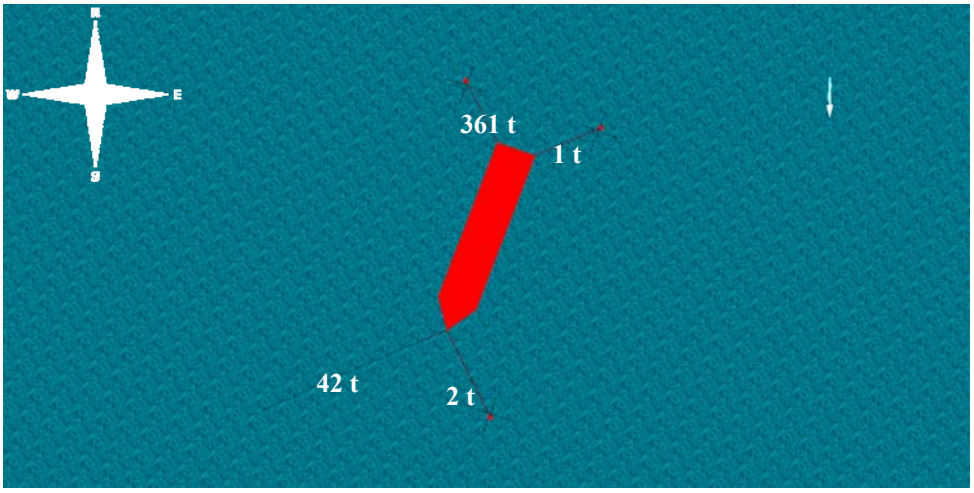
Şekil B.18: A_5 için hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü kuzey doğu)



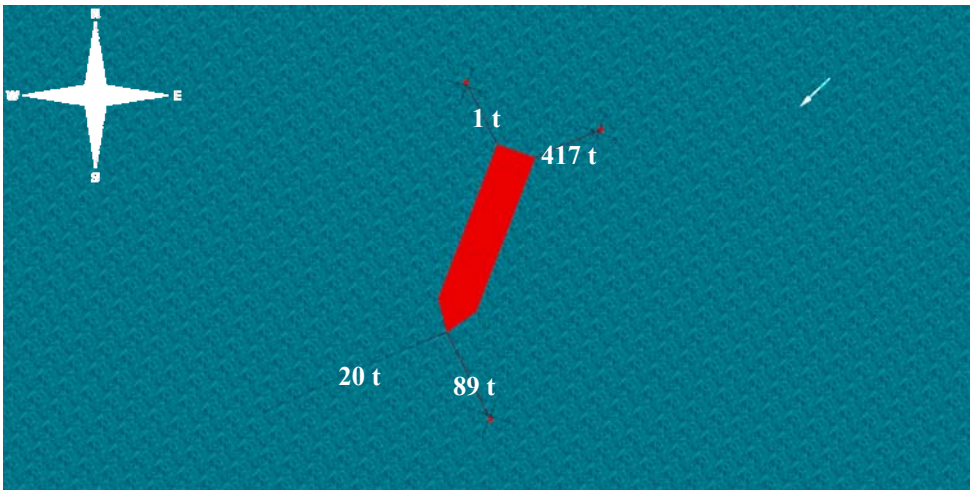
Şekil B.19: A_5 hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü güney)



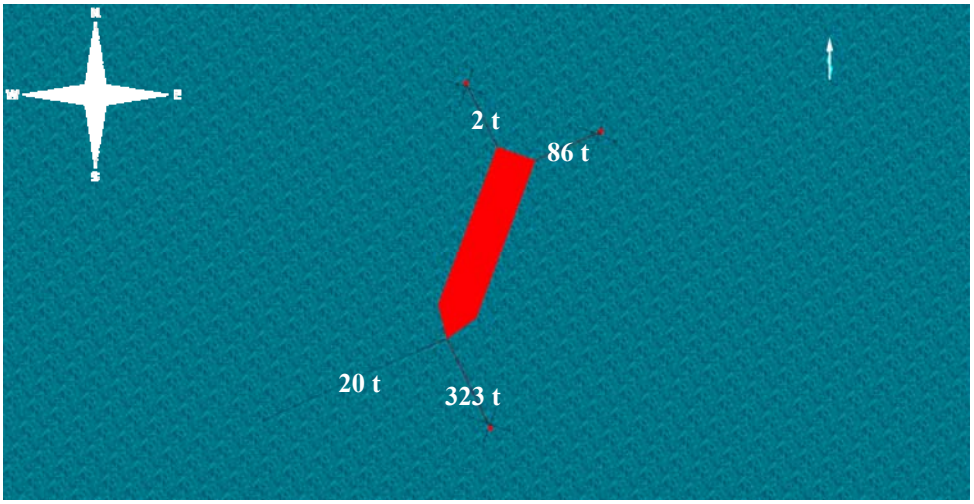
Şekil B.20: A_5 hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü güney batı)



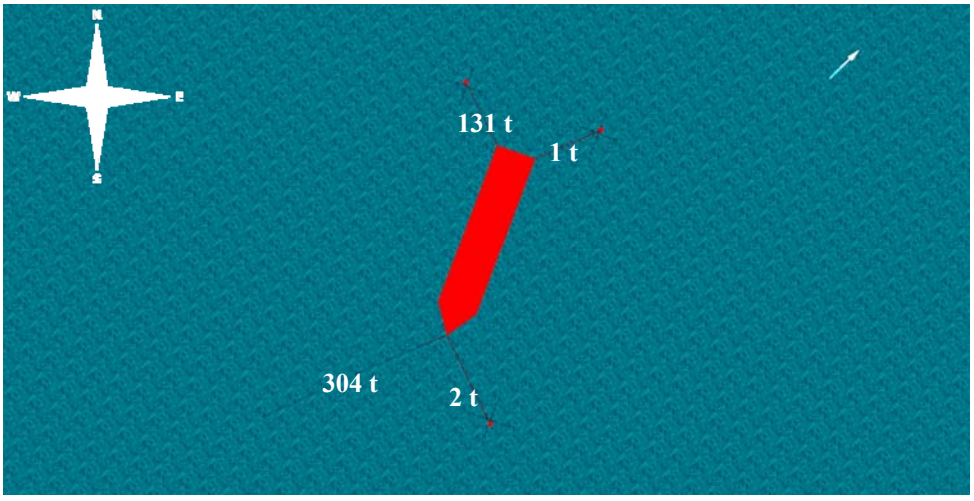
Şekil B.21: A_6 hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü kuzey)



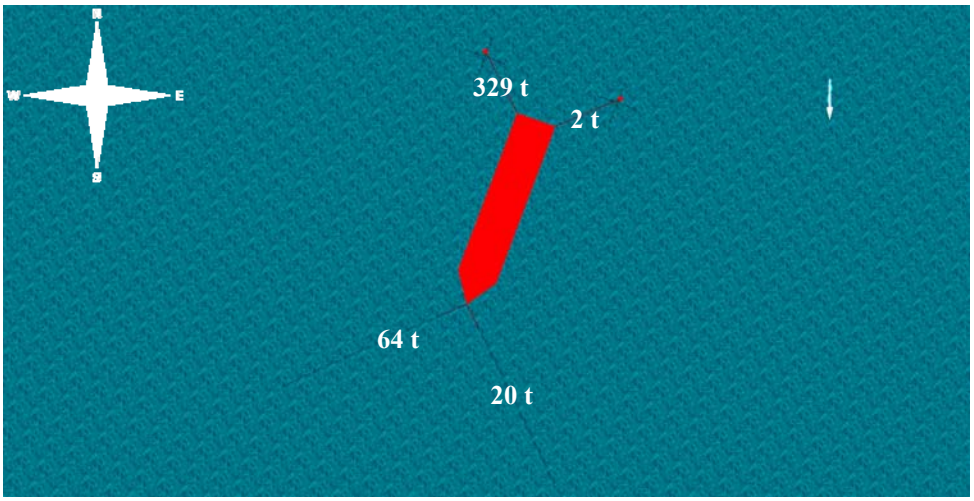
Şekil B.22: A_6 hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü kuzey doğu)



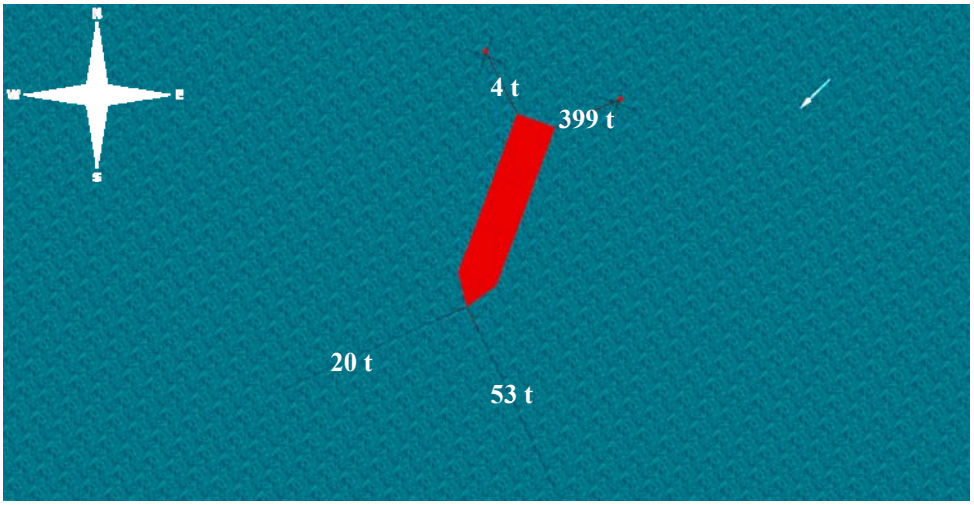
Şekil B.23: A_6 hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü güney)



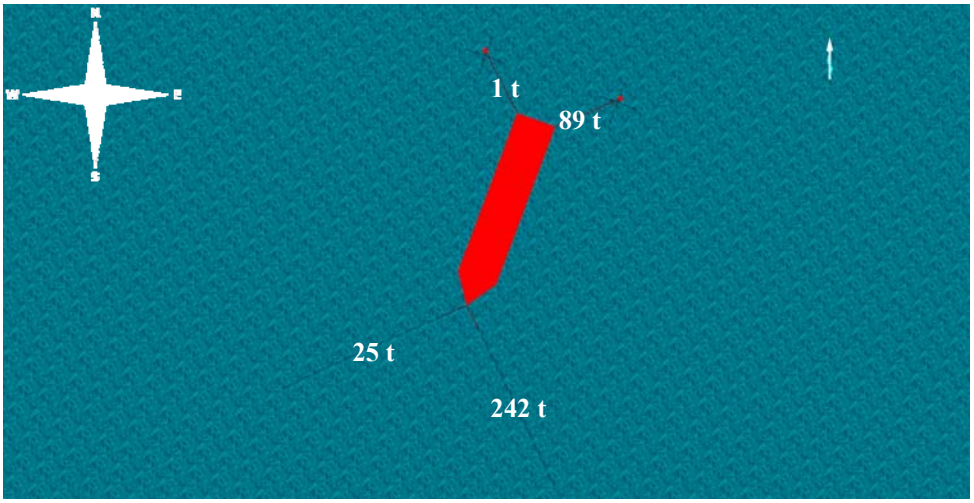
Şekil B.24: A_6 hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü güney batı)



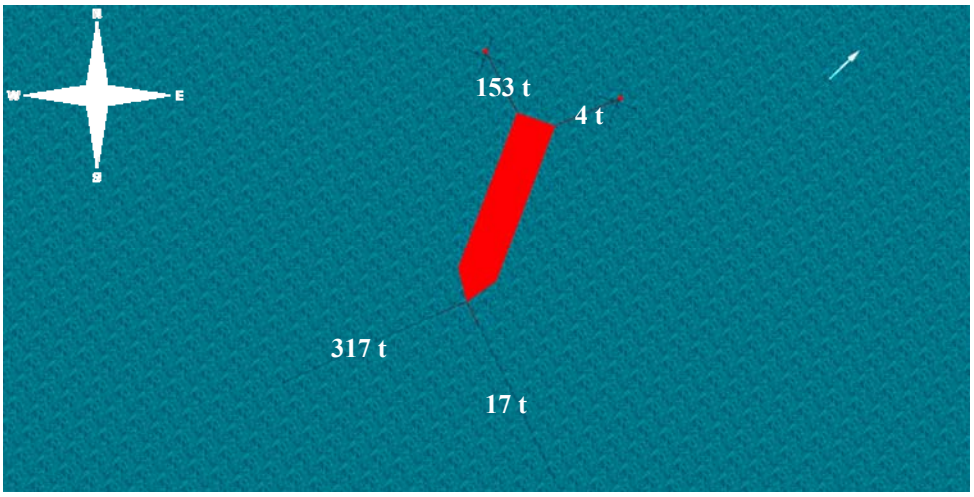
Şekil B.25: A_7 hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü kuzey)



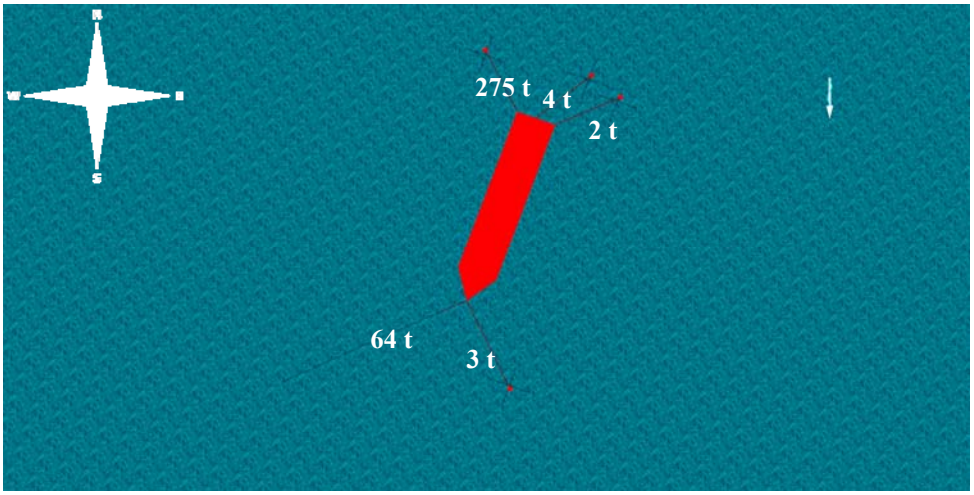
Şekil B.26: A_7 hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü kuzey doğu)



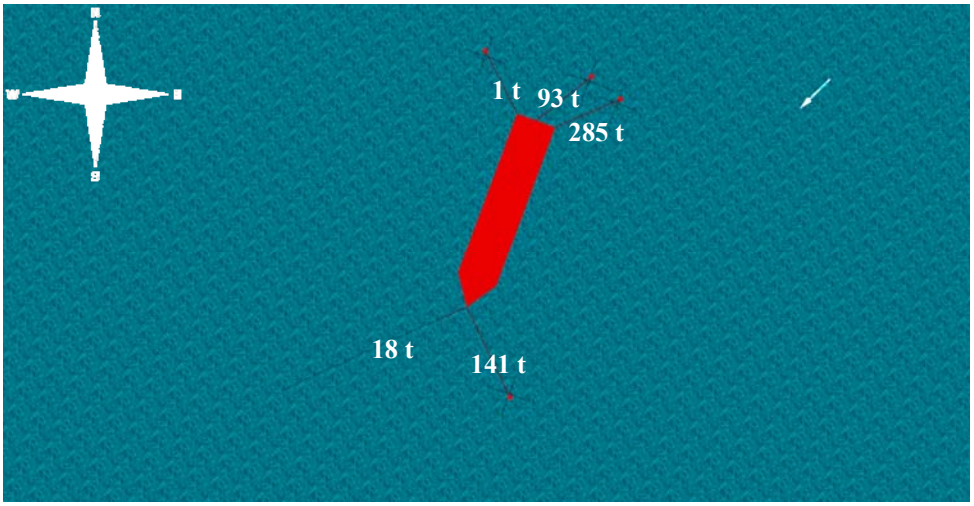
Şekil B.27: A_7 hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü güney)



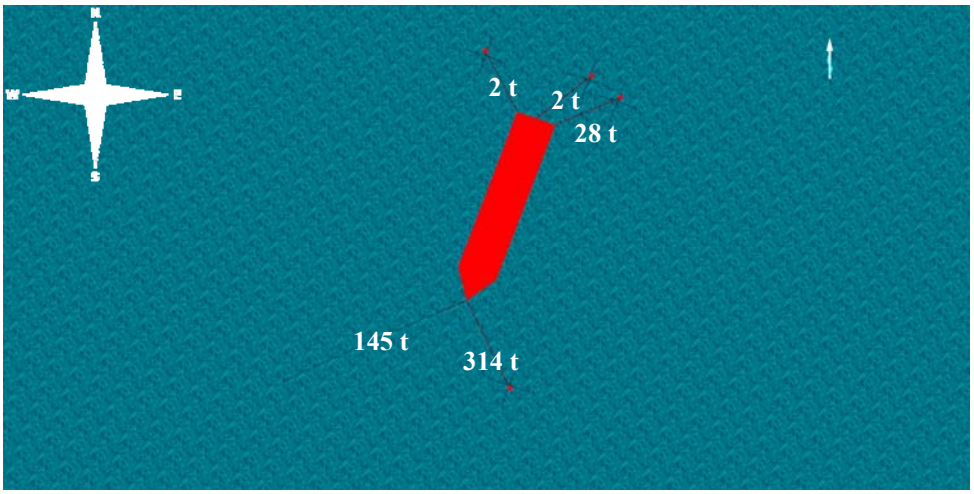
Şekil B.28: A_7 hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü güney batı)



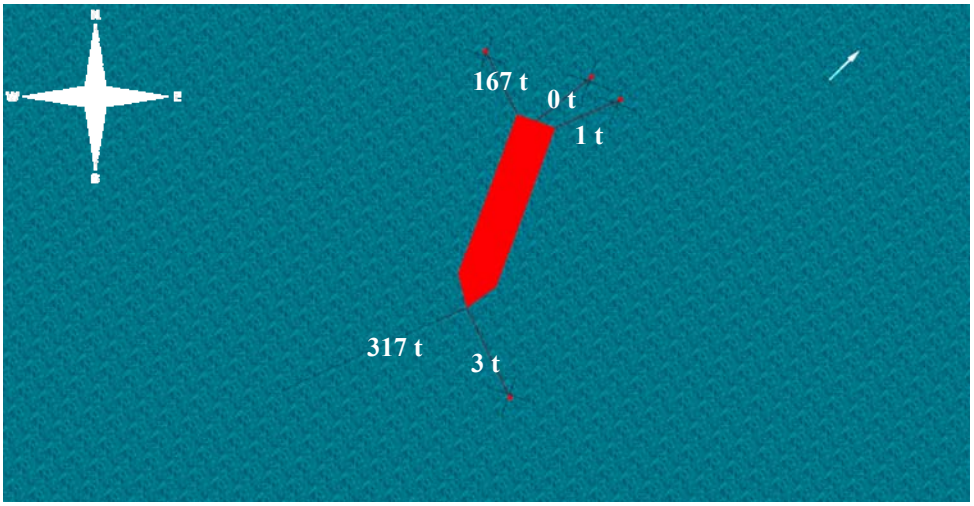
Şekil B.29: A_8 hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü kuzey)



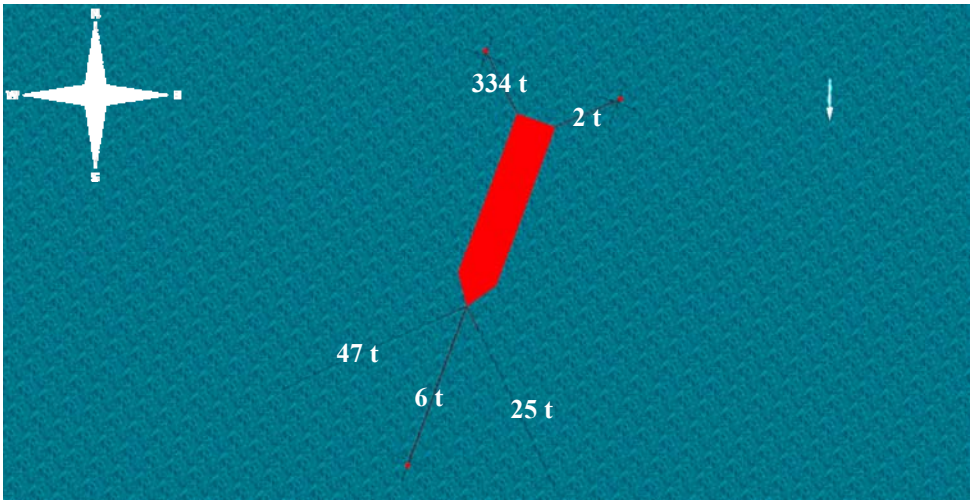
Şekil B.30: A_8 hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü kuzey doğu)



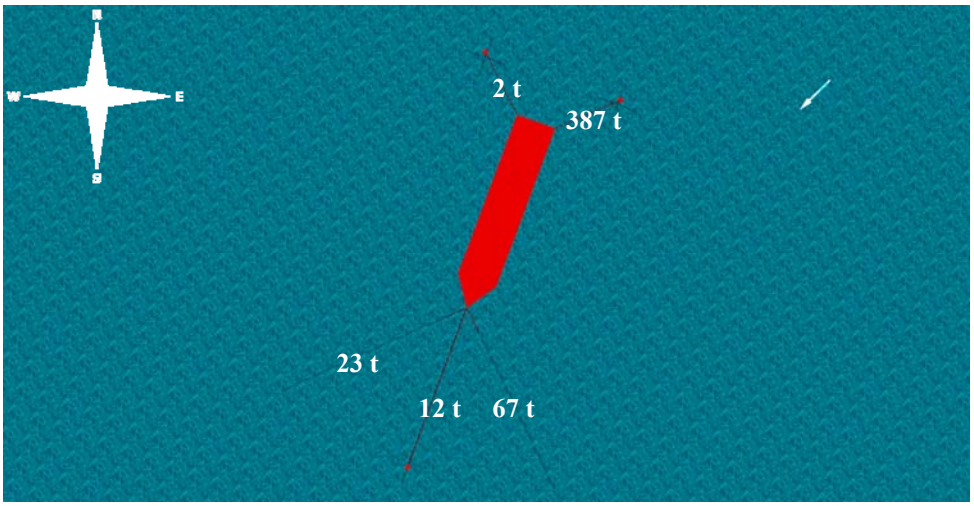
Şekil B.31: A_8 hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü güney)



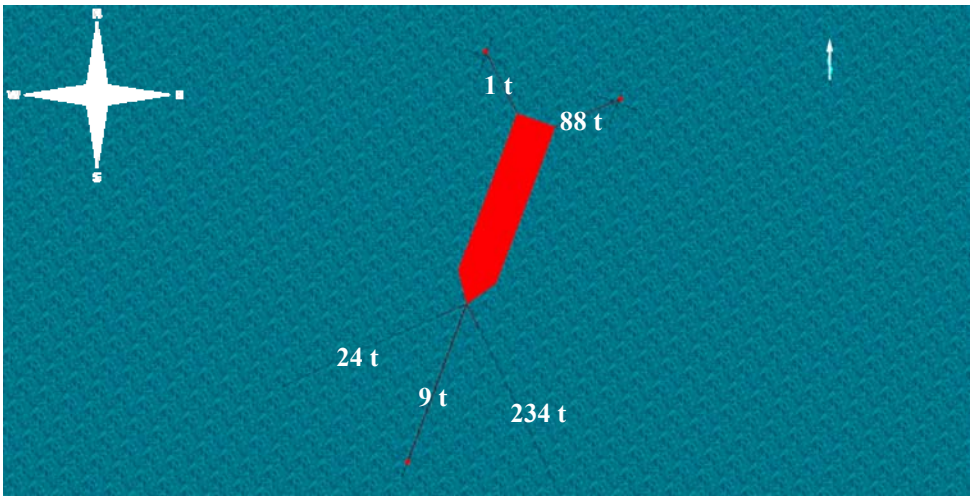
Şekil B.32: A_8 için hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü güney batı)



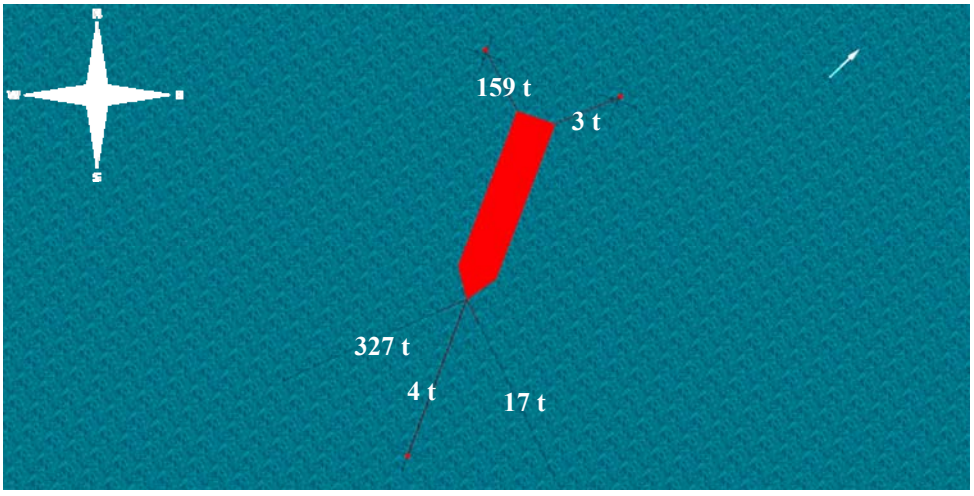
Şekil B.33: A_9 için hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü kuzey)



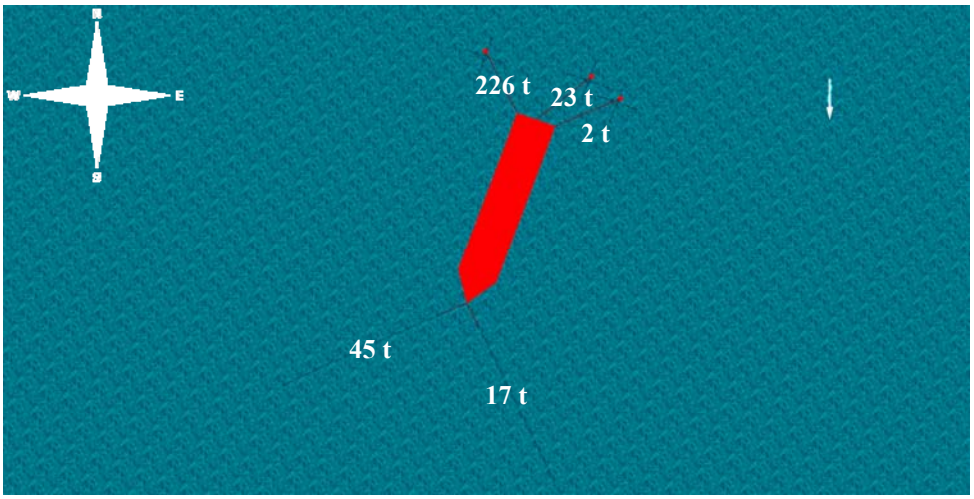
Şekil B.34: A_9 hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü kuzey doğu)



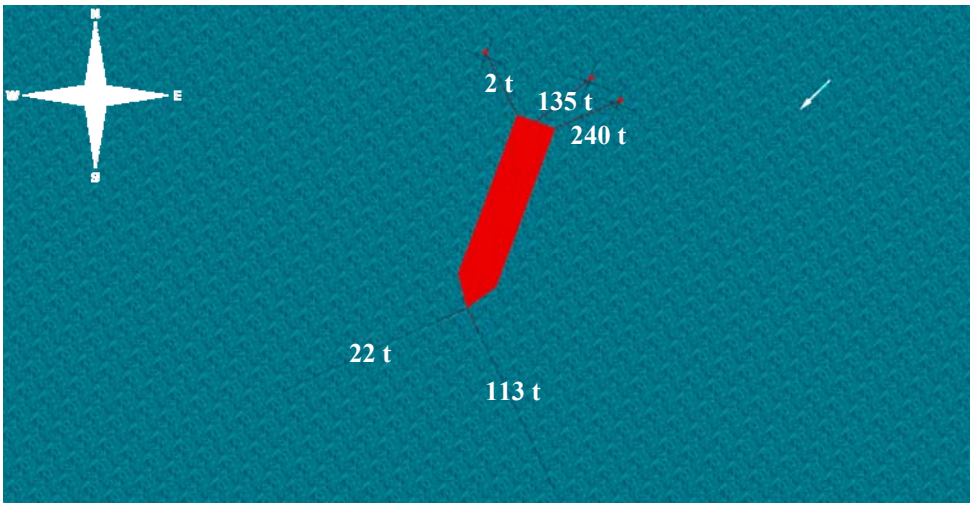
Şekil B.35: A_9 hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü güney)



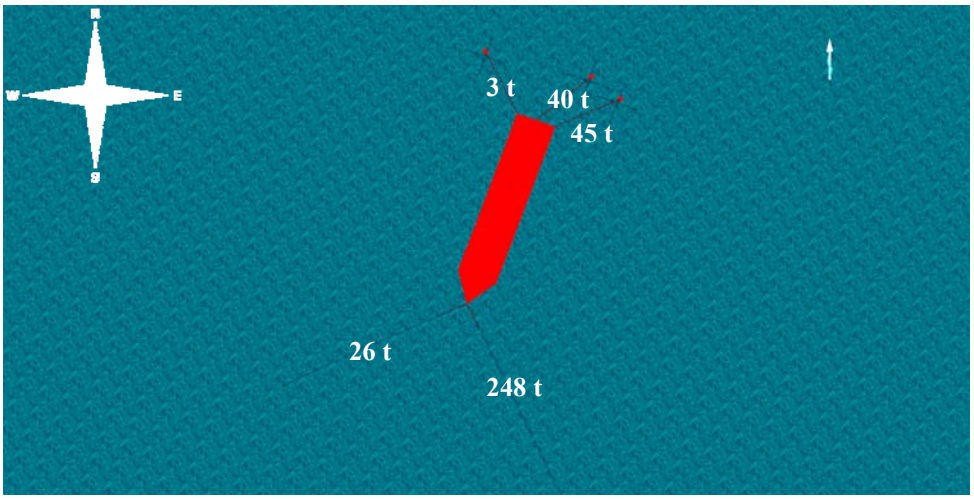
Şekil B.36: A_9 hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü güney batı)



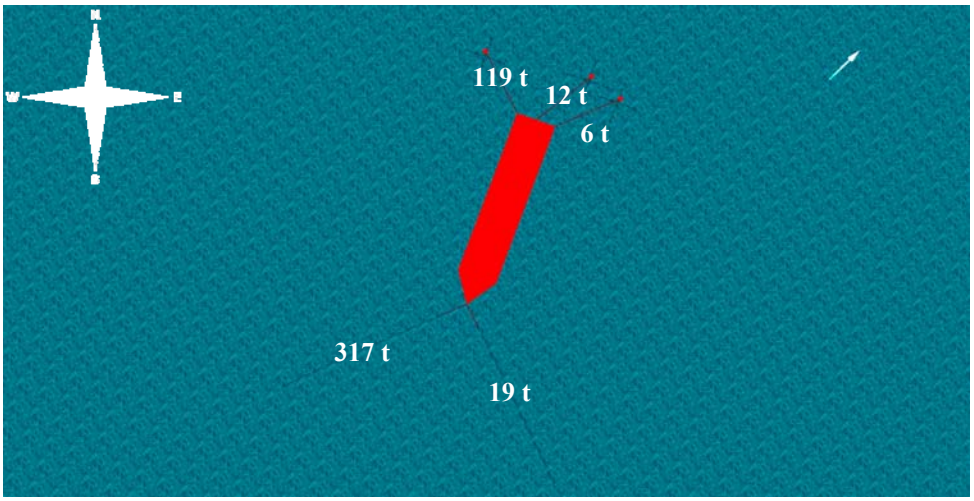
Şekil B.37: A_{10} hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü kuzey)



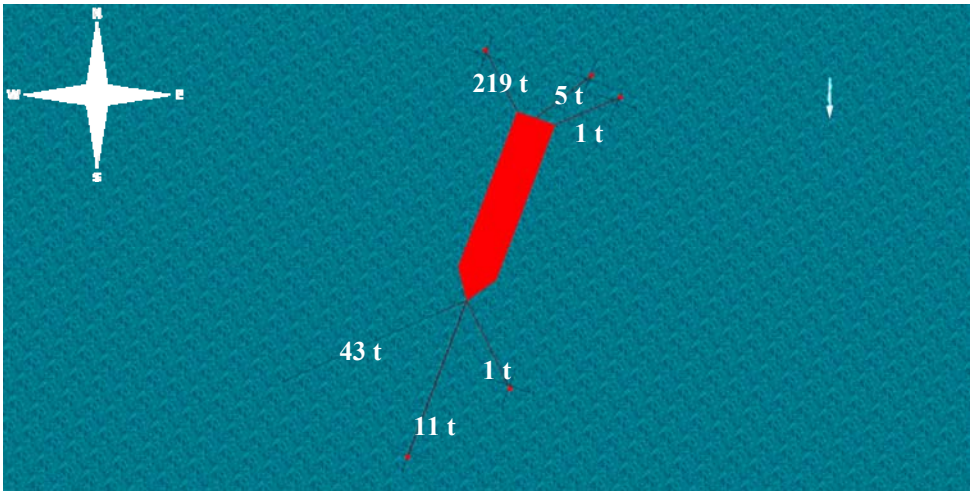
Şekil B.38: A_{10} hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü kuzey doğu)



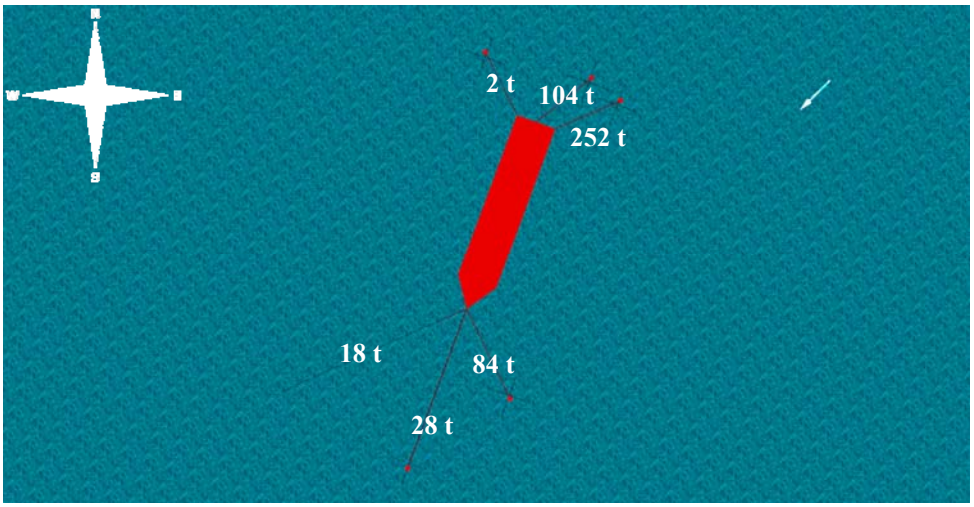
Şekil B.39: A_{10} hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü güney)



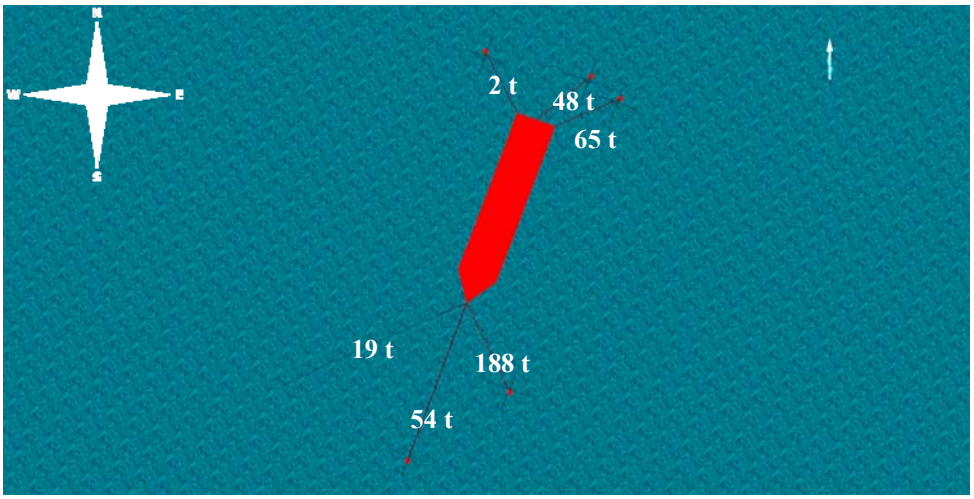
Şekil B.40: A_{10} hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü güney batı)



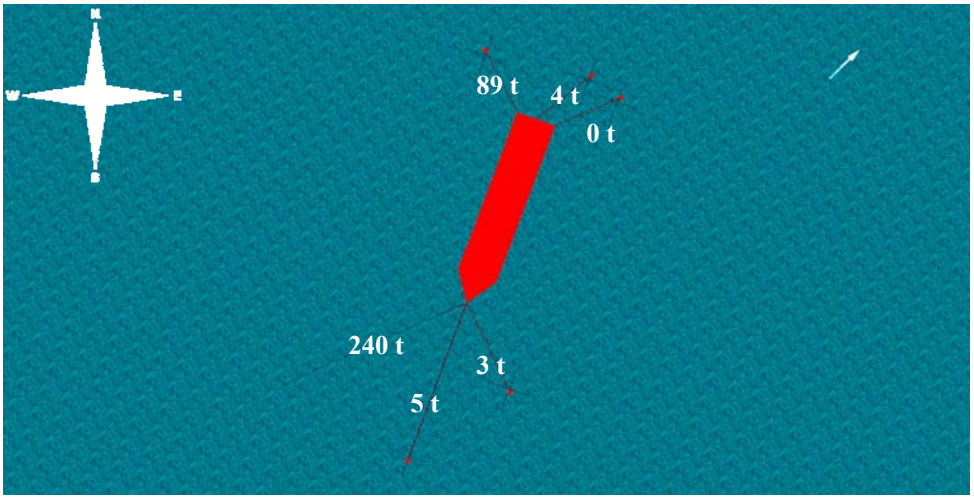
Şekil B.41: A_{11} hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü kuzey)



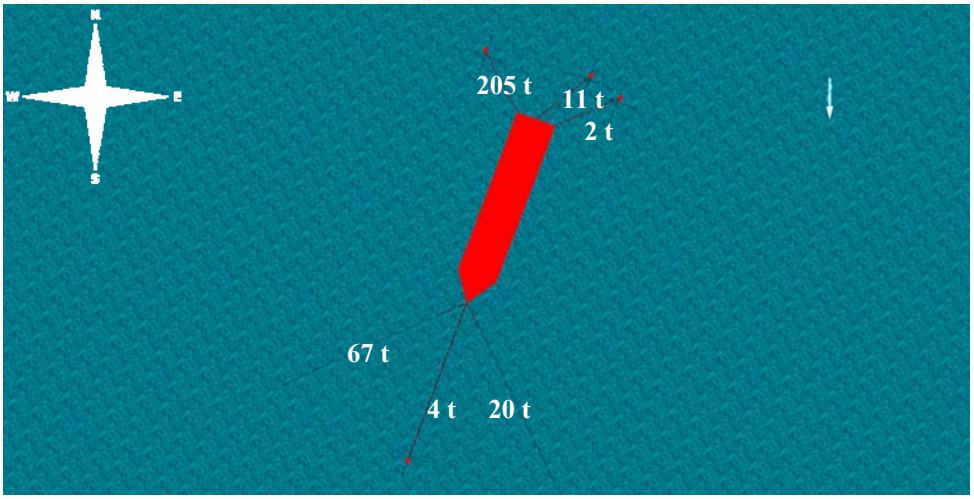
Şekil B.42: A_{11} hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü kuzey doğu)



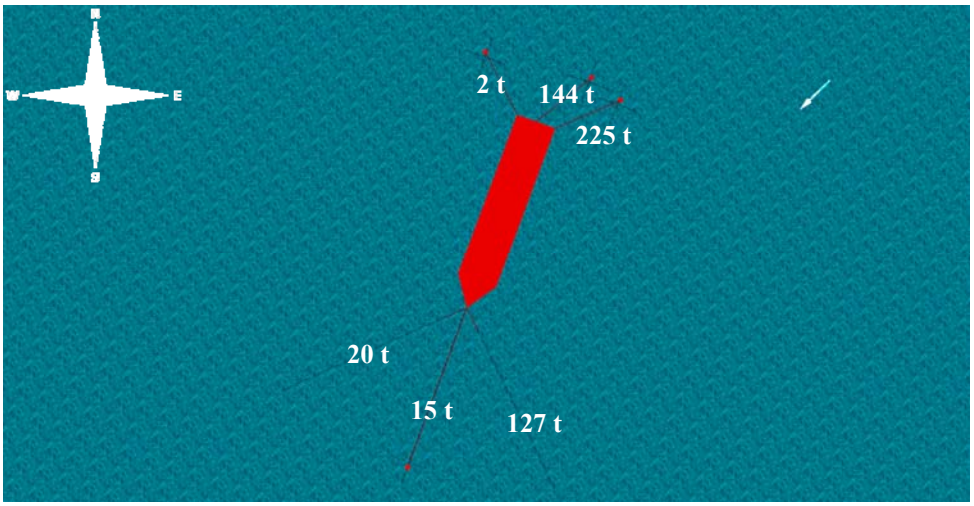
Şekil B.43: A_{11} için hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü güney)



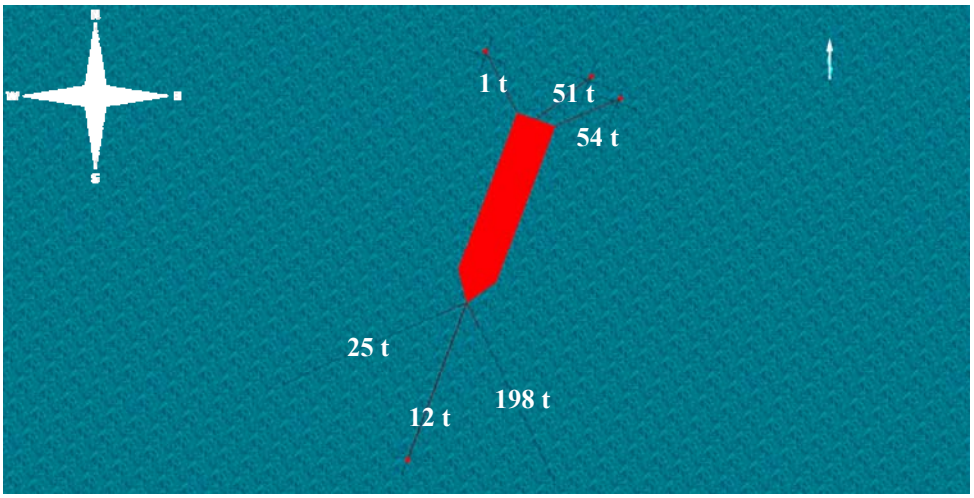
Şekil B.44: A_{11} hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü güney batı)



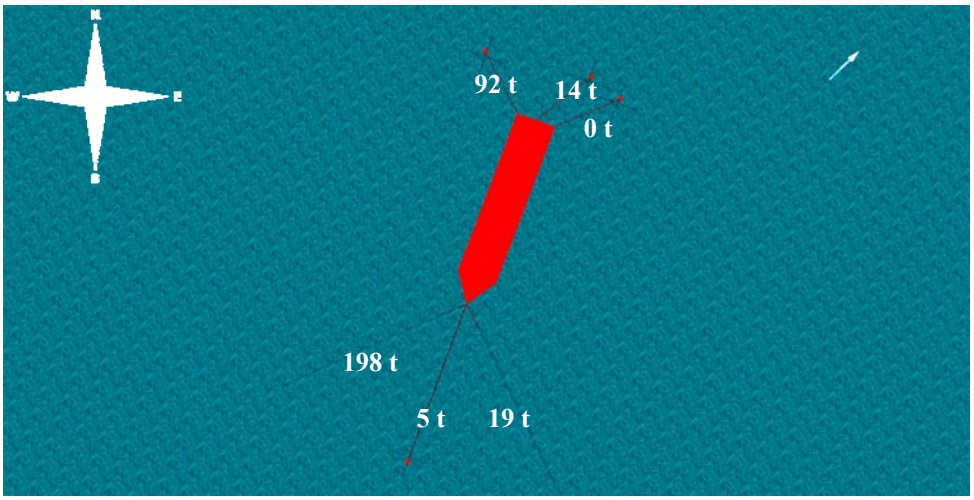
Şekil B.45: A_{12} hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü kuzey)



Şekil B.46: A_{12} hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü kuzey doğu)



Şekil B.47: A_{12} için hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü güney)



Şekil B.48: A_{12} hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü güney batı)

EK C: Maksimum gerilmeye maruz kalan halat/çapa için diğer halat/çapa gerilme değerleri

Çizelge C.1 : Maksimum gerilmeye maruz kalan halat/çapa için diğer halat/çapa gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü kuzey)

	Baş sancak halatı	Baş iskele halatı	Baş merkez halatı	Kıç sancak halatı	Kıç iskele halatı	Kıç merkez halatı	Sancak çapası	İskele çapası	Merkez çapası
A_1	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	466	mevcut degil	mevcut degil	266
A_2	mevcut degil	mevcut degil	155	mevcut degil	mevcut degil	430	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil
A_3	mevcut degil	mevcut degil	21	182	4	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil
A_4	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	219	3	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	30
A_5	81	3	mevcut degil	321	2	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil
A_6	mevcut degil	2	mevcut degil	361	1	mevcut degil	42	mevcut degil	mevcut degil
A_7	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	329	2	mevcut degil	64	20	mevcut degil
A_8	mevcut degil	3	mevcut degil	275	2	4	64	mevcut degil	mevcut degil
A_9	mevcut degil	mevcut degil	6	334	2	mevcut degil	47	25	mevcut degil
A_{10}	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	226	2	23	45	17	mevcut degil
A_{11}	mevcut degil	1	11	219	1	5	43	mevcut degil	mevcut degil
A_{12}	mevcut degil	mevcut degil	4	205	2	11	67	20	mevcut degil

Çizelge C.2 : Maksimum gerilmeye maruz kalan halat/çapa için diğer halat/çapagerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü k.doğu)

	Baş sancak halatı	Baş iskele halatı	Baş merkez halatı	Kıç sancak halatı	Kıç iskele halatı	Kıç merkez halatı	Sancak çapası	İskele çapası	Merkez çapası
A_1	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	576	mevcut degil	mevcut degil	104
A_2	mevcut degil	mevcut degil	203	mevcut degil	mevcut degil	540	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil
A_3	mevcut degil	mevcut degil	64	2	319	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil
A_4	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	130	348	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	47
A_5	5	79	mevcut degil	1	424	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil
A_6	mevcut degil	89	mevcut degil	1	417	mevcut degil	20	mevcut degil	mevcut degil
A_7	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	4	399	mevcut degil	20	53	mevcut degil
A_8	mevcut degil	141	mevcut degil	1	285	93	18	mevcut degil	mevcut degil
A_9	mevcut degil	mevcut degil	12	2	387	mevcut degil	23	67	mevcut degil
A_{10}	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	2	240	135	22	113	mevcut degil
A_{11}	mevcut degil	28	84	2	252	104	18	mevcut degil	mevcut degil
A_{12}	mevcut degil	mevcut degil	15	2	225	144	20	127	mevcut degil

Çizelge C.3 : Maksimum gerilmeye maruz kalan halat/çapa için diğer halat/çapa gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü güney)

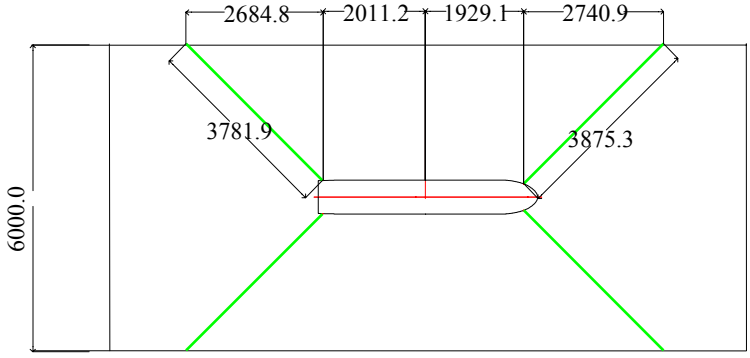
	Baş sancak halatı	Baş iskele halatı	Baş merkez halatı	Kıç sancak halatı	Kıç iskele halatı	Kıç merkez halatı	Sancak çapası	İskele çapası	Merkez çapası
A_1	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	295	mevcut degil	mevcut degil	567
A_2	mevcut degil	mevcut degil	475	mevcut degil	mevcut degil	219	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil
A_3	mevcut degil	mevcut degil	646	3	219	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil
A_4	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	5	283	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	603
A_5	3	288	mevcut degil	2	67	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil
A_6	mevcut degil	323	mevcut degil	2	86	mevcut degil	20	mevcut degil	mevcut degil
A_7	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	1	89	mevcut degil	25	242	mevcut degil
A_8	mevcut degil	314	mevcut degil	2	28	2	145	mevcut degil	mevcut degil
A_9	mevcut degil	mevcut degil	9	1	88	mevcut degil	24	234	mevcut degil
A_{10}	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	3	45	40	26	248	mevcut degil
A_{11}	mevcut degil	54	188	2	65	48	19	mevcut degil	mevcut degil
A_{12}	mevcut degil	mevcut degil	12	1	54	51	25	198	mevcut degil

Çizelge C.4 : Maksimum gerilmeye maruz kalan halat/çapa için diğer halat/çapa gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü g. batı)

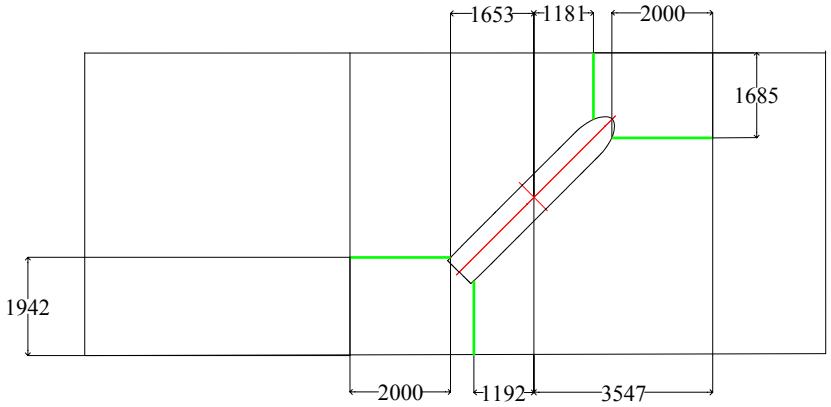
	Baş sancak halatı	Baş iskele halatı	Baş merkez halatı	Kıç sancak halatı	Kıç iskele halatı	Kıç merkez halatı	Sancak çapası	İskele çapası	Merkez çapası
A_1	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	284	mevcut degil	mevcut degil	620
A_2	mevcut degil	mevcut degil	725	mevcut degil	mevcut degil	295	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil
A_3	mevcut degil	mevcut degil	698	425	3	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil
A_4	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	437	2	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	683
A_5	363	2	mevcut degil	188	2	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil
A_6	mevcut degil	2	mevcut degil	131	1	mevcut degil	304	mevcut degil	mevcut degil
A_7	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	153	4	mevcut degil	317	17	mevcut degil
A_8	mevcut degil	3	mevcut degil	167	1	0	317	mevcut degil	mevcut degil
A_9	mevcut degil	mevcut degil	4	159	3	mevcut degil	327	17	mevcut degil
A_{10}	mevcut degil	mevcut degil	mevcut degil	119	6	12	317	19	mevcut degil
A_{11}	mevcut degil	5	3	89	0	4	240	mevcut degil	mevcut degil
A_{12}	mevcut degil	mevcut degil	5	92	0	14	198	19	mevcut degil

EK D: Tanker bağlama sistemi deneyi senaryoları

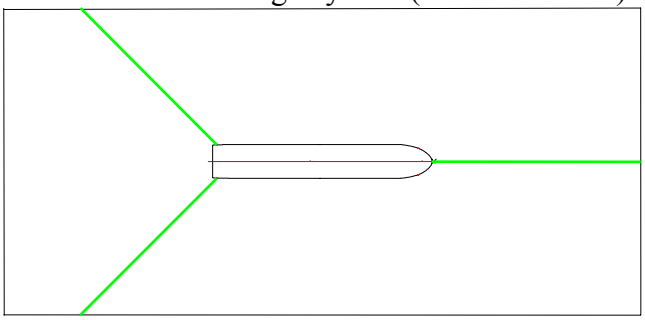
Şekil D.1 : 4 Noktadan bağlı system (model 0 derece)



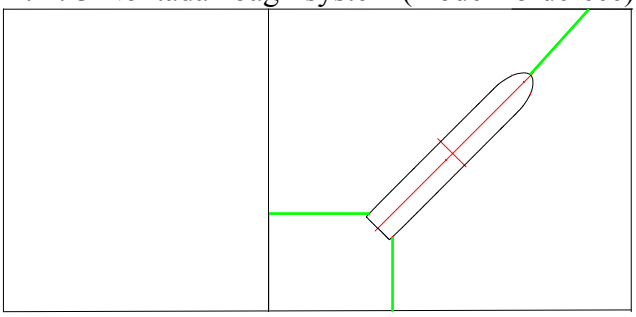
Şekil D.2 : 4 Noktadan bağlı system (model 45 derece)



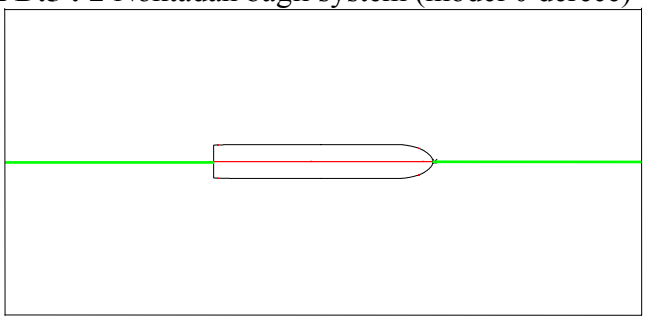
Şekil D.3 : 3 Noktadan bağlı system (model 0 derece)



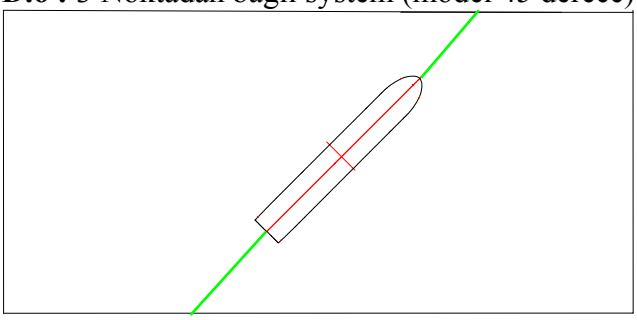
Şekil D.4 : 3 Noktadan bağlı system (model 45 derece)



Şekil D.5 : 2 Noktadan bağlı system (model 0 derece)



Şekil D.6 : 3 Noktadan bağlı system (model 45 derece)



EK E. Anket

İTÜ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
DENİZ TEKNOLOJİSİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DENİZ TEKNOLOJİSİ MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI
DOKTORA TEZ ANKETİ

Tez Danışmanı: Doç. Dr. İsmail H. HELVACIOĞLU
Hazırlayan: Y. Müh. Ayhan MENTEŞ

Marmara denizinin doğusunda, Yalova açıklarında kurulacak bir petrol yükleme – boşaltma istasyonunda yükleme – boşaltma işlemleri yapacak tankerler için en uygun bağlama şeklinin seçimi konusunda bir doktora tezi hazırlanmaktadır.

Ek'te bu konuda size birtakım sorular sorulmaktadır. Bilgi ve tecrübelerinizle doktora tezine sağlayacağınız değerli katkılar nedeni ile çok teşekkür ederiz.

Ayhan MENTEŞ

Genel Bilgi :

Çok noktadan bağlı tanker-şamandıra sistemi için oniki (12) farklı bağlama şekli belirlenmiştir (alternatifler). Tanker – şamandıra sistemi bağlama şekilleri Tablo 3 ve Tablo 4 de "Tanker - Şamandıra Sistemleri" başlığı altında görülmektedir.

Tanker - şamandıra sisteminin seçiminde etkili olan kriterler ise aşağıda sıralanmıştır.

Mevcut Kriterler:

1. İlk yatırım maliyeti (C1) : Çok noktalı bağlama sisteminde kullanılacak şamandıraların bir tanesi için sistem maliyeti (sistem = şamandıra + alt yapı sistemi (bağlama hattı (zincir ve aranjmanları) + sinkerler + çapalar) (Amerikan Doları Cinsinden ($)).

2. Bakım – tutum – servis ve işletme masrafları (C2) : Bir şamandıranın yıllık maliyeti (Amerikan Doları Cinsinden ($)).

3. Bağlanacak tankerin tonajı/ana boyutları/geometrisi (C3) : Yükleme – boşaltma işlemi yapacak tankerin taşıdığı petrol miktarı, ana boyutları ve geometrisi.

4. Tankerin güverte donanımı özellikleri (C4) : Gemi vincinin, manifoldunun ve donanımlarının konumu, manevra donanımının özellikleri (çelik, naylon, hibrit vb. halatlar).

5. Bağlama hatlarına gelen gerilme büyüklükleri (C5) : Her bir bağlama hattına gelen maksimum gerilme miktarı (ton) – Dinamik hesaplarla bulunacaktır.

6. Şamandıraların demirleme donanımı özellikleri (C6) : Yükleme – boşaltma işlemlerinde kullanılacak şamandıranın alt yapı sistemi donanımının özelliklerini ifade etmektedir.

7. Operasyon süresi (C7) : Yükleme – boşaltma işlemi yapacak tankerin, operasyonun yapılacağı istasyona gelip, çapalarını deniz dibine sermesi ve halatlarını şamandıralara bağlaması için geçen süredir.

8. Tanker yer değiştirme miktarı (C8): Tankerin bağlı bulunduğu konumda, operasyon sırasında meydana gelen en büyük yer değiştirme miktarıdır (metre) . Dinamik hesaplamalarla bulunacaktır.

9. Emniyet / güvenilirlik (C9) : Bu kısımda alternatifler ve kriterler, emniyet / güvenilirlik kriterine göre karşılaştırılıcaktır.

Soru1-Soru37:

Tanker-şamandıra sisteminin seçiminde etkili olan kriterler için Tablo 1 – Tablo 2'yi kullanarak ikili karşılaştırmalar yapmanız istenmektedir. Bu ikili karşılaştırmaları yaparken uygun gördüğünüz kutucuğa "+" işareti koymanız yeterlidir.

Soldaki bir kriteri sağdaki diğer tüm kriterlere göre kıyaslarken, soldaki kriter diğer kriterlere göre üstün ise "eşit öneme sahip" kutusunun sol kısmındaki sütunlardaki ilgili yeri, tersi durumda ise sağ taraftaki ilgili kutucuğa "+" işaretini koyunuz. Karşılaştırılan iki kriterin önem derecelerinin birbirine eşit olduğunu düşünüyorsanız, eşit öneme sahip kutusuna "+" işaretini koyunuz.

Çizelge E.1 : Tanker-Şamandıra Sistemlerinde Kriterlerin İkili Karşılaştırma İndeksi

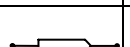
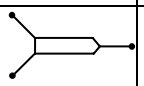
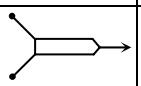
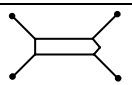
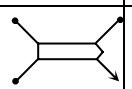
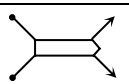
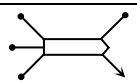
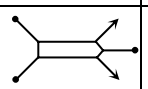
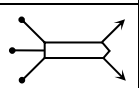
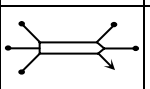
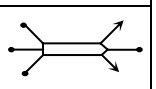
Sorular	Kriterler	Kesinlikle Daha Fazla Önemli	Çok Güçlü Derecede Daha Fazla Önemli	Güçlü Derecede Daha Fazla Önemli	Biraz Daha Önemli	Eşit Önemne Sahip	Biraz Daha Önemli	Güçlü Derecede Daha Fazla Önemli	Çok Güçlü Derecede Daha Fazla Önemli	Kesinlikle Daha Fazla Önemli	Kriterler
S1	İlk Yatırım Maliyeti (C1)										Bakım – Tutum – Servis ve İşletme Masrafları (C2)
S2											Bağlanacak tankerin tonajı / ana boyutları / geometrisi (C3)
S3											Tankerin güverte donanımı özellikleri (C4)
S4											Bağlama hatlarına gelen gerilme büyüklükleri (C5)
S5											Şamandıraların demirleme donanımı özellikleri (C6)
S6											Operasyon süresi (C7)
S7											Tanker yer değiştirme miktarı (C8)
S8											Emniyet / güvenilirlik (C9)
S12	Bakım – Tutum – Servis ve İşletme Masrafları (C2)										Tanker tonajı / ana boyutları / geometrisi (C3)
S13											Tankerin güverte donanımı özellikleri (C4)
S14											Bağlama hatlarına gelen gerilme büyüklükleri (C5)
S15											Şamandıraların demirleme donanımı özellikleri (C6)
S16											Operasyon süresi (C7)
S17											Tanker yer değiştirme miktarı (C8)
S18											Emniyet / güvenilirlik (C9)
S22	Bağlanacak tankerin tonajı / ana boyutları / geometrisi (C3)										Tankerin güverte donanımı özellikleri (C4)
S23											Bağlama hatlarına gelen gerilme büyüklükleri (C5)
S24											Şamandıraların demirleme donanımı özellikleri (C6)
S25											Operasyon süresi (C7)
S26											Tanker yer değiştirme miktarı (C8)
S27											Emniyet / güvenilirlik (C9)
S31	Tankerin güverte donanımı özellikleri (C4)										Bağlama hatlarına gelen gerilme büyüklükleri (C5)
S32											Şamandıraların demirleme donanımı özellikleri (C6)
S33											Operasyon süresi (C7)
S34											Tanker yer değiştirme miktarı (C8)
S35											Emniyet / güvenilirlik (C9)

Çizelge E.2 : Tanker-Şamandıra Sistemlerinde Kriterlerin İkili Karşılaştırma İndeksi

Sorular	Kriterler	Kesinlikle Daha Fazla Önemli	Çok Güçlü Derecede Daha Fazla Önemli	Güçlü Derecede Daha Fazla Önemli	Biraz Daha Önemli	Eşit Önemde Sahip	Biraz Daha Önemli	Güçlü Derecede Daha Fazla Önemli	Çok Güçlü Derecede Daha Fazla Önemli	Kesinlikle Daha Fazla Önemli	Kriterler
S39	Bağlama hatlarına gelen gerilme büyüklükleri (C5)										Şamandıraların demirleme donanımı özellikleri (C6)
S40											Operasyon süresi (C7)
S41											Tanker yer değiştirme miktarı (C8)
S42											Emniyet / güvenilirlik (C9)
S46	Şamandıraların demirleme donanımı özellikleri (C6)										Operasyon süresi (C7)
S47											Tanker yer değiştirme miktarı (C8)
S48											Emniyet / güvenilirlik (C9)
S52	Operasyon süresi (C7)										Tanker yer değiştirme miktarı (C8)
S53											Emniyet / güvenilirlik (C9)
S57	Tanker yer değiştirme miktarı (C8)										Emniyet / güvenilirlik (C9)

Soru38: Bu bölümde, şekilleri verilen 12 farklı bağlama sistemini C1, C2 ve C7 kriterleri için, kıyaslamanız istenmektedir. Alternatif bağlama şekilleri için kıyaslama yaparken C1 ve C2 kriterleri için "$" olarak, C7 kriteri için saat olarak değer giriniz. Girdiğiniz sayısal değerler kesin değerler olabileceği gibi (50,000 $, 70,000 $ / 4 saat, 6 saat vb.), bir aralıkta olabilir (40,000 – 50,000 $, 100,000 – 120,000 $ arası / 4-5 saat, 6 – 8 saat arası vb.). C5 ve C8 kriterleri yapılan hesaplarla bulunduğu için değer girmeyiniz.

Çizelge E.3 : Kriter Bazında Alternatiflerin İkili Karşılaştırma Skalası

	Tanker – Şamandıra Sistemleri											
	1 Şamandıra 1 Çapa	2 Şamandıra	3 Şamandıra	2 Şamandıra 1 Çapa	4 Şamandıra	3 Şamandıra 1 Çapa	2 Şamandıra 2 Çapa	4 Şamandıra 1 Çapa	3 Şamandıra 2 Çapa	3 Şamandıra 2 Çapa	5 Şamandıra 1 Çapa	4 Şamandıra 2 Çapa
												
İlk yatırım maliyeti (C1)												
Bakım – tutum – servis ve işletme masrafları (C2)												
Operasyon süresi (C7)												
Bağlama hatlarına gelen gerilme büyüklükleri (C5)												
Tanker yer değiştirme miktarı (C8)												

Soru39: Aşağıda C3, C4, C6 ve C9 kiterlerine göre alternatif bağlama şekillerini karşılaştırırken aşağıdaki ölçeği kullanınız;

1 Çok Kötü

3 Kötü

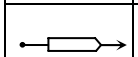
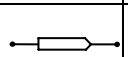
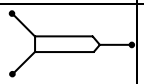
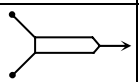
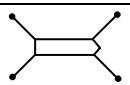
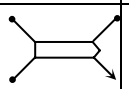
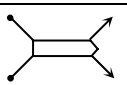
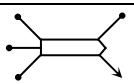
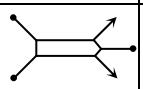
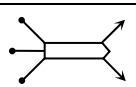
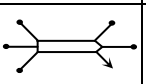
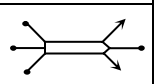
5 Orta

7 İyi

9 Çok İyi

ya da ara değerler varsa 2 – 4 – 6 – 8 puanlarını veriniz.

Çizelge E.4 : Kriter Bazında Alternatif Karşılaştırma Skalası

	Tanker – Şamandıra Sistemleri											
	1 Şamandıra 1 Çapa	2 Şamandıra	3 Şamandıra	2 Şamandıra 1 Çapa	4 Şamandıra	3 Şamandıra 1 Çapa	2 Şamandıra 2 Çapa	4 Şamandıra 1 Çapa	3 Şamandıra 2 Çapa	3 Şamandıra 2 Çapa	5 Şamandıra 1 Çapa	4 Şamandıra 2 Çapa
												
Tanker tonajı/ana boyutları/geometrisi (C3)												
Tankerin güverte donanımı özellikleri (C4)												
Şamandıraların demirleme donanımı özellikleri (C6)												
Emniyet / güvenilirlik (C9)												

Doktora tezinin gelişimine ve ankete katkı sağlayacak düşünce ve önerileriniz varsa lütfen bu kısımda bizimle paylaşınız.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

EK F: Öz niteliklerin üçgensel bulanık sayı değerleri

Çizelge F.1 : KV1 için öz-niteliklerin üçgensel bulanık sayı değerleri

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
C1	(1,1,1)	(2.75,3,3)	(2.75,3,3)	(2.75,3,3)	(2.75,3,3)	(2.75,3,3)	(2.75,3,3)	(2.75,3,3)	(2.75,3,3)
C2	(0.3,0.3,0.4)	(1,1,1)	(1,1,1.25)	(1,1,1.25)	(1,1,1.25)	(0.3,0.3,0.4)	(0.3,0.3,0.4)	(1,1,1.25)	(0.3,0.3,0.4)
C3	(0.3,0.3,0.4)	(0.8,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1.25)	(1,1,1.25)	(0.3,0.3,0.4)	(0.3,0.3,0.4)	(1,1,1.25)	(0.3,0.3,0.4)
C4	(0.3,0.3,0.4)	(0.8,1,1)	(0.8,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1.25)	(0.3,0.3,0.4)	(0.3,0.3,0.4)	(1,1,1.25)	(0.3,0.3,0.4)
C5	(0.3,0.3,0.4)	(0.8,1,1)	(0.8,1,1)	(0.3,0.3,0.4)	(1,1,1)	(2.75,3,3)	(0.3,0.3,0.4)	(1,1,1.25)	(0.3,0.3,0.4)
C6	(0.3,0.3,0.4)	(2.75,3,3)	(2.75,3,3)	(2.75,3,3)	(0.3,0.3,0.4)	(1,1,1)	(2.75,3,3)	(1,1,1.25)	(0.3,0.3,0.4)
C7	(0.3,0.3,0.4)	(2.75,3,3)	(2.75,3,3)	(2.75,3,3)	(2.75,3,3)	(0.3,0.3,0.4)	(1,1,1)	(2.75,3,3)	(0.3,0.3,0.4)
C8	(0.3,0.3,0.4)	(0.8,1,1)	(0.8,1,1)	(0.8,1,1)	(0.8,1,1)	(0.8,1,1)	(0.3,0.3,0.4)	(1,1,1)	(0.3,0.3,0.4)
C9	(0.3,0.3,0.4)	(2.75,3,3)	(2.75,3,3)	(2.75,3,3)	(2.75,3,3)	(2.75,3,3)	(2.75,3,3)	(2.75,3,3)	(1,1,1)

Çizelge F.2 : KV2 için öz-niteliklerin üçgensel bulanık sayı değerleri

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
C1	(1,1,1)	(2.8,3,3)	(2.3,2.5,2.8)	(1.8,2,2.3)	(0.4,0.5,0.6)	(2.3,2.5,2.8)	(2.8,3,3)	(2.8,3,3)	(0.4,0.5,0.6)
C2	(0.3,0.3,0.4)	(1,1,1)	(1.3,1.5,1.8)	(1.3,1.5,1.8)	(1.8,2,2.3)	(1.3,1.5,1.8)	(1.3,1.5,1.8)	(1.3,1.5,1.8)	(0.4,0.5,0.6)
C3	(0.4,0.4,0.4)	(0.6,0.7,0.8)	(1,1,1)	(1,1,1.3)	(1,1,1.3)	(1.3,1.5,1.8)	(1,1,1.3)	(1,1,1.3)	(0.4,0.5,0.6)
C4	(0.4,0.5,0.6)	(0.6,0.7,0.8)	(0.8,1,1)	(1,1,1)	(1.3,1.5,1.8)	(1,1,1.3)	(1,1,1.3)	(1,1,1.3)	(0.4,0.4,0.4)
C5	(1.8,2,2.3)	(0.4,0.5,0.6)	(0.8,1,1)	(0.6,0.7,0.8)	(1,1,1)	(1.3,1.5,1.8)	(1.3,1.5,1.8)	(1,1,1.3)	(0.4,0.4,0.4)
C6	(0.4,0.4,0.4)	(0.6,0.7,0.8)	(0.6,0.7,0.8)	(0.8,1,1)	(0.6,0.7,0.8)	(1,1,1)	(0.6,0.7,0.8)	(0.6,0.7,0.8)	(0.3,0.3,0.4)
C7	(0.3,0.3,0.4)	(0.6,0.7,0.8)	(0.8,1,1)	(0.8,1,1)	(0.6,0.7,0.8)	(1.3,1.5,1.8)	(1,1,1)	(1,1,1.3)	(0.4,0.4,0.4)
C8	(0.3,0.3,0.4)	(0.6,0.7,0.8)	(0.8,1,1)	(0.8,1,1)	(0.8,1,1)	(1.3,1.5,1.8)	(0.8,1,1)	(1,1,1)	(0.3,0.3,0.4)
C9	(1.8,2,2.3)	(1.8,2,2.3)	(1.8,2,2.3)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.8,3,3)	(2.3,2.5,2.8)	(2.8,3,3)	(1,1,1)

Çizelge F.3 : KV3 için öz-niteliklerin üçgensel bulanık sayı değerleri

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
C1	(1,1,1)	(1,1,1.3)	(1.8,2,2.3)	(1,1,1.3)	(0.4,0.5,0.6)	(2.3,2.5,2.8)	(1,1,1.3)	(1,1,1.3)	(1.8,2,2.3)
C2	(0.8,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1.3)	(1,1,1.3)	(1.8,2,2.3)	(1.8,2,2.3)	(1,1,1.3)	(1,1,1.3)	(0.4,0.5,0.6)
C3	(0.4,0.5,0.6)	(0.8,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1.3)	(1.8,2,2.3)	(2.8,3,3)	(1.8,2,2.3)	(1.8,2,2.3)	(1,1,1.3)
C4	(0.8,1,1)	(0.8,1,1)	(0.8,1,1)	(1,1,1)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(1.8,2,2.3)	(1.8,2,2.3)
C5	(1.8,2,2.3)	(0.4,0.5,0.6)	(0.4,0.5,0.6)	(0.4,0.4,0.4)	(1,1,1)	(0.4,0.4,0.4)	(0.4,0.5,0.6)	(1,1,1.3)	(1,1,1.3)
C6	(0.4,0.4,0.4)	(0.4,0.5,0.6)	(0.3,0.3,0.4)	(0.4,0.4,0.4)	(2.3,2.5,2.8)	(1,1,1)	(2.3,2.5,2.8)	(1,1,1.3)	(2.3,2.5,2.8)
C7	(0.8,1,1)	(0.8,1,1)	(0.4,0.5,0.6)	(0.4,0.4,0.4)	(1.8,2,2.3)	(0.4,0.4,0.4)	(1,1,1)	(1,1,1.3)	(0.4,0.4,0.4)
C8	(0.8,1,1)	(0.8,1,1)	(0.4,0.5,0.6)	(0.4,0.5,0.6)	(0.8,1,1)	(1.3,1.5,1.8)	(0.8,1,1)	(1,1,1)	(0.3,0.3,0.4)
C9	(0.4,0.4,0.4)	(1.8,2,2.3)	(0.8,1,1)	(0.4,0.5,0.6)	(0.8,1,1)	(0.4,0.4,0.4)	(2.3,2.5,2.8)	(2.8,3,3)	(1,1,1)

Çizelge F.4 : KV4 için öz-niteliklerin üçgensel bulanık sayı değerleri

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
C1	(1,1,1)	(1,1,1.3)	(0.4,0.5,0.6)	(1.8,2,2.3)	(2.3,2.5,2.8)	(1.8,2,2.3)	(0.6,0.7,0.8)	(2.3,2.5,2.8)	(1,1,1.3)
C2	(0.8,1,1)	(1,1,1)	(1.8,2,2.3)	(1.3,1.5,1.8)	(2.3,2.5,2.8)	(1.8,2,2.3)	(1.8,2,2.3)	(2.3,2.5,2.8)	(1,1,1.3)
C3	(1.8,2,2.3)	(0.4,0.5,0.6)	(1,1,1)	(1,1,1.3)	(1,1,1.3)	(0.4,0.5,0.6)	(1.3,1.5,1.8)	(2.3,2.5,2.8)	(0.4,0.4,0.4)
C4	(0.4,0.5,0.6)	(0.6,0.7,0.8)	(0.8,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1.3)	(0.4,0.5,0.6)	(1.3,1.5,1.8)	(1.8,2,2.3)	(0.4,0.4,0.4)
C5	(0.4,0.4,0.4)	(0.4,0.4,0.4)	(0.8,1,1)	(0.8,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1.3)	(1.8,2,2.3)	(1.8,2,2.3)	(2.3,2.5,2.8)
C6	(0.4,0.5,0.6)	(0.4,0.5,0.6)	(1.8,2,2.3)	(1.8,2,2.3)	(0.8,1,1)	(1,1,1)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(1,1,1.3)
C7	(1.3,1.5,1.8)	(0.4,0.5,0.6)	(0.6,0.7,0.8)	(0.6,0.7,0.8)	(0.4,0.5,0.6)	(0.4,0.4,0.4)	(1,1,1)	(1.3,1.5,1.8)	(0.4,0.4,0.4)
C8	(0.4,0.4,0.4)	(0.4,0.4,0.4)	(0.4,0.4,0.4)	(0.4,0.5,0.6)	(0.4,0.5,0.6)	(0.4,0.4,0.4)	(0.6,0.7,0.8)	(1,1,1)	(0.4,0.4,0.4)
C9	(0.8,1,1)	(0.8,1,1)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(0.4,0.4,0.4)	(0.8,1,1)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(1,1,1)

Çizelge F.5 : KV5 için öz-niteliklerin üçgensel bulanık sayı değerleri

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
C1	(1,1,1)	(2.3,2.5,2.8)	(0.4,0.4,0.4)	(1.8,2,2.3)	(0.4,0.5,0.6)	(1.8,2,2.3)	(2.8,3,3)	(0.4,0.5,0.6)	(0.4,0.5,0.6)
C2	(0.4,0.4,0.4)	(1,1,1)	(0.3,0.3,0.4)	(0.4,0.5,0.6)	(0.3,0.3,0.4)	(0.4,0.5,0.6)	(0.6,0.7,0.8)	(0.3,0.3,0.4)	(0.3,0.3,0.4)
C3	(2.3,2.5,2.8)	(2.8,3,3)	(1,1,1)	(2.3,2.5,2.8)	(1.3,1.5,1.8)	(1.3,1.5,1.8)	(2.3,2.5,2.8)	(1.3,1.5,1.8)	(0.4,0.4,0.4)
C4	(0.4,0.5,0.6)	(1.8,2,2.3)	(0.4,0.4,0.4)	(1,1,1)	(0.6,0.7,0.8)	(1,1,1.3)	(1.3,1.5,1.8)	(0.4,0.4,0.4)	(0.4,0.4,0.4)
C5	(1.8,2,2.3)	(2.8,3,3)	(0.6,0.7,0.8)	(1.3,1.5,1.8)	(1,1,1)	(1,1,1.3)	(0.4,0.4,0.4)	(1,1,1.3)	(0.4,0.4,0.4)
C6	(0.4,0.5,0.6)	(1.8,2,2.3)	(0.6,0.7,0.8)	(0.8,1,1)	(0.8,1,1)	(1,1,1)	(1.8,2,2.3)	(0.6,0.7,0.8)	(0.4,0.4,0.4)
C7	(0.3,0.3,0.4)	(1.3,1.5,1.8)	(0.4,0.4,0.4)	(0.6,0.7,0.8)	(2.3,2.5,2.8)	(0.4,0.5,0.6)	(1,1,1)	(0.4,0.5,0.6)	(0.4,0.4,0.4)
C8	(1.8,2,2.3)	(2.8,3,3)	(0.6,0.7,0.8)	(2.3,2.5,2.8)	(0.8,1,1)	(1.3,1.5,1.8)	(1.8,2,2.3)	(1,1,1)	(0.4,0.5,0.6)
C9	(1.8,2,2.3)	(2.8,3,3)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(1.8,2,2.3)	(1,1,1)

Çizelge F.6 : KV6 için öz-niteliklerin üçgensel bulanık sayı değerleri

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
C1	(1,1,1)	(2.3,2.5,2.8)	(0.4,0.4,0.4)	(1.8,2,2.3)	(1,1,1.3)	(1.8,2,2.3)	(2.8,3,3)	(1,1,1.3)	(1,1,1.3)
C2	(0.4,0.4,0.4)	(1,1,1)	(0.3,0.3,0.4)	(0.4,0.4,0.4)	(0.3,0.3,0.4)	(0.4,0.4,0.4)	(1,1,1.3)	(0.4,0.4,0.4)	(0.3,0.3,0.4)
C3	(2.3,2.5,2.8)	(2.8,3,3)	(1,1,1)	(2.3,2.5,2.8)	(1.3,1.5,1.8)	(1.8,2,2.3)	(2.8,3,3)	(1.3,1.5,1.8)	(1.3,1.5,1.8)
C4	(0.4,0.5,0.6)	(2.3,2.5,2.8)	(0.4,0.4,0.4)	(1,1,1)	(0.6,0.7,0.8)	(0.6,0.7,0.8)	(1.8,2,2.3)	(0.6,0.7,0.8)	(0.4,0.4,0.4)
C5	(1,1,1.3)	(2.8,3,3)	(0.6,0.7,0.8)	(1.3,1.5,1.8)	(1,1,1)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(1,1,1.3)	(0.6,0.7,0.8)
C6	(0.4,0.5,0.6)	(2.3,2.5,2.8)	(0.4,0.5,0.6)	(1.3,1.5,1.8)	(0.4,0.4,0.4)	(1,1,1)	(1,1,1.3)	(0.4,0.5,0.6)	(0.4,0.4,0.4)
C7	(0.3,0.3,0.4)	(0.8,1,1)	(0.3,0.3,0.4)	(0.4,0.5,0.6)	(0.4,0.4,0.4)	(0.8,1,1)	(1,1,1)	(0.3,0.3,0.4)	(0.3,0.3,0.4)
C8	(0.8,1,1)	(2.3,2.5,2.8)	(0.6,0.7,0.8)	(1.3,1.5,1.8)	(0.8,1,1)	(1.8,2,2.3)	(2.8,3,3)	(1,1,1)	(0.6,0.7,0.8)
C9	(0.8,1,1)	(2.8,3,3)	(0.6,0.7,0.8)	(2.3,2.5,2.8)	(1.3,1.5,1.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.8,3,3)	(1.3,1.5,1.8)	(1,1,1)

Çizelge F.7 : KV7 için öz-niteliklerin üçgensel bulanık sayı değerleri

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
C1	(1,1,1)	(1.3,1.5,1.8)	(0.4,0.4,0.4)	(0.3,0.3,0.4)	(0.4,0.4,0.4)	(1.3,1.5,1.8)	(0.6,0.7,0.8)	(0.4,0.5,0.6)	(0.4,0.4,0.4)
C2	(0.6,0.7,0.8)	(1,1,1)	(0.4,0.4,0.4)	(0.3,0.3,0.4)	(0.4,0.4,0.4)	(0.4,0.5,0.6)	(0.6,0.7,0.8)	(0.4,0.5,0.6)	(0.4,0.4,0.4)
C3	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(1,1,1)	(1.8,2,2.3)	(2.3,2.5,2.8)	(1,1,1.3)	(2.3,2.5,2.8)	(1,1,1.3)	(0.3,0.3,0.4)
C4	(2.8,3,3)	(2.8,3,3)	(0.4,0.5,0.6)	(1,1,1)	(1,1,1.3)	(1,1,1.3)	(2.8,3,3)	(1,1,1.3)	(1,1,1.3)
C5	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(0.4,0.4,0.4)	(0.8,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1.3)	(1,1,1.3)	(1,1,1.3)	(0.4,0.4,0.4)
C6	(0.6,0.7,0.8)	(1.8,2,2.3)	(0.8,1,1)	(0.8,1,1)	(0.8,1,1)	(1,1,1)	(1.8,2,2.3)	(1,1,1.3)	(0.4,0.4,0.4)
C7	(1.3,1.5,1.8)	(1.3,1.5,1.8)	(0.4,0.4,0.4)	(0.3,0.3,0.4)	(0.8,1,1)	(0.4,0.5,0.6)	(1,1,1)	(1,1,1.3)	(0.4,0.5,0.6)
C8	(1.8,2,2.3)	(1.8,2,2.3)	(0.8,1,1)	(0.8,1,1)	(0.8,1,1)	(0.8,1,1)	(0.8,1,1)	(1,1,1)	(0.4,0.5,0.6)
C9	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.8,3,3)	(0.8,1,1)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(1.8,2,2.3)	(1.8,2,2.3)	(1,1,1)

Çizelge F.8 : KV8 için öz-niteliklerin üçgensel bulanık sayı değerleri

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
C1	(1,1,1)	(2.5,2.8,3)	(0.6,0.7,0.8)	(1.8,2,2.3)	(1.8,2,2.3)	(2.5,2.8,3)	(1.8,2,2.3)	(0.4,0.4,0.4)	(0.4,0.4,0.4)
C2	(0.3,0.4,0.4)	(1,1,1)	(0.3,0.3,0.4)	(1,1,1.3)	(0.4,0.5,0.6)	(1,1,1.3)	(0.6,0.7,0.8)	(0.4,0.4,0.4)	(0.3,0.3,0.4)
C3	(1.3,1.5,1.8)	(2.8,3,3)	(1,1,1)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(1,1,1.3)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(0.4,0.4,0.4)
C4	(0.4,0.5,0.6)	(0.8,1,1)	(0.4,0.4,0.4)	(1,1,1)	(1,1,1.3)	(0.4,0.5,0.6)	(2.3,2.5,2.8)	(1,1,1.3)	(1,1,1.3)
C5	(0.4,0.5,0.6)	(1.8,2,2.3)	(0.4,0.4,0.4)	(0.8,1,1)	(1,1,1)	(0.6,0.7,0.8)	(1.3,1.5,1.8)	(1,1,1.3)	(0.3,0.3,0.4)
C6	(0.3,0.4,0.4)	(0.8,1,1)	(0.8,1,1)	(1.8,2,2.3)	(1.3,1.5,1.8)	(1,1,1)	(1.8,2,2.3)	(1.3,1.5,1.8)	(0.4,0.5,0.6)
C7	(0.4,0.5,0.6)	(1.3,1.5,1.8)	(0.4,0.4,0.4)	(0.4,0.4,0.4)	(0.6,0.7,0.8)	(0.4,0.5,0.6)	(1,1,1)	(1.3,1.5,1.8)	(0.6,0.7,0.8)
C8	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(0.4,0.4,0.4)	(0.8,1,1)	(0.8,1,1)	(0.6,0.7,0.8)	(0.6,0.7,0.8)	(1,1,1)	(0.4,0.5,0.6)
C9	(2.3,2.5,2.8)	(2.8,3,3)	(2.3,2.5,2.8)	(0.8,1,1)	(2.8,3,3)	(1.8,2,2.3)	(1.3,1.5,1.8)	(1.8,2,2.3)	(1,1,1)

Çizelge F.9 : KV9 için öz-niteliklerin üçgensel bulanık sayı değerleri

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
C1	(1,1,1)	(1.8,2,2.3)	(1,1,1.3)	(1.8,2,2.3)	(0.4,0.4,0.4)	(1.8,2,2.3)	(2.3,2.5,2.8)	(0.4,0.5,0.6)	(0.4,0.4,0.4)
C2	(0.4,0.5,0.6)	(1,1,1)	(0.3,0.3,0.4)	(0.6,0.7,0.8)	(0.6,0.7,0.8)	(0.6,0.7,0.8)	(1.8,2,2.3)	(0.4,0.4,0.4)	(0.4,0.4,0.4)
C3	(0.8,1,1)	(2.8,3,3)	(1,1,1)	(2.8,3,3)	(1.8,2,2.3)	(1.8,2,2.3)	(1.8,2,2.3)	(1.8,2,2.3)	(0.3,0.3,0.4)
C4	(0.4,0.5,0.6)	(1.3,1.5,1.8)	(0.3,0.3,0.4)	(1,1,1)	(1,1,1.3)	(0.3,0.3,0.4)	(0.6,0.7,0.8)	(1.3,1.5,1.8)	(1,1,1.3)
C5	(2.3,2.5,2.8)	(1.3,1.5,1.8)	(0.4,0.5,0.6)	(0.8,1,1)	(1,1,1)	(0.3,0.3,0.4)	(0.6,0.7,0.8)	(0.6,0.7,0.8)	(1,1,1.3)
C6	(0.4,0.5,0.6)	(1.3,1.5,1.8)	(0.4,0.5,0.6)	(2.8,3,3)	(2.8,3,3)	(1,1,1)	(0.3,0.3,0.4)	(0.3,0.3,0.4)	(0.3,0.3,0.4)
C7	(0.4,0.4,0.4)	(0.4,0.5,0.6)	(0.4,0.5,0.6)	(1.3,1.5,1.8)	(1.3,1.5,1.8)	(2.8,3,3)	(1,1,1)	(0.6,0.7,0.8)	(0.3,0.3,0.4)
C8	(1.8,2,2.3)	(2.3,2.5,2.8)	(0.4,0.5,0.6)	(0.6,0.7,0.8)	(1.3,1.5,1.8)	(2.8,3,3)	(1.3,1.5,1.8)	(1,1,1)	(0.3,0.3,0.4)
C9	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.8,3,3)	(0.8,1,1)	(0.8,1,1)	(2.8,3,3)	(2.8,3,3)	(2.8,3,3)	(1,1,1)

Çizelge F.10 : KV10 için öz-niteliklerin üçgensel bulanık sayı değerleri

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
C1	(1,1,1)	(1,1,1.3)	(0.3,0.3,0.4)	(1,1,1.3)	(1,1,1.3)	(1,1,1.3)	(2.8,3,3)	(1,1,1.3)	(0.3,0.3,0.4)
C2	(0.8,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1.3)	(1.8,2,2.3)	(1,1,1.3)	(1.8,2,2.3)	(2.8,3,3)	(1,1,1.3)	(0.3,0.3,0.4)
C3	(2.8,3,3)	(0.8,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1.3)	(1,1,1.3)	(2.8,3,3)	(2.8,3,3)	(1,1,1.3)	(0.3,0.3,0.4)
C4	(0.8,1,1)	(0.4,0.5,0.6)	(0.8,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1.3)	(1,1,1.3)	(2.8,3,3)	(1,1,1.3)	(0.3,0.3,0.4)
C5	(0.8,1,1)	(0.8,1,1)	(0.8,1,1)	(0.8,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1.3)	(2.8,3,3)	(1,1,1.3)	(0.3,0.3,0.4)
C6	(0.8,1,1)	(1.8,2,2.3)	(0.3,0.3,0.4)	(0.8,1,1)	(0.8,1,1)	(1,1,1)	(2.8,3,3)	(1,1,1.3)	(0.3,0.3,0.4)
C7	(0.3,0.3,0.4)	(0.3,0.3,0.4)	(0.3,0.3,0.4)	(0.3,0.3,0.4)	(0.3,0.3,0.4)	(0.3,0.3,0.4)	(1,1,1)	(0.3,0.3,0.4)	(0.3,0.3,0.4)
C8	(0.8,1,1)	(0.8,1,1)	(0.8,1,1)	(0.8,1,1)	(0.8,1,1)	(0.8,1,1)	(2.8,3,3)	(1,1,1)	(0.3,0.3,0.4)
C9	(2.8,3,3)	(2.8,3,3)	(2.8,3,3)	(2.8,3,3)	(2.8,3,3)	(2.8,3,3)	(2.8,3,3)	(2.8,3,3)	(1,1,1)

EK G: Toplam üçgensel bulanık sayı değerleri

Çizelge G.1 : DM1 için toplam üçgensel bulanık sayı değerleri

	l	m	u
C1	23.0	25.0	25.0
C2	6.3	6.3	7.5
C3	6.1	6.3	7.2
C4	5.9	6.3	7.0
C5	7.7	8.3	8.7
C6	14.0	15.0	15.3
C7	15.8	17.0	17.1
C8	6.0	7.0	7.1
C9	20.6	22.3	22.4

Çizelge G.2 : DM2 için toplam üçgensel bulanık sayı değerleri

	l	m	u
C1	16.4	18.0	18.9
C2	9.8	11.3	12.9
C3	7.6	8.1	9.6
C4	7.4	8.1	9.3
C5	8.4	9.6	10.8
C6	5.4	6.1	6.8
C7	6.7	7.6	8.4
C8	6.7	7.8	8.3
C9	18.5	20.5	22.0

Çizelge G.3 : DM3 için toplam üçgensel bulanık sayı değerleri

	l	m	u
C1	11.2	12.0	13.8
C2	9.7	10.5	12.1
C3	12.2	13.5	14.8
C4	13.7	15.5	16.8
C5	6.8	7.3	8.4
C6	10.3	11.1	12.3
C7	6.9	7.7	8.4
C8	6.7	7.8	8.3
C9	10.5	11.8	12.5

Çizelge G.4 : DM4 için toplam üçgensel bulanık sayı değerleri

	l	m	u
C1	12.0	13.2	14.9
C2	13.8	15.5	17.5
C3	9.5	10.4	11.8
C4	7.6	8.6	9.6
C5	10.1	11.3	12.4
C6	11.7	13.0	14.4
C7	6.3	7.1	8.1
C8	4.3	4.7	5.2
C9	12.8	14.4	15.4

Çizelge G.5 : DM5 için toplam üçgensel bulanık sayı değerleri

	l	m	u
C1	11.2	12.4	13.4
C2	4.2	4.4	4.8
C3	14.6	16.4	17.9
C4	7.1	7.9	9.0
C5	10.0	11.0	12.2
C6	8.1	9.2	10.1
C7	7.0	7.8	8.7
C8	12.6	14.2	15.4
C9	18.5	20.5	22.3

Çizelge G.6 : DM6 için toplam üçgensel bulanık sayı değerleri

	l	m	u
C1	12.9	13.9	15.4
C2	4.5	4.6	5.1
C3	16.5	18.5	20.0
C4	7.9	8.8	9.9
C5	12.6	13.8	15.4
C6	7.6	8.3	9.4
C7	4.7	5.2	5.5
C8	11.7	13.3	14.4
C9	14.9	16.7	17.8

Çizelge G.7 : DM7 için toplam üçgensel bulanık sayı değerleri

	l	m	u
C1	5.9	6.7	7.6
C2	4.5	4.9	5.4
C3	14.1	15.3	17.1
C4	13.7	14.5	15.6
C5	10.0	10.8	12.1
C6	8.8	10.1	11.0
C7	6.9	7.7	8.7
C8	8.9	10.5	11.1
C9	17.1	19.0	20.5

Çizelge G.8 : DM8 için toplam üçgensel bulanık sayı değerleri

	l	m	u
C1	12.5	14.0	15.4
C2	5.4	5.6	6.4
C3	15.4	16.9	18.4
C4	8.3	8.9	10.1
C5	7.5	8.4	9.4
C6	9.4	10.9	12.0
C7	6.3	7.1	8.1
C8	9.1	10.2	11.1
C9	16.6	18.5	19.8

Çizelge G.9 : DM9 için toplam üçgensel bulanık sayı değerleri

	l	m	u
C1	10.7	11.8	13.2
C2	6.0	6.6	7.5
C3	14.6	16.3	17.4
C4	7.2	7.8	9.1
C5	8.2	9.2	10.3
C6	9.6	10.5	11.0
C7	8.4	9.4	10.3
C8	11.6	13.0	14.2
C9	18.1	20.0	20.5

Çizelge G.10 : DM10 için toplam üçgensel bulanık sayı değerleri

	l	m	u
C1	9.4	9.7	11.0
C2	11.4	12.3	13.6
C3	13.4	14.3	15.1
C4	9.1	9.8	10.7
C5	9.3	10.3	10.9
C6	9.6	10.7	11.2
C7	3.7	3.7	3.9
C8	8.9	10.3	10.4
C9	23.0	25.0	25.0

EK H: Öz nitelik sentetik değerleri

Çizelge H.1 : KV1 için sentetik değerler

Sentetik değerler	l	m	u
SC1	0.196	0.220	0.237
SC2	0.054	0.056	0.071
SC3	0.052	0.056	0.068
SC4	0.051	0.056	0.066
SC5	0.066	0.073	0.083
SC6	0.119	0.132	0.146
SC7	0.134	0.150	0.162
SC8	0.051	0.062	0.067
SC9	0.176	0.196	0.212

Çizelge H.2 : KV2 için sentetik değerler

Sentetik değerler	l	m	u
SC1	0.153	0.186	0.217
SC2	0.091	0.117	0.149
SC3	0.071	0.083	0.110
SC4	0.069	0.083	0.107
SC5	0.079	0.099	0.124
SC6	0.050	0.063	0.078
SC7	0.063	0.078	0.097
SC8	0.062	0.081	0.095
SC9	0.173	0.211	0.253

Çizelge H.3 : KV3 için sentetik değerler

Sentetik değerler	l	m	u
SC1	0.104	0.123	0.157
SC2	0.091	0.108	0.137
SC3	0.114	0.139	0.168
SC4	0.127	0.159	0.190
SC5	0.063	0.075	0.095
SC6	0.096	0.114	0.140
SC7	0.064	0.079	0.096
SC8	0.062	0.081	0.094
SC9	0.098	0.121	0.142

Çizelge H.4 : KV4 için sentetik değerler

Sentetik değerler	l	m	u
SC1	0.110	0.134	0.169
SC2	0.126	0.158	0.199
SC3	0.087	0.106	0.135
SC4	0.070	0.087	0.110
SC5	0.092	0.115	0.141
SC6	0.107	0.132	0.164
SC7	0.057	0.073	0.092
SC8	0.039	0.048	0.059
SC9	0.117	0.147	0.175

Çizelge H.5 : KV5 için sentetik değerler

Sentetik değerler	l	m	u
SC1	0.098	0.120	0.144
SC2	0.037	0.042	0.052
SC3	0.128	0.158	0.192
SC4	0.062	0.076	0.096
SC5	0.088	0.106	0.131
SC6	0.071	0.089	0.108
SC7	0.062	0.075	0.093
SC8	0.110	0.137	0.165
SC9	0.163	0.198	0.239

Çizelge H.6 : KV6 için sentetik değerler

Sentetik değerler	l	m	u
SC1	0.114	0.135	0.166
SC2	0.040	0.045	0.055
SC3	0.146	0.179	0.214
SC4	0.070	0.085	0.106
SC5	0.112	0.134	0.165
SC6	0.067	0.080	0.100
SC7	0.042	0.051	0.059
SC8	0.104	0.129	0.154
SC9	0.132	0.162	0.191

Çizelge H.7 : KV7 için sentetik değerler

Sentetik değerler	l	m	u
SC1	0.054	0.067	0.084
SC2	0.041	0.049	0.060
SC3	0.129	0.154	0.190
SC4	0.126	0.146	0.173
SC5	0.092	0.109	0.135
SC6	0.081	0.101	0.122
SC7	0.063	0.078	0.097
SC8	0.082	0.106	0.123
SC9	0.156	0.191	0.228

Çizelge H.8 : KV8 için sentetik değerler

Sentetik değerler	l	m	u
SC1	0.113	0.139	0.171
SC2	0.049	0.056	0.071
SC3	0.139	0.168	0.204
SC4	0.075	0.089	0.112
SC5	0.068	0.084	0.104
SC6	0.085	0.108	0.133
SC7	0.056	0.071	0.090
SC8	0.082	0.102	0.123
SC9	0.149	0.184	0.219

Çizelge H.9 : KV9 için sentetik değerler

Sentetik değerler	l	m	u
SC1	0.094	0.113	0.140
SC2	0.053	0.063	0.079
SC3	0.129	0.156	0.184
SC4	0.063	0.075	0.096
SC5	0.072	0.088	0.109
SC6	0.085	0.100	0.116
SC7	0.074	0.090	0.109
SC8	0.102	0.124	0.151
SC9	0.160	0.191	0.217

Çizelge H.10 : KV10 için sentetik değerler

Sentetik değerler	l	m	u
SC1	0.084	0.091	0.112
SC2	0.102	0.116	0.139
SC3	0.120	0.135	0.155
SC4	0.082	0.093	0.109
SC5	0.083	0.097	0.111
SC6	0.086	0.100	0.115
SC7	0.033	0.035	0.040
SC8	0.079	0.097	0.106
SC9	0.206	0.235	0.256

EK I: Her bir karar verici için öz nitelik bazında alternatif karşılaştırma bulanık üçgensel sayı değerleri

Çizelge I.1 : KV1 için öz-nitelik üçgensel bulanık sayı değerleri

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
C1	(142,150,158)	(285,300,315)	(427,450,473)	(285,300,315)	(570,600,630)	(427,450,473)	(285,300,315)	(570,600,630)	(427,450,473)	(427,450,473)	(712,750,788)	(570,600,630)
C2	(8,10,12)	(10,12,14)	(16,18,20)	(10,12,14)	(22,24,26)	(16,18,20)	(10,12,14)	(22,24,26)	(16,18,20)	(16,18,20)	(28,30,32)	(22,24,26)
C3	(1,1,1.3)	(1,1,1.3)	(1.8,2,2.3)	(1.3,1.5,1.8)	(2.3,2.5,2.8)	(1.8,2,2.3)	(1.3,1.5,1.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.8,3,3)	(2.8,3,3)	(2.8,3,3)
C4	(1,1,1.3)	(1.3,1.5,1.8)	(1.8,2,2.3)	(1.3,1.5,1.8)	(2.3,2.5,2.8)	(1.8,2,2.3)	(1.3,1.5,1.8)	(2.3,2.5,2.8)	(1.3,1.5,1.8)	(2.8,3,3)	(2.8,3,3)	(2.8,3,3)
C5	(678,714,750)	(689,725,761)	(671,706,741)	(655,690,725)	(403,424,445)	(396,417,438)	(378,398,418)	(297,313,329)	(368,387,406)	(228,240,252)	(239,252,265)	(214,225,236)
C6	(1,1,1.3)	(1,1,1.3)	(1.8,2,2.3)	(1.3,1.5,1.8)	(2.3,2.5,2.8)	(1.8,2,2.3)	(1.3,1.5,1.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.8,3,3)	(1.5,1.8,2)	(1.8,2,2.3)
C7	(3,4,5)	(1,2,3)	(2,3,4)	(4,5,6)	(3,4,5)	(5,6,7)	(8,9,10)	(6,7,8)	(11,12,13)	(7,8,9)	(10,11,12)	(12,13,14)
C8	(66,74,78)	(77,81,85)	(43,45,47)	(43,45,47)	(32,34,36)	(30,32,34)	(26,27,28)	(27,28,29)	(24,25,26)	(20,21,22)	(18,19,20)	(21,22,23)
C9	(1.3,1.5,1.8)	(1,1,1.3)	(1,1,1.3)	(1,1,1.3)	(1,1,1.3)	(1.8,2,2.3)	(1.8,2,2.3)	(2.3,2.5,2.8)	(1.8,2,2.3)	(2.3,2.5,2.8)	(2.8,3,3)	(2.3,2.5,2.8)

Çizelge I.2 : KV2 için öz-nitelik üçgensel bulanık sayı değerleri

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
C1	(142,150,158)	(285,300,315)	(427,450,473)	(285,300,315)	(570,600,630)	(427,450,473)	(285,300,315)	(570,600,630)	(427,450,473)	(427,450,473)	(712,750,788)	(570,600,630)
C2	(8,10,12)	(10,12,14)	(16,18,20)	(10,12,14)	(22,24,26)	(16,18,20)	(10,12,14)	(22,24,26)	(16,18,20)	(16,18,20)	(28,30,32)	(22,24,26)
C3	(2.5,2.8,3)	(2.5,2.8,3)	(2.5,2.8,3)	(2.5,2.8,3)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2,2.3,2.5)	(2,2.3,2.5)	(1.8,2,2.3)	(1.8,2,2.3)
C4	(2.5,2.8,3)	(2.5,2.8,3)	(2.5,2.8,3)	(2.5,2.8,3)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2,2.3,2.5)	(2,2.3,2.5)	(1.8,2,2.3)	(1.8,2,2.3)
C5	(678,714,750)	(689,725,761)	(671,706,741)	(655,690,725)	(403,424,445)	(396,417,438)	(378,398,418)	(297,313,329)	(368,387,406)	(228,240,252)	(239,252,265)	(214,225,236)
C6	(1,1,1.3)	(1,1,1.3)	(1.8,2,2.3)	(1.3,1.5,1.8)	(2.3,2.5,2.8)	(1.8,2,2.3)	(1.3,1.5,1.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(1.8,2,2.3)	(1,1.3,1.5)	(2.3,2.5,2.8)
C7	(3,4,5)	(1,2,3)	(2,3,4)	(4,5,6)	(3,4,5)	(5,6,7)	(8,9,10)	(6,7,8)	(9,10,11)	(9,10,11)	(7,8,9)	(10,11,12)
C8	(66,74,78)	(77,81,85)	(43,45,47)	(43,45,47)	(32,34,36)	(30,32,34)	(26,27,28)	(27,28,29)	(24,25,26)	(20,21,22)	(18,19,20)	(21,22,23)
C9	(1.3,1.5,1.8)	(1.3,1.5,1.8)	(1.8,2,2.3)	(1.8,2,2.3)	(2,2.3,2.5)	(2.5,2.8,3)	(2.5,2.8,3)	(2.8,3,3)	(2.8,3,3)	(2.8,3,3)	(2.8,3,3)	(2.8,3,3)

Çizelge I.3 : KV3 için öz-nitelik üçgensel bulanık sayı değerleri

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
C1	(142,150,158)	(285,300,315)	(427,450,473)	(285,300,315)	(570,600,630)	(427,450,473)	(285,300,315)	(570,600,630)	(427,450,473)	(427,450,473)	(712,750,788)	(570,600,630)
C2	(8,10,12)	(10,12,14)	(16,18,20)	(10,12,14)	(22,24,26)	(16,18,20)	(10,12,14)	(22,24,26)	(16,18,20)	(16,18,20)	(28,30,32)	(22,24,26)
C3	(2.8,3,3)	(1.8,2,2.3)	(1.8,2,2.3)	(2.3,2.5,2.8)	(1.8,2,2.3)	(2.5,2.8,3)	(2.5,2.8,3)	(2.5,2.8,3)	(1.3,1.5,1.8)	(2.5,2.8,3)	(2.5,2.8,3)	(1,1,1.3)
C4	(1,1,1.3)	(1,1,1.3)	(1.3,1.5,1.8)	(1.5,1.8,2)	(2,2.3,2.5)	(2,2.3,2.5)	(2,2.3,2.5)	(2.3,2.5,2.8)	(2,2.3,2.5)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)
C5	(678,714,750)	(689,725,761)	(671,706,741)	(655,690,725)	(403,424,445)	(396,417,438)	(378,398,418)	(297,313,329)	(368,387,406)	(228,240,252)	(239,252,265)	(214,225,236)
C6	(1,1.3,1.5)	(1,1.3,1.5)	(1,1.3,1.5)	(1.3,1.5,1.8)	(2,2.3,2.5)	(2,2.3,2.5)	(2,2.3,2.5)	(2.3,2.5,2.8)	(1.3,1.5,1.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(1,1,1.3)
C7	(1,1,2)	(1,1,2)	(2,2,3)	(2,2,3)	(2,2,3)	(2,3,4)	(2,3,4)	(2,3,4)	(3,3,4)	(3,3,4)	(3,3,4)	(3,3,4)
C8	(66,74,78)	(77,81,85)	(43,45,47)	(43,45,47)	(32,34,36)	(30,32,34)	(26,27,28)	(27,28,29)	(24,25,26)	(20,21,22)	(18,19,20)	(21,22,23)
C9	(1,1,1.3)	(1,1,1.3)	(1.3,1.5,1.8)	(1.3,1.5,1.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(1.8,2,2.3)	(2.5,2.8,3)	(2.8,3,3)	(1.8,2,2.3)	(2.8,3,3)	(2.8,3,3)

Çizelge I.4 : KV4 için öz-nitelik üçgensel bulanık sayı değerleri

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
C1	(142,150,158)	(285,300,315)	(427,450,473)	(285,300,315)	(570,600,630)	(427,450,473)	(285,300,315)	(570,600,630)	(427,450,473)	(427,450,473)	(712,750,788)	(570,600,630)
C2	(8,10,12)	(10,12,14)	(16,18,20)	(10,12,14)	(22,24,26)	(16,18,20)	(10,12,14)	(22,24,26)	(16,18,20)	(16,18,20)	(28,30,32)	(22,24,26)
C3	(1.3,1.5,1.8)	(1.3,1.5,1.8)	(1.8,2,2.3)	(1.5,1.8,2)	(2.5,2.8,3)	(2.3,2.5,2.8)	(1.8,2,2.3)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2,2.3,2.5)	(2.8,3,3)	(2.5,2.8,3)
C4	(2.5,2.8,3)	(2.5,2.8,3)	(2.5,2.8,3)	(2.5,2.8,3)	(2.5,2.8,3)	(2.5,2.8,3)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(1.5,1.8,2)	(1.8,2,2.3)
C5	(678,714,750)	(689,725,761)	(671,706,741)	(655,690,725)	(403,424,445)	(396,417,438)	(378,398,418)	(297,313,329)	(368,387,406)	(228,240,252)	(239,252,265)	(214,225,236)
C6	(1.3,1.5,1.8)	(1.3,1.5,1.8)	(1.5,1.8,2)	(1.3,1.5,1.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(1.8,2,2.3)	(1.8,2,2.3)	(1.8,2,2.3)	(2,2.3,2.5)	(2.3,2.5,2.8)	(2,2.3,2.5)
C7	(0,1,1)	(1,1,2)	(1,2,2)	(1,1,2)	(2,3,3)	(2,2,3)	(1,2,2)	(2,3,3)	(2,2,3)	(2,2,3)	(3,3,4)	(3,3,4)
C8	(66,74,78)	(77,81,85)	(43,45,47)	(43,45,47)	(32,34,36)	(30,32,34)	(26,27,28)	(27,28,29)	(24,25,26)	(20,21,22)	(18,19,20)	(21,22,23)
C9	(1.3,1.5,1.8)	(1.3,1.5,1.8)	(1.8,2,2.3)	(1.8,2,2.3)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(1.8,2,2.3)	(2.5,2.8,3)	(2,2.3,2.5)	(1.8,2,2.3)	(2.5,2.8,3)	(2,2.3,2.5)

Çizelge I.5 : KV5 için öz-nitelik üçgensel bulanık sayı değerleri

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
C1	(142,150,158)	(285,300,315)	(427,450,473)	(285,300,315)	(570,600,630)	(427,450,473)	(285,300,315)	(570,600,630)	(427,450,473)	(427,450,473)	(712,750,788)	(570,600,630)
C2	(8,10,12)	(10,12,14)	(16,18,20)	(10,12,14)	(22,24,26)	(16,18,20)	(10,12,14)	(22,24,26)	(16,18,20)	(16,18,20)	(28,30,32)	(22,24,26)
C3	(1,1.3,1.5)	(1,1.3,1.5)	(1.3,1.5,1.8)	(1.5,1.8,2)	(2,2.3,2.5)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.5,2.8,3)	(2.8,3,3)	(2.8,3,3)	(2.8,3,3)	(2.3,2.5,2.8)
C4	(1,1,1.3)	(1,1,1.3)	(1.3,1.5,1.8)	(1.5,1.8,2)	(1.8,2,2.3)	(1.8,2,2.3)	(1.8,2,2.3)	(2.5,2.8,3)	(2.5,2.8,3)	(2.5,2.8,3)	(2.8,3,3)	(2.5,2.8,3)
C5	(678,714,750)	(689,725,761)	(671,706,741)	(655,690,725)	(403,424,445)	(396,417,438)	(378,398,418)	(297,313,329)	(368,387,406)	(228,240,252)	(239,252,265)	(214,225,236)
C6	(1,1.3,1.5)	(1,1.3,1.5)	(1,1.3,1.5)	(1.5,1.8,2)	(1.5,1.8,2)	(1.8,2,2.3)	(2,2.3,2.5)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.8,3,3)	(2.5,2.8,3)	(2.8,3,3)
C7	(1,2,2)	(1,1,2)	(1,2,2)	(2,2,3)	(2,2,3)	(2,3,3)	(3,3,4)	(3,3,4)	(4,4,5)	(3,4,4)	(4,5,5)	(5,5,6)
C8	(66,74,78)	(77,81,85)	(43,45,47)	(43,45,47)	(32,34,36)	(30,32,34)	(26,27,28)	(27,28,29)	(24,25,26)	(20,21,22)	(18,19,20)	(21,22,23)
C9	(1,1,1.3)	(1,1,1.3)	(1,1.3,1.5)	(1.3,1.5,1.8)	(1.3,1.5,1.8)	(1.5,1.8,2)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.5,2.8,3)	(2.5,2.8,3)	(2.8,3,3)	(2.8,3,3)

Çizelge I.6 : KV6 için öz-nitelik üçgensel bulanık sayı değerleri

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
C1	(142,150,158)	(285,300,315)	(427,450,473)	(285,300,315)	(570,600,630)	(427,450,473)	(285,300,315)	(570,600,630)	(427,450,473)	(427,450,473)	(712,750,788)	(570,600,630)
C2	(8,10,12)	(10,12,14)	(16,18,20)	(10,12,14)	(22,24,26)	(16,18,20)	(10,12,14)	(22,24,26)	(16,18,20)	(16,18,20)	(28,30,32)	(22,24,26)
C3	(1,1,1.3)	(1,1,1.3)	(1,1.3,1.5)	(1,1.3,1.5)	(1.3,1.5,1.8)	(1.3,1.5,1.8)	(2,2.3,2.5)	(1.8,2,2.3)	(2,2.3,2.5)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)
C4	(1.5,1.8,2)	(1.5,1.8,2)	(1.5,1.8,2)	(1.5,1.8,2)	(1.8,2,2.3)	(1.8,2,2.3)	(2,2.3,2.5)	(2,2.3,2.5)	(2,2.3,2.5)	(2.5,2.8,3)	(2.5,2.8,3)	(2.5,2.8,3)
C5	(678,714,750)	(689,725,761)	(671,706,741)	(655,690,725)	(403,424,445)	(396,417,438)	(378,398,418)	(297,313,329)	(368,387,406)	(228,240,252)	(239,252,265)	(214,225,236)
C6	(1.5,1.8,2)	(1.5,1.8,2)	(1.5,1.8,2)	(1.5,1.8,2)	(1.8,2,2.3)	(1.8,2,2.3)	(2.3,2.5,2.8)	(2,2.3,2.5)	(2,2.3,2.5)	(2.5,2.8,3)	(2.5,2.8,3)	(2.5,2.8,3)
C7	(18,20,22)	(18,20,22)	(54,60,66)	(54,60,66)	(108,120,132)	(108,120,132)	(54,60,66)	(54,60,66)	(162,180,198)	(54,60,66)	(180,200,220)	(180,200,220)
C8	(66,74,78)	(77,81,85)	(43,45,47)	(43,45,47)	(32,34,36)	(30,32,34)	(26,27,28)	(27,28,29)	(24,25,26)	(20,21,22)	(18,19,20)	(21,22,23)
C9	(1.5,1.8,2)	(1,1.3,1.5)	(1.3,1.5,1.8)	(1.5,1.8,2)	(1.8,2,2.3)	(2,2.3,2.5)	(2.8,3,3)	(2.3,2.5,2.8)	(2.8,3,3)	(2.8,3,3)	(2.3,2.5,2.8)	(2.8,3,3)

Çizelge I.7 : KV7 için öz-nitelik üçgensel bulanık sayı değerleri

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
C1	(142,150,158)	(285,300,315)	(427,450,473)	(285,300,315)	(570,600,630)	(427,450,473)	(285,300,315)	(570,600,630)	(427,450,473)	(427,450,473)	(712,750,788)	(570,600,630)
C2	(8,10,12)	(10,12,14)	(16,18,20)	(10,12,14)	(22,24,26)	(16,18,20)	(10,12,14)	(22,24,26)	(16,18,20)	(16,18,20)	(28,30,32)	(22,24,26)
C3	(1,1,1.3)	(1,1,1.3)	(1,1.3,1.5)	(1,1.3,1.5)	(1.8,2,2.3)	(1.8,2,2.3)	(1.8,2,2.3)	(1.8,2,2.3)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)
C4	(1,1,1.3)	(1,1,1.3)	(1,1.3,1.5)	(1,1.3,1.5)	(1.8,2,2.3)	(1.8,2,2.3)	(1.8,2,2.3)	(1.8,2,2.3)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)
C5	(678,714,750)	(689,725,761)	(671,706,741)	(655,690,725)	(403,424,445)	(396,417,438)	(378,398,418)	(297,313,329)	(368,387,406)	(228,240,252)	(239,252,265)	(214,225,236)
C6	(1,1,1.3)	(1,1,1.3)	(1,1.3,1.5)	(1,1.3,1.5)	(1.8,2,2.3)	(1.8,2,2.3)	(1.8,2,2.3)	(1.8,2,2.3)	(2,2.3,2.5)	(2.5,2.8,3)	(2.5,2.8,3)	(2.5,2.8,3)
C7	(14,15,17)	(14,15,17)	(18,20,22)	(18,20,22)	(27,30,33)	(27,30,33)	(27,30,33)	(41,45,50)	(54,60,66)	(72,80,88)	(72,80,88)	(72,80,88)
C8	(66,74,78)	(77,81,85)	(43,45,47)	(43,45,47)	(32,34,36)	(30,32,34)	(26,27,28)	(27,28,29)	(24,25,26)	(20,21,22)	(18,19,20)	(21,22,23)
C9	(1,1,1.3)	(1,1,1.3)	(1,1.3,1.5)	(1,1.3,1.5)	(1.8,2,2.3)	(1.8,2,2.3)	(1.8,2,2.3)	(1.8,2,2.3)	(1.8,2,2.3)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)

Çizelge I.8 : KV8 için öz-nitelik üçgensel bulanık sayı değerleri

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
C1	(142,150,158)	(285,300,315)	(427,450,473)	(285,300,315)	(570,600,630)	(427,450,473)	(285,300,315)	(570,600,630)	(427,450,473)	(427,450,473)	(712,750,788)	(570,600,630)
C2	(8,10,12)	(10,12,14)	(16,18,20)	(10,12,14)	(22,24,26)	(16,18,20)	(10,12,14)	(22,24,26)	(16,18,20)	(16,18,20)	(28,30,32)	(22,24,26)
C3	(1,1.3,1.5)	(1,1.3,1.5)	(1.5,1.8,2)	(1.8,2,2.3)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.5,2.8,3)	(2.5,2.8,3)	(2.5,2.8,3)	(2.5,2.8,3)
C4	(1,1.3,1.5)	(1,1.3,1.5)	(1.5,1.8,2)	(1.8,2,2.3)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.5,2.8,3)	(2.5,2.8,3)	(2.5,2.8,3)	(2.5,2.8,3)
C5	(678,714,750)	(689,725,761)	(671,706,741)	(655,690,725)	(403,424,445)	(396,417,438)	(378,398,418)	(297,313,329)	(368,387,406)	(228,240,252)	(239,252,265)	(214,225,236)
C6	(1,1.3,1.5)	(1,1.3,1.5)	(1.5,1.8,2)	(1.8,2,2.3)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.5,2.8,3)	(2.5,2.8,3)	(2.5,2.8,3)	(2.5,2.8,3)
C7	(27,30,33)	(27,30,33)	(27,30,33)	(27,30,33)	(54,60,66)	(54,60,66)	(54,60,66)	(81,90,99)	(81,90,99)	(81,90,99)	(81,90,99)	(81,90,99)
C8	(66,74,78)	(77,81,85)	(43,45,47)	(43,45,47)	(32,34,36)	(30,32,34)	(26,27,28)	(27,28,29)	(24,25,26)	(20,21,22)	(18,19,20)	(21,22,23)
C9	(1,1.3,1.5)	(1,1.3,1.5)	(1.5,1.8,2)	(1.8,2,2.3)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.5,2.8,3)	(2.5,2.8,3)	(2.5,2.8,3)	(2.5,2.8,3)

Çizelge I.9 : KV9 için öz-nitelik üçgensel bulanık sayı değerleri

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
C1	(142,150,158)	(285,300,315)	(427,450,473)	(285,300,315)	(570,600,630)	(427,450,473)	(285,300,315)	(570,600,630)	(427,450,473)	(427,450,473)	(712,750,788)	(570,600,630)
C2	(8,10,12)	(10,12,14)	(16,18,20)	(10,12,14)	(22,24,26)	(16,18,20)	(10,12,14)	(22,24,26)	(16,18,20)	(16,18,20)	(28,30,32)	(22,24,26)
C3	(1,1,1.3)	(1,1,1.3)	(1.8,2,2.3)	(1.8,2,2.3)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.5,2.8,3)	(2.5,2.8,3)
C4	(1.3,1.5,1.8)	(1.3,1.5,1.8)	(1.8,2,2.3)	(1.8,2,2.3)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(1.8,2,2.3)	(1.8,2,2.3)	(1.8,2,2.3)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)
C5	(678,714,750)	(689,725,761)	(671,706,741)	(655,690,725)	(403,424,445)	(396,417,438)	(378,398,418)	(297,313,329)	(368,387,406)	(228,240,252)	(239,252,265)	(214,225,236)
C6	(1.3,1.5,1.8)	(1.3,1.5,1.8)	(1.8,2,2.3)	(1.8,2,2.3)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.5,2.8,3)	(2.5,2.8,3)
C7	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,2)	(1,1,2)	(1,2,2)	(2,2,2)	(2,2,2)	(2,2,2)	(2,2,2)	(2,2,2)
C8	(66,74,78)	(77,81,85)	(43,45,47)	(43,45,47)	(32,34,36)	(30,32,34)	(26,27,28)	(27,28,29)	(24,25,26)	(20,21,22)	(18,19,20)	(21,22,23)
C9	(1,1,1.3)	(1,1,1.3)	(1.8,2,2.3)	(1.8,2,2.3)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)

Çizelge I.10 : KV10 için öz-nitelik üçgensel bulanık sayı değerleri

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
C1	(142,150,158)	(285,300,315)	(427,450,473)	(285,300,315)	(570,600,630)	(427,450,473)	(285,300,315)	(570,600,630)	(427,450,473)	(427,450,473)	(712,750,788)	(570,600,630)
C2	(8,10,12)	(10,12,14)	(16,18,20)	(10,12,14)	(22,24,26)	(16,18,20)	(10,12,14)	(22,24,26)	(16,18,20)	(16,18,20)	(28,30,32)	(22,24,26)
C3	(1,1.3,1.5)	(1,1,1.3)	(1,1.3,1.5)	(1,1.3,1.5)	(1.3,1.5,1.8)	(1.5,1.8,2)	(2.3,2.5,2.8)	(1.8,2,2.3)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.5,2.8,3)	(2.5,2.8,3)
C4	(2.5,2.8,3)	(1.8,2,2.3)	(1.8,2,2.3)	(1.8,2,2.3)	(1.8,2,2.3)	(1.8,2,2.3)	(1.8,2,2.3)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.8,3,3)	(2.8,3,3)
C5	(678,714,750)	(689,725,761)	(671,706,741)	(655,690,725)	(403,424,445)	(396,417,438)	(378,398,418)	(297,313,329)	(368,387,406)	(228,240,252)	(239,252,265)	(214,225,236)
C6	(1,1.3,1.5)	(1,1,1.3)	(1,1.3,1.5)	(1,1.3,1.5)	(1.3,1.5,1.8)	(1.5,1.8,2)	(2.3,2.5,2.8)	(1.8,2,2.3)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.5,2.8,3)	(2.5,2.8,3)
C7	(27,30,33)	(27,30,33)	(27,30,33)	(27,30,33)	(41,45,49)	(54,60,66)	(54,60,66)	(108,120,132)	(108,120,132)	(108,120,132)	(108,120,132)	(108,120,132)
C8	(66,74,78)	(77,81,85)	(43,45,47)	(43,45,47)	(32,34,36)	(30,32,34)	(26,27,28)	(27,28,29)	(24,25,26)	(20,21,22)	(18,19,20)	(21,22,23)
C9	(1,1,1.3)	(1,1,1.3)	(1.3,1.5,1.8)	(1.3,1.5,1.8)	(1.8,2,2.3)	(1.8,2,2.3)	(1.8,2,2.3)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.3,2.5,2.8)	(2.8,3,3)	(2.8,3,3)

EK J: Her bir karar verici için öz nitelik bazında normalize edilmiş alternatif karşılaştırma bulanık üçgensel sayı değerleri

Çizelge J.1 : KV1 için normalize edilmiş üçgensel bulanık sayılar

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
C1	(1,1,1)	(0.5,0.5,0.5)	(0.33,0.33,0.33)	(0.5,0.5,0.5)	(0.25,0.25,0.25)	(0.33,0.33,0.33)	(0.5,0.5,0.5)	(0.25,0.25,0.25)	(0.33,0.33,0.33)	(0.33,0.33,0.33)	(0.2,0.2,0.2)	(0.25,0.25,0.25)
C2	(1,1,1)	(0.8,0.83,0.86)	(0.5,0.56,0.6)	(0.8,0.83,0.86)	(0.36,0.42,0.46)	(0.5,0.56,0.6)	(0.8,0.83,0.86)	(0.36,0.42,0.46)	(0.5,0.56,0.6)	(0.5,0.56,0.6)	(0.29,0.33,0.38)	(0.36,0.42,0.46)
C3	(0.36,0.33,0.42)	(0.36,0.33,0.42)	(0.64,0.67,0.75)	(0.45,0.5,0.58)	(0.82,0.83,0.92)	(0.64,0.67,0.75)	(0.45,0.5,0.58)	(0.82,0.83,0.92)	(0.82,0.83,0.92)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)
C4	(0.36,0.33,0.42)	(0.45,0.5,0.58)	(0.64,0.67,0.75)	(0.45,0.5,0.58)	(0.82,0.83,0.92)	(0.64,0.67,0.75)	(0.45,0.5,0.58)	(0.82,0.83,0.92)	(0.45,0.5,0.58)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)
C5	(0.32,0.32,0.31)	(0.31,0.31,0.31)	(0.32,0.32,0.32)	(0.33,0.33,0.33)	(0.53,0.53,0.53)	(0.54,0.54,0.54)	(0.57,0.57,0.56)	(0.72,0.72,0.72)	(0.58,0.58,0.58)	(0.94,0.94,0.94)	(0.9,0.89,0.89)	(1,1,1)
C6	(0.36,0.33,0.42)	(0.36,0.33,0.42)	(0.64,0.67,0.75)	(0.45,0.5,0.58)	(0.82,0.83,0.92)	(0.64,0.67,0.75)	(0.45,0.5,0.58)	(0.82,0.83,0.92)	(0.82,0.83,0.92)	(1,1,1)	(0.55,0.58,0.67)	(0.64,0.67,0.75)
C7	(0.33,0.5,0.6)	(1,1,1)	(0.5,0.67,0.75)	(0.25,0.4,0.5)	(0.33,0.5,0.6)	(0.2,0.33,0.43)	(0.13,0.22,0.3)	(0.17,0.29,0.38)	(0.09,0.17,0.23)	(0.14,0.25,0.33)	(0.1,0.18,0.25)	(0.08,0.15,0.21)
C8	(0.27,0.26,0.26)	(0.23,0.23,0.24)	(0.42,0.42,0.43)	(0.42,0.42,0.43)	(0.56,0.56,0.56)	(0.6,0.59,0.59)	(0.69,0.7,0.71)	(0.67,0.68,0.69)	(0.75,0.76,0.77)	(0.9,0.9,0.91)	(1,1,1)	(0.86,0.86,0.87)
C9	(0.45,0.5,0.58)	(0.36,0.33,0.42)	(0.36,0.33,0.42)	(0.36,0.33,0.42)	(0.36,0.33,0.42)	(0.64,0.67,0.75)	(0.64,0.67,0.75)	(0.82,0.83,0.92)	(0.64,0.67,0.75)	(0.82,0.83,0.92)	(1,1,1)	(0.82,0.83,0.92)

Çizelge J.2 : KV2 için normalize edilmiş üçgensel bulanık sayılar

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
C1	(1,0.95,0.9)	(0.5,0.47,0.45)	(0.33,0.32,0.3)	(0.5,0.47,0.45)	(0.25,0.24,0.23)	(0.33,0.32,0.3)	(0.5,0.47,0.45)	(0.25,0.24,0.23)	(0.33,0.32,0.3)	(0.33,0.32,0.3)	(0.2,0.19,0.18)	(0.25,0.24,0.23)
C2	(1,1,1)	(0.8,0.83,0.86)	(0.5,0.56,0.6)	(0.8,0.83,0.86)	(0.36,0.42,0.46)	(0.5,0.56,0.6)	(0.8,0.83,0.86)	(0.36,0.42,0.46)	(0.5,0.56,0.6)	(0.5,0.56,0.6)	(0.29,0.33,0.38)	(0.36,0.42,0.46)
C3	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(0.9,0.91,0.92)	(0.9,0.91,0.92)	(0.9,0.91,0.92)	(0.9,0.91,0.92)	(0.8,0.82,0.83)	(0.8,0.82,0.83)	(0.7,0.73,0.75)	(0.7,0.73,0.75)
C4	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(0.9,0.91,0.92)	(0.9,0.91,0.92)	(0.9,0.91,0.92)	(0.9,0.91,0.92)	(0.8,0.82,0.83)	(0.8,0.82,0.83)	(0.7,0.73,0.75)	(0.7,0.73,0.75)
C5	(0.32,0.32,0.31)	(0.31,0.31,0.31)	(0.32,0.32,0.32)	(0.33,0.33,0.33)	(0.53,0.53,0.53)	(0.54,0.54,0.54)	(0.57,0.57,0.56)	(0.72,0.72,0.72)	(0.58,0.58,0.58)	(0.94,0.94,0.94)	(0.9,0.89,0.89)	(1,1,1)
C6	(0.44,0.4,0.45)	(0.44,0.4,0.45)	(0.78,0.8,0.82)	(0.56,0.6,0.64)	(1,1,1)	(0.78,0.8,0.82)	(0.56,0.6,0.64)	(1,1,1)	(1,1,1)	(0.78,0.8,0.82)	(0.44,0.5,0.55)	(1,1,1)
C7	(0.33,0.5,0.6)	(1,1,1)	(0.5,0.67,0.75)	(0.25,0.4,0.5)	(0.33,0.5,0.6)	(0.2,0.33,0.43)	(0.13,0.22,0.3)	(0.17,0.29,0.38)	(0.11,0.2,0.27)	(0.11,0.2,0.27)	(0.14,0.25,0.33)	(0.1,0.18,0.25)
C8	(0.27,0.26,0.26)	(0.23,0.23,0.24)	(0.42,0.42,0.43)	(0.42,0.42,0.43)	(0.56,0.56,0.56)	(0.6,0.59,0.59)	(0.69,0.7,0.71)	(0.67,0.68,0.69)	(0.75,0.76,0.77)	(0.9,0.9,0.91)	(1,1,1)	(0.86,0.86,0.87)
C9	(0.45,0.5,0.58)	(0.45,0.5,0.58)	(0.64,0.67,0.75)	(0.64,0.67,0.75)	(0.73,0.75,0.83)	(0.91,0.92,1)	(0.91,0.92,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)

Çizelge J.3 : KV3 için normalize edilmiş üçgensel bulanık sayılar

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
C1	(1,1,1)	(0.5,0.5,0.5)	(0.33,0.33,0.33)	(0.5,0.5,0.5)	(0.25,0.25,0.25)	(0.33,0.33,0.33)	(0.5,0.5,0.5)	(0.25,0.25,0.25)	(0.33,0.33,0.33)	(0.33,0.33,0.33)	(0.2,0.2,0.2)	(0.25,0.25,0.25)
C2	(1,1,1)	(0.8,0.83,0.86)	(0.5,0.56,0.6)	(0.8,0.83,0.86)	(0.36,0.42,0.46)	(0.5,0.56,0.6)	(0.8,0.83,0.86)	(0.36,0.42,0.46)	(0.5,0.56,0.6)	(0.5,0.56,0.6)	(0.29,0.33,0.38)	(0.36,0.42,0.46)
C3	(1,1,1)	(0.64,0.67,0.75)	(0.64,0.67,0.75)	(0.82,0.83,0.92)	(0.64,0.67,0.75)	(0.91,0.92,1)	(0.91,0.92,1)	(0.91,0.92,1)	(0.45,0.5,0.58)	(0.91,0.92,1)	(0.91,0.92,1)	(0.36,0.33,0.42)
C4	(0.44,0.4,0.45)	(0.44,0.4,0.45)	(0.56,0.6,0.64)	(0.67,0.7,0.73)	(0.89,0.9,0.91)	(0.89,0.9,0.91)	(0.89,0.9,0.91)	(1,1,1)	(0.89,0.9,0.91)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)
C5	(0.32,0.32,0.31)	(0.31,0.31,0.31)	(0.32,0.32,0.32)	(0.33,0.33,0.33)	(0.53,0.53,0.53)	(0.54,0.54,0.54)	(0.57,0.57,0.56)	(0.72,0.72,0.72)	(0.58,0.58,0.58)	(0.94,0.94,0.94)	(0.9,0.89,0.89)	(1,1,1)
C6	(0.44,0.5,0.55)	(0.44,0.5,0.55)	(0.44,0.5,0.55)	(0.56,0.6,0.64)	(0.89,0.9,0.91)	(0.89,0.9,0.91)	(0.89,0.9,0.91)	(1,1,1)	(0.56,0.6,0.64)	(1,1,1)	(1,1,1)	(0.44,0.4,0.45)
C7	(1,1,1)	(1,1,1)	(0.33,0.5,0.6)	(0.33,0.5,0.6)	(0.33,0.5,0.6)	(0.33,0.4,0.43)	(0.33,0.4,0.43)	(0.33,0.4,0.43)	(0.2,0.33,0.43)	(0.2,0.33,0.43)	(0.2,0.33,0.43)	(0.2,0.33,0.43)
C8	(0.27,0.26,0.26)	(0.23,0.23,0.24)	(0.42,0.42,0.43)	(0.42,0.42,0.43)	(0.56,0.56,0.56)	(0.6,0.59,0.59)	(0.69,0.7,0.71)	(0.67,0.68,0.69)	(0.75,0.76,0.77)	(0.9,0.9,0.91)	(1,1,1)	(0.86,0.86,0.87)
C9	(0.36,0.33,0.42)	(0.36,0.33,0.42)	(0.45,0.5,0.58)	(0.45,0.5,0.58)	(0.82,0.83,0.92)	(0.82,0.83,0.92)	(0.64,0.67,0.75)	(0.91,0.92,1)	(1,1,1)	(0.64,0.67,0.75)	(1,1,1)	(1,1,1)

Çizelge J.4 : KV4 için normalize edilmiş üçgensel bulanık sayılar

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
C1	(1,1,1)	(0.5,0.5,0.5)	(0.33,0.33,0.33)	(0.5,0.5,0.5)	(0.25,0.25,0.25)	(0.33,0.33,0.33)	(0.5,0.5,0.5)	(0.25,0.25,0.25)	(0.33,0.33,0.33)	(0.33,0.33,0.33)	(0.2,0.2,0.2)	(0.25,0.25,0.25)
C2	(1,1,1)	(0.8,0.83,0.86)	(0.5,0.56,0.6)	(0.8,0.83,0.86)	(0.36,0.42,0.46)	(0.5,0.56,0.6)	(0.8,0.83,0.86)	(0.36,0.42,0.46)	(0.5,0.56,0.6)	(0.5,0.56,0.6)	(0.29,0.33,0.38)	(0.36,0.42,0.46)
C3	(0.45,0.5,0.58)	(0.45,0.5,0.58)	(0.64,0.67,0.75)	(0.55,0.58,0.67)	(0.91,0.92,1)	(0.82,0.83,0.92)	(0.64,0.67,0.75)	(0.82,0.83,0.92)	(0.82,0.83,0.92)	(0.73,0.75,0.83)	(1,1,1)	(0.91,0.92,1)
C4	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(0.9,0.91,0.92)	(0.9,0.91,0.92)	(0.9,0.91,0.92)	(0.9,0.91,0.92)	(0.6,0.64,0.67)	(0.7,0.73,0.75)
C5	(0.32,0.32,0.31)	(0.31,0.31,0.31)	(0.32,0.32,0.32)	(0.33,0.33,0.33)	(0.53,0.53,0.53)	(0.54,0.54,0.54)	(0.57,0.57,0.56)	(0.72,0.72,0.72)	(0.58,0.58,0.58)	(0.94,0.94,0.94)	(0.9,0.89,0.89)	(1,1,1)
C6	(0.56,0.6,0.64)	(0.56,0.6,0.64)	(0.67,0.7,0.73)	(0.56,0.6,0.64)	(1,1,1)	(1,1,1)	(0.78,0.8,0.82)	(0.78,0.8,0.82)	(0.78,0.8,0.82)	(0.89,0.9,0.91)	(1,1,1)	(0.89,0.9,0.91)
C7	(1,1,1)	(0.5,0.5,0.5)	(0.25,0.33,0.38)	(0.5,0.5,0.5)	(0.13,0.2,0.25)	(0.17,0.25,0.3)	(0.25,0.33,0.38)	(0.13,0.2,0.25)	(0.17,0.25,0.3)	(0.17,0.25,0.3)	(0.1,0.17,0.21)	(0.1,0.17,0.21)
C8	(0.27,0.26,0.26)	(0.23,0.23,0.24)	(0.42,0.42,0.43)	(0.42,0.42,0.43)	(0.56,0.56,0.56)	(0.6,0.59,0.59)	(0.69,0.7,0.71)	(0.67,0.68,0.69)	(0.75,0.76,0.77)	(0.9,0.9,0.91)	(1,1,1)	(0.86,0.86,0.87)
C9	(0.5,0.55,0.58)	(0.5,0.55,0.58)	(0.7,0.73,0.75)	(0.7,0.73,0.75)	(0.9,0.91,0.92)	(0.9,0.91,0.92)	(0.7,0.73,0.75)	(1,1,1)	(0.8,0.82,0.83)	(0.7,0.73,0.75)	(1,1,1)	(0.8,0.82,0.83)

Çizelge J.5 : KV5 için normalize edilmiş üçgensel bulanık sayılar

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
C1	(1,1,1)	(0.5,0.5,0.5)	(0.33,0.33,0.33)	(0.5,0.5,0.5)	(0.25,0.25,0.25)	(0.33,0.33,0.33)	(0.5,0.5,0.5)	(0.25,0.25,0.25)	(0.33,0.33,0.33)	(0.33,0.33,0.33)	(0.2,0.2,0.2)	(0.25,0.25,0.25)
C2	(1,1,1)	(0.8,0.83,0.86)	(0.5,0.56,0.6)	(0.8,0.83,0.86)	(0.36,0.42,0.46)	(0.5,0.56,0.6)	(0.8,0.83,0.86)	(0.36,0.42,0.46)	(0.5,0.56,0.6)	(0.5,0.56,0.6)	(0.29,0.33,0.38)	(0.36,0.42,0.46)
C3	(0.36,0.42,0.5)	(0.36,0.42,0.5)	(0.45,0.5,0.58)	(0.55,0.58,0.67)	(0.73,0.75,0.83)	(0.82,0.83,0.92)	(0.82,0.83,0.92)	(0.91,0.92,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(0.82,0.83,0.92)
C4	(0.36,0.33,0.42)	(0.36,0.33,0.42)	(0.45,0.5,0.58)	(0.55,0.58,0.67)	(0.64,0.67,0.75)	(0.64,0.67,0.75)	(0.64,0.67,0.75)	(0.91,0.92,1)	(0.91,0.92,1)	(0.91,0.92,1)	(1,1,1)	(0.91,0.92,1)
C5	(0.32,0.32,0.31)	(0.31,0.31,0.31)	(0.32,0.32,0.32)	(0.33,0.33,0.33)	(0.53,0.53,0.53)	(0.54,0.54,0.54)	(0.57,0.57,0.56)	(0.72,0.72,0.72)	(0.58,0.58,0.58)	(0.94,0.94,0.94)	(0.9,0.89,0.89)	(1,1,1)
C6	(0.36,0.42,0.5)	(0.36,0.42,0.5)	(0.36,0.42,0.5)	(0.55,0.58,0.67)	(0.55,0.58,0.67)	(0.64,0.67,0.75)	(0.73,0.75,0.83)	(0.82,0.83,0.92)	(0.82,0.83,0.92)	(1,1,1)	(0.91,0.92,1)	(1,1,1)
C7	(0.5,0.67,0.75)	(1,1,1)	(0.5,0.67,0.75)	(0.33,0.5,0.6)	(0.33,0.5,0.6)	(0.25,0.4,0.5)	(0.2,0.33,0.43)	(0.2,0.33,0.43)	(0.14,0.25,0.33)	(0.17,0.29,0.38)	(0.13,0.22,0.3)	(0.11,0.2,0.27)
C8	(0.27,0.26,0.26)	(0.23,0.23,0.24)	(0.42,0.42,0.43)	(0.42,0.42,0.43)	(0.56,0.56,0.56)	(0.6,0.59,0.59)	(0.69,0.7,0.71)	(0.67,0.68,0.69)	(0.75,0.76,0.77)	(0.9,0.9,0.91)	(1,1,1)	(0.86,0.86,0.87)
C9	(0.36,0.33,0.42)	(0.36,0.33,0.42)	(0.36,0.42,0.5)	(0.45,0.5,0.58)	(0.45,0.5,0.58)	(0.55,0.58,0.67)	(0.82,0.83,0.92)	(0.82,0.83,0.92)	(0.91,0.92,1)	(0.91,0.92,1)	(1,1,1)	(1,1,1)

Çizelge J.6 : KV6 için normalize edilmiş üçgensel bulanık sayılar

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
C1	(1,1,1)	(0.5,0.5,0.5)	(0.33,0.33,0.33)	(0.5,0.5,0.5)	(0.25,0.25,0.25)	(0.33,0.33,0.33)	(0.5,0.5,0.5)	(0.25,0.25,0.25)	(0.33,0.33,0.33)	(0.33,0.33,0.33)	(0.2,0.2,0.2)	(0.25,0.25,0.25)
C2	(1,1,1)	(0.8,0.83,0.86)	(0.5,0.56,0.6)	(0.8,0.83,0.86)	(0.36,0.42,0.46)	(0.5,0.56,0.6)	(0.8,0.83,0.86)	(0.36,0.42,0.46)	(0.5,0.56,0.6)	(0.5,0.56,0.6)	(0.29,0.33,0.38)	(0.36,0.42,0.46)
C3	(0.44,0.4,0.45)	(0.44,0.4,0.45)	(0.44,0.5,0.55)	(0.44,0.5,0.55)	(0.56,0.6,0.64)	(0.56,0.6,0.64)	(0.89,0.9,0.91)	(0.78,0.8,0.82)	(0.89,0.9,0.91)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)
C4	(0.6,0.64,0.67)	(0.6,0.64,0.67)	(0.6,0.64,0.67)	(0.6,0.64,0.67)	(0.7,0.73,0.75)	(0.7,0.73,0.75)	(0.9,0.91,0.92)	(0.8,0.82,0.83)	(0.8,0.82,0.83)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)
C5	(0.32,0.32,0.31)	(0.31,0.31,0.31)	(0.32,0.32,0.32)	(0.33,0.33,0.33)	(0.53,0.53,0.53)	(0.54,0.54,0.54)	(0.57,0.57,0.56)	(0.72,0.72,0.72)	(0.58,0.58,0.58)	(0.94,0.94,0.94)	(0.9,0.89,0.89)	(1,1,1)
C6	(0.6,0.64,0.67)	(0.6,0.64,0.67)	(0.6,0.64,0.67)	(0.6,0.64,0.67)	(0.7,0.73,0.75)	(0.7,0.73,0.75)	(0.9,0.91,0.92)	(0.8,0.82,0.83)	(0.8,0.82,0.83)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)
C7	(1,1,1)	(1,1,1)	(0.33,0.33,0.33)	(0.33,0.33,0.33)	(0.17,0.17,0.17)	(0.17,0.17,0.17)	(0.33,0.33,0.33)	(0.33,0.33,0.33)	(0.11,0.11,0.11)	(0.33,0.33,0.33)	(0.1,0.1,0.1)	(0.1,0.1,0.1)
C8	(0.27,0.26,0.26)	(0.23,0.23,0.24)	(0.42,0.42,0.43)	(0.42,0.42,0.43)	(0.56,0.56,0.56)	(0.6,0.59,0.59)	(0.69,0.7,0.71)	(0.67,0.68,0.69)	(0.75,0.76,0.77)	(0.9,0.9,0.91)	(1,1,1)	(0.86,0.86,0.87)
C9	(0.55,0.58,0.67)	(0.36,0.42,0.5)	(0.45,0.5,0.58)	(0.55,0.58,0.67)	(0.64,0.67,0.75)	(0.73,0.75,0.83)	(1,1,1)	(0.82,0.83,0.92)	(1,1,1)	(1,1,1)	(0.82,0.83,0.92)	(1,1,1)

Çizelge J.7 : KV7 için normalize edilmiş üçgensel bulanık sayılar

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
C1	(1,1,1)	(0.5,0.5,0.5)	(0.33,0.33,0.33)	(0.5,0.5,0.5)	(0.25,0.25,0.25)	(0.33,0.33,0.33)	(0.5,0.5,0.5)	(0.25,0.25,0.25)	(0.33,0.33,0.33)	(0.33,0.33,0.33)	(0.2,0.2,0.2)	(0.25,0.25,0.25)
C2	(1,1,1)	(0.8,0.83,0.86)	(0.5,0.56,0.6)	(0.8,0.83,0.86)	(0.36,0.42,0.46)	(0.5,0.56,0.6)	(0.8,0.83,0.86)	(0.36,0.42,0.46)	(0.5,0.56,0.6)	(0.5,0.56,0.6)	(0.29,0.33,0.38)	(0.36,0.42,0.46)
C3	(0.44,0.4,0.45)	(0.44,0.4,0.45)	(0.44,0.5,0.55)	(0.44,0.5,0.55)	(0.78,0.8,0.82)	(0.78,0.8,0.82)	(0.78,0.8,0.82)	(0.78,0.8,0.82)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)
C4	(0.44,0.4,0.45)	(0.44,0.4,0.45)	(0.44,0.5,0.55)	(0.44,0.5,0.55)	(0.78,0.8,0.82)	(0.78,0.8,0.82)	(0.78,0.8,0.82)	(0.78,0.8,0.82)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)
C5	(0.32,0.32,0.31)	(0.31,0.31,0.31)	(0.32,0.32,0.32)	(0.33,0.33,0.33)	(0.53,0.53,0.53)	(0.54,0.54,0.54)	(0.57,0.57,0.56)	(0.72,0.72,0.72)	(0.58,0.58,0.58)	(0.94,0.94,0.94)	(0.9,0.89,0.89)	(1,1,1)
C6	(0.4,0.36,0.42)	(0.4,0.36,0.42)	(0.4,0.45,0.5)	(0.4,0.45,0.5)	(0.7,0.73,0.75)	(0.7,0.73,0.75)	(0.7,0.73,0.75)	(0.7,0.73,0.75)	(0.8,0.82,0.83)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)
C7	(1,1,1)	(1,1,1)	(0.75,0.75,0.75)	(0.75,0.75,0.75)	(0.5,0.5,0.5)	(0.5,0.5,0.5)	(0.5,0.5,0.5)	(0.33,0.33,0.33)	(0.25,0.25,0.25)	(0.19,0.19,0.19)	(0.19,0.19,0.19)	(0.19,0.19,0.19)
C8	(0.27,0.26,0.26)	(0.23,0.23,0.24)	(0.42,0.42,0.43)	(0.42,0.42,0.43)	(0.56,0.56,0.56)	(0.6,0.59,0.59)	(0.69,0.7,0.71)	(0.67,0.68,0.69)	(0.75,0.76,0.77)	(0.9,0.9,0.91)	(1,1,1)	(0.86,0.86,0.87)
C9	(0.44,0.4,0.45)	(0.44,0.4,0.45)	(0.44,0.5,0.55)	(0.44,0.5,0.55)	(0.78,0.8,0.82)	(0.78,0.8,0.82)	(0.78,0.8,0.82)	(0.78,0.8,0.82)	(0.78,0.8,0.82)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)

Çizelge J.8 : KV8 için normalize edilmiş üçgensel bulanık sayılar

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
C1	(1,1,1)	(0.5,0.5,0.5)	(0.33,0.33,0.33)	(0.5,0.5,0.5)	(0.25,0.25,0.25)	(0.33,0.33,0.33)	(0.5,0.5,0.5)	(0.25,0.25,0.25)	(0.33,0.33,0.33)	(0.33,0.33,0.33)	(0.2,0.2,0.2)	(0.25,0.25,0.25)
C2	(1,1,1)	(0.8,0.83,0.86)	(0.5,0.56,0.6)	(0.8,0.83,0.86)	(0.36,0.42,0.46)	(0.5,0.56,0.6)	(0.8,0.83,0.86)	(0.36,0.42,0.46)	(0.5,0.56,0.6)	(0.5,0.56,0.6)	(0.29,0.33,0.38)	(0.36,0.42,0.46)
C3	(0.4,0.45,0.5)	(0.4,0.45,0.5)	(0.6,0.64,0.67)	(0.7,0.73,0.75)	(0.9,0.91,0.92)	(0.9,0.91,0.92)	(0.9,0.91,0.92)	(0.9,0.91,0.92)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)
C4	(0.4,0.45,0.5)	(0.4,0.45,0.5)	(0.6,0.64,0.67)	(0.7,0.73,0.75)	(0.9,0.91,0.92)	(0.9,0.91,0.92)	(0.9,0.91,0.92)	(0.9,0.91,0.92)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)
C5	(0.32,0.32,0.31)	(0.31,0.31,0.31)	(0.32,0.32,0.32)	(0.33,0.33,0.33)	(0.53,0.53,0.53)	(0.54,0.54,0.54)	(0.57,0.57,0.56)	(0.72,0.72,0.72)	(0.58,0.58,0.58)	(0.94,0.94,0.94)	(0.9,0.89,0.89)	(1,1,1)
C6	(0.4,0.45,0.5)	(0.4,0.45,0.5)	(0.6,0.64,0.67)	(0.7,0.73,0.75)	(0.9,0.91,0.92)	(0.9,0.91,0.92)	(0.9,0.91,0.92)	(0.9,0.91,0.92)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)
C7	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(0.5,0.5,0.5)	(0.5,0.5,0.5)	(0.5,0.5,0.5)	(0.33,0.33,0.33)	(0.33,0.33,0.33)	(0.33,0.33,0.33)	(0.33,0.33,0.33)	(0.33,0.33,0.33)
C8	(0.27,0.26,0.26)	(0.23,0.23,0.24)	(0.42,0.42,0.43)	(0.42,0.42,0.43)	(0.56,0.56,0.56)	(0.6,0.59,0.59)	(0.69,0.7,0.71)	(0.67,0.68,0.69)	(0.75,0.76,0.77)	(0.9,0.9,0.91)	(1,1,1)	(0.86,0.86,0.87)
C9	(0.4,0.45,0.5)	(0.4,0.45,0.5)	(0.6,0.64,0.67)	(0.7,0.73,0.75)	(0.9,0.91,0.92)	(0.9,0.91,0.92)	(0.9,0.91,0.92)	(0.9,0.91,0.92)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)

Çizelge J.9 : KV9 için normalize edilmiş üçgensel bulanık sayılar

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
C1	(1,1,1)	(0.5,0.5,0.5)	(0.33,0.33,0.33)	(0.5,0.5,0.5)	(0.25,0.25,0.25)	(0.33,0.33,0.33)	(0.5,0.5,0.5)	(0.25,0.25,0.25)	(0.33,0.33,0.33)	(0.33,0.33,0.33)	(0.2,0.2,0.2)	(0.25,0.25,0.25)
C2	(1,1,1)	(0.8,0.83,0.86)	(0.5,0.56,0.6)	(0.8,0.83,0.86)	(0.36,0.42,0.46)	(0.5,0.56,0.6)	(0.8,0.83,0.86)	(0.36,0.42,0.46)	(0.5,0.56,0.6)	(0.5,0.56,0.6)	(0.29,0.33,0.38)	(0.36,0.42,0.46)
C3	(0.4,0.36,0.42)	(0.4,0.36,0.42)	(0.7,0.73,0.75)	(0.7,0.73,0.75)	(0.9,0.91,0.92)	(0.9,0.91,0.92)	(0.9,0.91,0.92)	(0.9,0.91,0.92)	(0.9,0.91,0.92)	(0.9,0.91,0.92)	(1,1,1)	(1,1,1)
C4	(0.56,0.6,0.64)	(0.56,0.6,0.64)	(0.78,0.8,0.82)	(0.78,0.8,0.82)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(0.78,0.8,0.82)	(0.78,0.8,0.82)	(0.78,0.8,0.82)	(1,1,1)	(1,1,1)
C5	(0.32,0.32,0.31)	(0.31,0.31,0.31)	(0.32,0.32,0.32)	(0.33,0.33,0.33)	(0.53,0.53,0.53)	(0.54,0.54,0.54)	(0.57,0.57,0.56)	(0.72,0.72,0.72)	(0.58,0.58,0.58)	(0.94,0.94,0.94)	(0.9,0.89,0.89)	(1,1,1)
C6	(0.5,0.55,0.58)	(0.5,0.55,0.58)	(0.7,0.73,0.75)	(0.7,0.73,0.75)	(0.9,0.91,0.92)	(0.9,0.91,0.92)	(0.9,0.91,0.92)	(0.9,0.91,0.92)	(0.9,0.91,0.92)	(0.9,0.91,0.92)	(1,1,1)	(1,1,1)
C7	(1,1,1)	(1,1,1)	(0.89,0.9,0.91)	(0.89,0.9,0.91)	(0.62,0.64,0.67)	(0.62,0.64,0.67)	(0.57,0.6,0.63)	(0.5,0.5,0.5)	(0.5,0.5,0.5)	(0.5,0.5,0.5)	(0.44,0.45,0.45)	(0.44,0.45,0.45)
C8	(0.27,0.26,0.26)	(0.23,0.23,0.24)	(0.42,0.42,0.43)	(0.42,0.42,0.43)	(0.56,0.56,0.56)	(0.6,0.59,0.59)	(0.69,0.7,0.71)	(0.67,0.68,0.69)	(0.75,0.76,0.77)	(0.9,0.9,0.91)	(1,1,1)	(0.86,0.86,0.87)
C9	(0.44,0.4,0.45)	(0.44,0.4,0.45)	(0.78,0.8,0.82)	(0.78,0.8,0.82)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)

Çizelge J.10 : KV10 için normalize edilmiş üçgensel bulanık sayılar

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
C1	(1,1,1)	(0.5,0.5,0.5)	(0.33,0.33,0.33)	(0.5,0.5,0.5)	(0.25,0.25,0.25)	(0.33,0.33,0.33)	(0.5,0.5,0.5)	(0.25,0.25,0.25)	(0.33,0.33,0.33)	(0.33,0.33,0.33)	(0.2,0.2,0.2)	(0.25,0.25,0.25)
C2	(1,1,1)	(0.8,0.83,0.86)	(0.5,0.56,0.6)	(0.8,0.83,0.86)	(0.36,0.42,0.46)	(0.5,0.56,0.6)	(0.8,0.83,0.86)	(0.36,0.42,0.46)	(0.5,0.56,0.6)	(0.5,0.56,0.6)	(0.29,0.33,0.38)	(0.36,0.42,0.46)
C3	(0.4,0.45,0.5)	(0.4,0.36,0.42)	(0.4,0.45,0.5)	(0.4,0.45,0.5)	(0.5,0.55,0.58)	(0.6,0.64,0.67)	(0.9,0.91,0.92)	(0.7,0.73,0.75)	(0.9,0.91,0.92)	(0.9,0.91,0.92)	(1,1,1)	(1,1,1)
C4	(0.91,0.92,1)	(0.64,0.67,0.75)	(0.64,0.67,0.75)	(0.64,0.67,0.75)	(0.64,0.67,0.75)	(0.64,0.67,0.75)	(0.64,0.67,0.75)	(0.82,0.83,0.92)	(0.82,0.83,0.92)	(0.82,0.83,0.92)	(1,1,1)	(1,1,1)
C5	(0.32,0.32,0.31)	(0.31,0.31,0.31)	(0.32,0.32,0.32)	(0.33,0.33,0.33)	(0.53,0.53,0.53)	(0.54,0.54,0.54)	(0.57,0.57,0.56)	(0.72,0.72,0.72)	(0.58,0.58,0.58)	(0.94,0.94,0.94)	(0.9,0.89,0.89)	(1,1,1)
C6	(0.4,0.45,0.5)	(0.4,0.36,0.42)	(0.4,0.45,0.5)	(0.4,0.45,0.5)	(0.5,0.55,0.58)	(0.6,0.64,0.67)	(0.9,0.91,0.92)	(0.7,0.73,0.75)	(0.9,0.91,0.92)	(0.9,0.91,0.92)	(1,1,1)	(1,1,1)
C7	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(0.66,0.67,0.67)	(0.5,0.5,0.5)	(0.5,0.5,0.5)	(0.25,0.25,0.25)	(0.25,0.25,0.25)	(0.25,0.25,0.25)	(0.25,0.25,0.25)	(0.25,0.25,0.25)
C8	(0.27,0.26,0.26)	(0.23,0.23,0.24)	(0.42,0.42,0.43)	(0.42,0.42,0.43)	(0.56,0.56,0.56)	(0.6,0.59,0.59)	(0.69,0.7,0.71)	(0.67,0.68,0.69)	(0.75,0.76,0.77)	(0.9,0.9,0.91)	(1,1,1)	(0.86,0.86,0.87)
C9	(0.36,0.33,0.42)	(0.36,0.33,0.42)	(0.45,0.5,0.58)	(0.45,0.5,0.58)	(0.64,0.67,0.75)	(0.64,0.67,0.75)	(0.64,0.67,0.75)	(0.82,0.83,0.92)	(0.82,0.83,0.92)	(0.82,0.83,0.92)	(1,1,1)	(1,1,1)

EK K: Her bir karar verici için öz nitelik bazında ağırlıklı normalize alternatif karşılaştırma bulanık üçgensel sayı değerleri

Çizelge J.1 : KV1 için ağırlıklı normalize edilmiş üçgensel bulanık sayılar

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
C1	(0.22,0.22,0.22)	(0.11,0.11,0.11)	(0.07,0.07,0.07)	(0.11,0.11,0.11)	(0.05,0.05,0.05)	(0.07,0.07,0.07)	(0.11,0.11,0.11)	(0.05,0.05,0.05)	(0.07,0.07,0.07)	(0.07,0.07,0.07)	(0.04,0.04,0.04)	(0.05,0.05,0.05)
C2	(0.06,0.06,0.06)	(0.05,0.05,0.05)	(0.03,0.03,0.04)	(0.05,0.05,0.05)	(0.02,0.02,0.03)	(0.03,0.03,0.04)	(0.05,0.05,0.05)	(0.02,0.02,0.03)	(0.03,0.03,0.04)	(0.03,0.03,0.04)	(0.02,0.02,0.02)	(0.02,0.02,0.03)
C3	(0.02,0.02,0.02)	(0.02,0.02,0.02)	(0.04,0.04,0.04)	(0.03,0.03,0.03)	(0.05,0.05,0.05)	(0.04,0.04,0.04)	(0.03,0.03,0.03)	(0.05,0.05,0.05)	(0.05,0.05,0.05)	(0.06,0.06,0.06)	(0.06,0.06,0.06)	(0.06,0.06,0.06)
C4	(0.02,0.02,0.02)	(0.03,0.03,0.03)	(0.04,0.04,0.04)	(0.03,0.03,0.03)	(0.05,0.05,0.05)	(0.04,0.04,0.04)	(0.03,0.03,0.03)	(0.05,0.05,0.05)	(0.03,0.03,0.03)	(0.06,0.06,0.06)	(0.06,0.06,0.06)	(0.06,0.06,0.06)
C5	(0.02,0.02,0.02)	(0.02,0.02,0.02)	(0.02,0.02,0.02)	(0.02,0.02,0.02)	(0.04,0.04,0.04)	(0.04,0.04,0.04)	(0.04,0.04,0.04)	(0.05,0.05,0.05)	(0.04,0.04,0.04)	(0.07,0.07,0.07)	(0.07,0.07,0.07)	(0.07,0.07,0.07)
C6	(0.05,0.04,0.06)	(0.05,0.04,0.06)	(0.08,0.09,0.1)	(0.06,0.07,0.08)	(0.11,0.11,0.12)	(0.08,0.09,0.1)	(0.06,0.07,0.08)	(0.11,0.11,0.12)	(0.11,0.11,0.12)	(0.13,0.13,0.13)	(0.07,0.08,0.09)	(0.08,0.09,0.1)
C7	(0.05,0.07,0.09)	(0.15,0.15,0.15)	(0.07,0.1,0.11)	(0.04,0.06,0.07)	(0.05,0.07,0.09)	(0.03,0.05,0.06)	(0.02,0.03,0.04)	(0.02,0.04,0.06)	(0.01,0.02,0.03)	(0.02,0.04,0.05)	(0.01,0.03,0.04)	(0.01,0.02,0.03)
C8	(0.02,0.02,0.02)	(0.01,0.01,0.01)	(0.03,0.03,0.03)	(0.03,0.03,0.03)	(0.03,0.03,0.03)	(0.04,0.04,0.04)	(0.04,0.04,0.04)	(0.04,0.04,0.04)	(0.05,0.05,0.05)	(0.05,0.05,0.05)	(0.06,0.06,0.06)	(0.05,0.05,0.05)
C9	(0.09,0.1,0.11)	(0.07,0.07,0.08)	(0.07,0.07,0.08)	(0.07,0.07,0.08)	(0.07,0.07,0.08)	(0.12,0.13,0.15)	(0.12,0.13,0.15)	(0.16,0.16,0.18)	(0.12,0.13,0.15)	(0.16,0.16,0.18)	(0.2,0.2,0.2)	(0.16,0.16,0.18)

Çizelge J.2 : KV2 için ağırlıklı normalize edilmiş üçgensel bulanık sayılar

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
C1	(0.19,0.18,0.17)	(0.09,0.09,0.08)	(0.06,0.06,0.06)	(0.09,0.09,0.08)	(0.05,0.04,0.04)	(0.06,0.06,0.06)	(0.09,0.09,0.08)	(0.05,0.04,0.04)	(0.06,0.06,0.06)	(0.06,0.06,0.06)	(0.04,0.04,0.03)	(0.05,0.04,0.04)
C2	(0.12,0.12,0.12)	(0.09,0.1,0.1)	(0.06,0.07,0.07)	(0.09,0.1,0.1)	(0.04,0.05,0.05)	(0.06,0.07,0.07)	(0.09,0.1,0.1)	(0.04,0.05,0.05)	(0.06,0.07,0.07)	(0.06,0.07,0.07)	(0.03,0.04,0.05)	(0.04,0.05,0.05)
C3	(0.09,0.09,0.09)	(0.09,0.09,0.09)	(0.09,0.09,0.09)	(0.09,0.09,0.09)	(0.08,0.08,0.08)	(0.08,0.08,0.08)	(0.08,0.08,0.08)	(0.08,0.08,0.08)	(0.07,0.07,0.07)	(0.07,0.07,0.07)	(0.06,0.06,0.07)	(0.06,0.06,0.07)
C4	(0.09,0.09,0.09)	(0.09,0.09,0.09)	(0.09,0.09,0.09)	(0.09,0.09,0.09)	(0.08,0.08,0.08)	(0.08,0.08,0.08)	(0.08,0.08,0.08)	(0.08,0.08,0.08)	(0.07,0.07,0.07)	(0.07,0.07,0.07)	(0.06,0.06,0.06)	(0.06,0.06,0.06)
C5	(0.03,0.03,0.03)	(0.03,0.03,0.03)	(0.03,0.03,0.03)	(0.03,0.03,0.03)	(0.05,0.05,0.05)	(0.05,0.05,0.05)	(0.06,0.06,0.06)	(0.07,0.07,0.07)	(0.06,0.06,0.06)	(0.09,0.09,0.09)	(0.09,0.09,0.09)	(0.1,0.1,0.1)
C6	(0.03,0.03,0.03)	(0.03,0.03,0.03)	(0.05,0.05,0.05)	(0.04,0.04,0.04)	(0.06,0.06,0.06)	(0.05,0.05,0.05)	(0.04,0.04,0.04)	(0.06,0.06,0.06)	(0.06,0.06,0.06)	(0.05,0.05,0.05)	(0.03,0.03,0.03)	(0.06,0.06,0.06)
C7	(0.03,0.04,0.05)	(0.08,0.08,0.08)	(0.04,0.05,0.06)	(0.02,0.03,0.04)	(0.03,0.04,0.05)	(0.02,0.03,0.03)	(0.01,0.02,0.02)	(0.01,0.02,0.03)	(0.01,0.02,0.02)	(0.01,0.02,0.02)	(0.01,0.02,0.03)	(0.01,0.01,0.02)
C8	(0.02,0.02,0.02)	(0.02,0.02,0.02)	(0.03,0.03,0.03)	(0.03,0.03,0.03)	(0.04,0.04,0.04)	(0.05,0.05,0.05)	(0.06,0.06,0.06)	(0.05,0.05,0.06)	(0.06,0.06,0.06)	(0.07,0.07,0.07)	(0.08,0.08,0.08)	(0.07,0.07,0.07)
C9	(0.1,0.11,0.12)	(0.1,0.11,0.12)	(0.14,0.14,0.16)	(0.14,0.14,0.16)	(0.15,0.16,0.18)	(0.19,0.19,0.21)	(0.19,0.19,0.21)	(0.21,0.21,0.21)	(0.21,0.21,0.21)	(0.21,0.21,0.21)	(0.21,0.21,0.21)	(0.21,0.21,0.21)

Çizelge J.3 : KV3 için ağırlıklı normalize edilmiş üçgensel bulanık sayılar

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
C1	(0.13,0.13,0.13)	(0.06,0.06,0.06)	(0.04,0.04,0.04)	(0.06,0.06,0.06)	(0.03,0.03,0.03)	(0.04,0.04,0.04)	(0.06,0.06,0.06)	(0.03,0.03,0.03)	(0.04,0.04,0.04)	(0.04,0.04,0.04)	(0.03,0.03,0.03)	(0.03,0.03,0.03)
C2	(0.11,0.11,0.11)	(0.09,0.09,0.1)	(0.06,0.06,0.07)	(0.09,0.09,0.1)	(0.04,0.05,0.05)	(0.06,0.06,0.07)	(0.09,0.09,0.1)	(0.04,0.05,0.05)	(0.06,0.06,0.07)	(0.06,0.06,0.07)	(0.03,0.04,0.04)	(0.04,0.05,0.05)
C3	(0.14,0.14,0.14)	(0.09,0.09,0.11)	(0.09,0.09,0.11)	(0.11,0.12,0.13)	(0.09,0.09,0.11)	(0.13,0.13,0.14)	(0.13,0.13,0.14)	(0.13,0.13,0.14)	(0.06,0.07,0.08)	(0.13,0.13,0.14)	(0.13,0.13,0.14)	(0.05,0.05,0.06)
C4	(0.07,0.06,0.07)	(0.07,0.06,0.07)	(0.09,0.1,0.1)	(0.11,0.11,0.12)	(0.14,0.14,0.14)	(0.14,0.14,0.14)	(0.14,0.14,0.14)	(0.16,0.16,0.16)	(0.14,0.14,0.14)	(0.16,0.16,0.16)	(0.16,0.16,0.16)	(0.16,0.16,0.16)
C5	(0.02,0.02,0.02)	(0.02,0.02,0.02)	(0.02,0.02,0.02)	(0.03,0.03,0.03)	(0.04,0.04,0.04)	(0.04,0.04,0.04)	(0.04,0.04,0.04)	(0.06,0.06,0.06)	(0.04,0.04,0.04)	(0.07,0.07,0.07)	(0.07,0.07,0.07)	(0.08,0.08,0.08)
C6	(0.05,0.06,0.06)	(0.05,0.06,0.06)	(0.05,0.06,0.06)	(0.06,0.07,0.07)	(0.1,0.1,0.11)	(0.1,0.1,0.11)	(0.1,0.1,0.11)	(0.12,0.12,0.12)	(0.06,0.07,0.07)	(0.12,0.12,0.12)	(0.12,0.12,0.12)	(0.05,0.05,0.05)
C7	(0.08,0.08,0.08)	(0.08,0.08,0.08)	(0.03,0.04,0.05)	(0.03,0.04,0.05)	(0.03,0.04,0.05)	(0.03,0.03,0.03)	(0.03,0.03,0.03)	(0.03,0.03,0.03)	(0.02,0.03,0.03)	(0.02,0.03,0.03)	(0.02,0.03,0.03)	(0.02,0.03,0.03)
C8	(0.02,0.02,0.02)	(0.02,0.02,0.02)	(0.03,0.03,0.03)	(0.03,0.03,0.03)	(0.04,0.04,0.04)	(0.05,0.05,0.05)	(0.05,0.06,0.06)	(0.05,0.05,0.05)	(0.06,0.06,0.06)	(0.07,0.07,0.07)	(0.08,0.08,0.08)	(0.07,0.07,0.07)
C9	(0.04,0.04,0.05)	(0.04,0.04,0.05)	(0.05,0.06,0.07)	(0.05,0.06,0.07)	(0.1,0.1,0.11)	(0.1,0.1,0.11)	(0.08,0.08,0.09)	(0.11,0.11,0.12)	(0.12,0.12,0.12)	(0.08,0.08,0.09)	(0.12,0.12,0.12)	(0.12,0.12,0.12)

Çizelge J.4 : KV4 için ağırlıklı normalize edilmiş üçgensel bulanık sayılar

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
C1	(0.14,0.14,0.14)	(0.07,0.07,0.07)	(0.05,0.05,0.05)	(0.07,0.07,0.07)	(0.03,0.03,0.03)	(0.05,0.05,0.05)	(0.07,0.07,0.07)	(0.03,0.03,0.03)	(0.05,0.05,0.05)	(0.05,0.05,0.05)	(0.03,0.03,0.03)	(0.03,0.03,0.03)
C2	(0.16,0.16,0.16)	(0.13,0.13,0.14)	(0.08,0.09,0.1)	(0.13,0.13,0.14)	(0.06,0.07,0.07)	(0.08,0.09,0.1)	(0.13,0.13,0.14)	(0.06,0.07,0.07)	(0.08,0.09,0.1)	(0.08,0.09,0.1)	(0.05,0.05,0.06)	(0.06,0.07,0.07)
C3	(0.05,0.05,0.06)	(0.05,0.05,0.06)	(0.07,0.07,0.08)	(0.06,0.06,0.07)	(0.1,0.1,0.11)	(0.09,0.09,0.1)	(0.07,0.07,0.08)	(0.09,0.09,0.1)	(0.09,0.09,0.1)	(0.08,0.08,0.09)	(0.11,0.11,0.11)	(0.1,0.1,0.11)
C4	(0.09,0.09,0.09)	(0.09,0.09,0.09)	(0.09,0.09,0.09)	(0.09,0.09,0.09)	(0.09,0.09,0.09)	(0.09,0.09,0.09)	(0.08,0.08,0.08)	(0.08,0.08,0.08)	(0.08,0.08,0.08)	(0.08,0.08,0.08)	(0.05,0.06,0.06)	(0.06,0.06,0.07)
C5	(0.04,0.04,0.04)	(0.04,0.04,0.04)	(0.04,0.04,0.04)	(0.04,0.04,0.04)	(0.06,0.06,0.06)	(0.06,0.06,0.06)	(0.07,0.07,0.07)	(0.08,0.08,0.08)	(0.07,0.07,0.07)	(0.11,0.11,0.11)	(0.1,0.1,0.1)	(0.12,0.12,0.12)
C6	(0.07,0.08,0.09)	(0.07,0.08,0.09)	(0.09,0.09,0.1)	(0.07,0.08,0.09)	(0.13,0.13,0.13)	(0.13,0.13,0.13)	(0.1,0.11,0.11)	(0.1,0.11,0.11)	(0.1,0.11,0.11)	(0.12,0.12,0.12)	(0.13,0.13,0.13)	(0.12,0.12,0.12)
C7	(0.07,0.07,0.07)	(0.04,0.04,0.04)	(0.02,0.02,0.03)	(0.04,0.04,0.04)	(0.01,0.01,0.02)	(0.01,0.02,0.02)	(0.02,0.02,0.03)	(0.01,0.01,0.02)	(0.01,0.02,0.02)	(0.01,0.02,0.02)	(0.01,0.01,0.02)	(0.01,0.01,0.02)
C8	(0.01,0.01,0.01)	(0.01,0.01,0.01)	(0.02,0.02,0.02)	(0.02,0.02,0.02)	(0.03,0.03,0.03)	(0.03,0.03,0.03)	(0.03,0.03,0.03)	(0.03,0.03,0.03)	(0.04,0.04,0.04)	(0.04,0.04,0.04)	(0.05,0.05,0.05)	(0.04,0.04,0.04)
C9	(0.07,0.08,0.09)	(0.07,0.08,0.09)	(0.1,0.11,0.11)	(0.1,0.11,0.11)	(0.13,0.13,0.13)	(0.13,0.13,0.13)	(0.1,0.11,0.11)	(0.15,0.15,0.15)	(0.12,0.12,0.12)	(0.1,0.11,0.11)	(0.15,0.15,0.15)	(0.12,0.12,0.12)

Çizelge J.5 : KV5 için ağırlıklı normalize edilmiş üçgensel bulanık sayılar

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
C1	(0.12,0.12,0.12)	(0.06,0.06,0.06)	(0.04,0.04,0.04)	(0.06,0.06,0.06)	(0.03,0.03,0.03)	(0.04,0.04,0.04)	(0.06,0.06,0.06)	(0.03,0.03,0.03)	(0.04,0.04,0.04)	(0.04,0.04,0.04)	(0.02,0.02,0.02)	(0.03,0.03,0.03)
C2	(0.04,0.04,0.04)	(0.03,0.04,0.04)	(0.02,0.02,0.03)	(0.03,0.04,0.04)	(0.02,0.02,0.02)	(0.02,0.02,0.03)	(0.03,0.04,0.04)	(0.02,0.02,0.02)	(0.02,0.02,0.03)	(0.02,0.02,0.03)	(0.01,0.01,0.02)	(0.02,0.02,0.02)
C3	(0.06,0.07,0.08)	(0.06,0.07,0.08)	(0.07,0.08,0.09)	(0.09,0.09,0.11)	(0.12,0.12,0.13)	(0.13,0.13,0.15)	(0.13,0.13,0.15)	(0.14,0.15,0.16)	(0.16,0.16,0.16)	(0.16,0.16,0.16)	(0.16,0.16,0.16)	(0.13,0.13,0.15)
C4	(0.03,0.03,0.03)	(0.03,0.03,0.03)	(0.04,0.04,0.05)	(0.04,0.05,0.05)	(0.05,0.05,0.06)	(0.05,0.05,0.06)	(0.05,0.05,0.06)	(0.07,0.07,0.08)	(0.07,0.07,0.08)	(0.07,0.07,0.08)	(0.08,0.08,0.08)	(0.07,0.07,0.08)
C5	(0.03,0.03,0.03)	(0.03,0.03,0.03)	(0.03,0.03,0.03)	(0.04,0.04,0.04)	(0.06,0.06,0.06)	(0.06,0.06,0.06)	(0.06,0.06,0.06)	(0.08,0.08,0.08)	(0.06,0.06,0.06)	(0.1,0.1,0.1)	(0.1,0.1,0.1)	(0.11,0.11,0.11)
C6	(0.03,0.04,0.04)	(0.03,0.04,0.04)	(0.03,0.04,0.04)	(0.05,0.05,0.06)	(0.05,0.05,0.06)	(0.06,0.06,0.07)	(0.06,0.07,0.07)	(0.07,0.07,0.08)	(0.07,0.07,0.08)	(0.09,0.09,0.09)	(0.08,0.08,0.09)	(0.09,0.09,0.09)
C7	(0.04,0.05,0.06)	(0.08,0.08,0.08)	(0.04,0.05,0.06)	(0.03,0.04,0.05)	(0.03,0.04,0.05)	(0.02,0.03,0.04)	(0.02,0.03,0.03)	(0.02,0.03,0.03)	(0.01,0.02,0.03)	(0.01,0.02,0.03)	(0.01,0.02,0.02)	(0.01,0.02,0.02)
C8	(0.04,0.04,0.04)	(0.03,0.03,0.03)	(0.06,0.06,0.06)	(0.06,0.06,0.06)	(0.08,0.08,0.08)	(0.08,0.08,0.08)	(0.09,0.1,0.1)	(0.09,0.09,0.09)	(0.1,0.1,0.11)	(0.12,0.12,0.12)	(0.14,0.14,0.14)	(0.12,0.12,0.12)
C9	(0.07,0.07,0.08)	(0.07,0.07,0.08)	(0.07,0.08,0.1)	(0.09,0.1,0.12)	(0.09,0.1,0.12)	(0.11,0.12,0.13)	(0.16,0.17,0.18)	(0.16,0.17,0.18)	(0.18,0.18,0.2)	(0.18,0.18,0.2)	(0.2,0.2,0.2)	(0.2,0.2,0.2)

Çizelge J.6 : KV6 için ağırlıklı normalize edilmiş üçgensel bulanık sayılar

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
C1	(0.14,0.14,0.14)	(0.07,0.07,0.07)	(0.05,0.05,0.05)	(0.07,0.07,0.07)	(0.03,0.03,0.03)	(0.05,0.05,0.05)	(0.07,0.07,0.07)	(0.03,0.03,0.03)	(0.05,0.05,0.05)	(0.05,0.05,0.05)	(0.03,0.03,0.03)	(0.03,0.03,0.03)
C2	(0.05,0.05,0.05)	(0.04,0.04,0.04)	(0.02,0.03,0.03)	(0.04,0.04,0.04)	(0.02,0.02,0.02)	(0.02,0.03,0.03)	(0.04,0.04,0.04)	(0.02,0.02,0.02)	(0.02,0.03,0.03)	(0.02,0.03,0.03)	(0.01,0.02,0.02)	(0.02,0.02,0.02)
C3	(0.08,0.07,0.08)	(0.08,0.07,0.08)	(0.08,0.09,0.1)	(0.08,0.09,0.1)	(0.1,0.11,0.11)	(0.1,0.11,0.11)	(0.16,0.16,0.16)	(0.14,0.14,0.15)	(0.16,0.16,0.16)	(0.18,0.18,0.18)	(0.18,0.18,0.18)	(0.18,0.18,0.18)
C4	(0.05,0.06,0.06)	(0.05,0.06,0.06)	(0.05,0.06,0.06)	(0.05,0.06,0.06)	(0.06,0.06,0.06)	(0.06,0.06,0.06)	(0.08,0.08,0.08)	(0.07,0.07,0.07)	(0.07,0.07,0.07)	(0.09,0.09,0.09)	(0.09,0.09,0.09)	(0.09,0.09,0.09)
C5	(0.04,0.04,0.04)	(0.04,0.04,0.04)	(0.04,0.04,0.04)	(0.04,0.04,0.04)	(0.07,0.07,0.07)	(0.07,0.07,0.07)	(0.08,0.08,0.08)	(0.1,0.1,0.1)	(0.08,0.08,0.08)	(0.13,0.13,0.13)	(0.12,0.12,0.12)	(0.14,0.14,0.14)
C6	(0.05,0.05,0.05)	(0.05,0.05,0.05)	(0.05,0.05,0.05)	(0.05,0.05,0.05)	(0.06,0.06,0.06)	(0.06,0.06,0.06)	(0.07,0.07,0.08)	(0.07,0.07,0.07)	(0.07,0.07,0.07)	(0.08,0.08,0.08)	(0.08,0.08,0.08)	(0.08,0.08,0.08)
C7	(0.05,0.05,0.05)	(0.05,0.05,0.05)	(0.02,0.02,0.02)	(0.02,0.02,0.02)	(0.01,0.01,0.01)	(0.01,0.01,0.01)	(0.02,0.02,0.02)	(0.02,0.02,0.02)	(0.01,0.01,0.01)	(0.02,0.02,0.02)	(0.01,0.01,0.01)	(0.01,0.01,0.01)
C8	(0.04,0.03,0.03)	(0.03,0.03,0.03)	(0.05,0.05,0.05)	(0.05,0.05,0.05)	(0.07,0.07,0.07)	(0.08,0.08,0.08)	(0.09,0.09,0.09)	(0.09,0.09,0.09)	(0.1,0.1,0.1)	(0.12,0.12,0.12)	(0.13,0.13,0.13)	(0.11,0.11,0.11)
C9	(0.09,0.09,0.11)	(0.06,0.07,0.08)	(0.07,0.08,0.09)	(0.09,0.09,0.11)	(0.1,0.11,0.12)	(0.12,0.12,0.13)	(0.16,0.16,0.16)	(0.13,0.13,0.15)	(0.16,0.16,0.16)	(0.16,0.16,0.16)	(0.13,0.13,0.15)	(0.16,0.16,0.16)

Çizelge J.7 : KV7 için ağırlıklı normalize edilmiş üçgensel bulanık sayılar

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
C1	(0.07,0.07,0.07)	(0.03,0.03,0.03)	(0.02,0.02,0.02)	(0.03,0.03,0.03)	(0.02,0.02,0.02)	(0.02,0.02,0.02)	(0.03,0.03,0.03)	(0.02,0.02,0.02)	(0.02,0.02,0.02)	(0.02,0.02,0.02)	(0.01,0.01,0.01)	(0.02,0.02,0.02)
C2	(0.05,0.05,0.05)	(0.04,0.04,0.04)	(0.02,0.03,0.03)	(0.04,0.04,0.04)	(0.02,0.02,0.02)	(0.02,0.03,0.03)	(0.04,0.04,0.04)	(0.02,0.02,0.02)	(0.02,0.03,0.03)	(0.02,0.03,0.03)	(0.01,0.02,0.02)	(0.02,0.02,0.02)
C3	(0.07,0.06,0.07)	(0.07,0.06,0.07)	(0.07,0.08,0.09)	(0.07,0.08,0.09)	(0.12,0.13,0.13)	(0.12,0.13,0.13)	(0.12,0.13,0.13)	(0.12,0.13,0.13)	(0.16,0.16,0.16)	(0.16,0.16,0.16)	(0.16,0.16,0.16)	(0.16,0.16,0.16)
C4	(0.07,0.06,0.07)	(0.07,0.06,0.07)	(0.07,0.07,0.08)	(0.07,0.07,0.08)	(0.11,0.12,0.12)	(0.11,0.12,0.12)	(0.11,0.12,0.12)	(0.11,0.12,0.12)	(0.15,0.15,0.15)	(0.15,0.15,0.15)	(0.15,0.15,0.15)	(0.15,0.15,0.15)
C5	(0.04,0.03,0.03)	(0.03,0.03,0.03)	(0.04,0.04,0.04)	(0.04,0.04,0.04)	(0.06,0.06,0.06)	(0.06,0.06,0.06)	(0.06,0.06,0.06)	(0.08,0.08,0.08)	(0.06,0.06,0.06)	(0.1,0.1,0.1)	(0.1,0.1,0.1)	(0.11,0.11,0.11)
C6	(0.04,0.04,0.04)	(0.04,0.04,0.04)	(0.04,0.05,0.05)	(0.04,0.05,0.05)	(0.07,0.07,0.08)	(0.07,0.07,0.08)	(0.07,0.07,0.08)	(0.07,0.07,0.08)	(0.08,0.08,0.08)	(0.1,0.1,0.1)	(0.1,0.1,0.1)	(0.1,0.1,0.1)
C7	(0.08,0.08,0.08)	(0.08,0.08,0.08)	(0.06,0.06,0.06)	(0.06,0.06,0.06)	(0.04,0.04,0.04)	(0.04,0.04,0.04)	(0.04,0.04,0.04)	(0.03,0.03,0.03)	(0.02,0.02,0.02)	(0.01,0.01,0.01)	(0.01,0.01,0.01)	(0.01,0.01,0.01)
C8	(0.03,0.03,0.03)	(0.02,0.02,0.02)	(0.04,0.04,0.04)	(0.04,0.04,0.04)	(0.06,0.06,0.06)	(0.06,0.06,0.06)	(0.07,0.07,0.07)	(0.07,0.07,0.07)	(0.08,0.08,0.08)	(0.09,0.09,0.09)	(0.1,0.1,0.1)	(0.09,0.09,0.09)
C9	(0.09,0.08,0.09)	(0.09,0.08,0.09)	(0.09,0.1,0.1)	(0.09,0.1,0.1)	(0.15,0.15,0.16)	(0.15,0.15,0.16)	(0.15,0.15,0.16)	(0.15,0.15,0.16)	(0.15,0.15,0.16)	(0.19,0.19,0.19)	(0.19,0.19,0.19)	(0.19,0.19,0.19)

Çizelge J.8 : KV8 için ağırlıklı normalize edilmiş üçgensel bulanık sayılar

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
C1	(0.14,0.14,0.14)	(0.07,0.07,0.07)	(0.05,0.05,0.05)	(0.07,0.07,0.07)	(0.04,0.04,0.04)	(0.05,0.05,0.05)	(0.07,0.07,0.07)	(0.04,0.04,0.04)	(0.05,0.05,0.05)	(0.05,0.05,0.05)	(0.03,0.03,0.03)	(0.04,0.04,0.04)
C2	(0.06,0.06,0.06)	(0.05,0.05,0.05)	(0.03,0.03,0.03)	(0.05,0.05,0.05)	(0.02,0.02,0.03)	(0.03,0.03,0.03)	(0.05,0.05,0.05)	(0.02,0.02,0.03)	(0.03,0.03,0.03)	(0.03,0.03,0.03)	(0.02,0.02,0.02)	(0.02,0.02,0.03)
C3	(0.07,0.08,0.08)	(0.07,0.08,0.08)	(0.1,0.11,0.11)	(0.12,0.12,0.13)	(0.15,0.15,0.16)	(0.15,0.15,0.16)	(0.15,0.15,0.16)	(0.15,0.15,0.16)	(0.17,0.17,0.17)	(0.17,0.17,0.17)	(0.17,0.17,0.17)	(0.17,0.17,0.17)
C4	(0.04,0.04,0.05)	(0.04,0.04,0.05)	(0.05,0.06,0.06)	(0.06,0.07,0.07)	(0.08,0.08,0.08)	(0.08,0.08,0.08)	(0.08,0.08,0.08)	(0.08,0.08,0.08)	(0.09,0.09,0.09)	(0.09,0.09,0.09)	(0.09,0.09,0.09)	(0.09,0.09,0.09)
C5	(0.03,0.03,0.03)	(0.03,0.03,0.03)	(0.03,0.03,0.03)	(0.03,0.03,0.03)	(0.05,0.05,0.04)	(0.05,0.05,0.05)	(0.05,0.05,0.05)	(0.06,0.06,0.06)	(0.05,0.05,0.05)	(0.08,0.08,0.08)	(0.08,0.08,0.08)	(0.08,0.08,0.08)
C6	(0.04,0.05,0.05)	(0.04,0.05,0.05)	(0.07,0.07,0.07)	(0.08,0.08,0.08)	(0.1,0.1,0.1)	(0.1,0.1,0.1)	(0.1,0.1,0.1)	(0.1,0.1,0.1)	(0.11,0.11,0.11)	(0.11,0.11,0.11)	(0.11,0.11,0.11)	(0.11,0.11,0.11)
C7	(0.07,0.07,0.07)	(0.07,0.07,0.07)	(0.07,0.07,0.07)	(0.07,0.07,0.07)	(0.04,0.04,0.04)	(0.04,0.04,0.04)	(0.04,0.04,0.04)	(0.02,0.02,0.02)	(0.02,0.02,0.02)	(0.02,0.02,0.02)	(0.02,0.02,0.02)	(0.02,0.02,0.02)
C8	(0.03,0.03,0.03)	(0.02,0.02,0.02)	(0.04,0.04,0.04)	(0.04,0.04,0.04)	(0.06,0.06,0.06)	(0.06,0.06,0.06)	(0.07,0.07,0.07)	(0.07,0.07,0.07)	(0.08,0.08,0.08)	(0.09,0.09,0.09)	(0.1,0.1,0.1)	(0.09,0.09,0.09)
C9	(0.07,0.08,0.09)	(0.07,0.08,0.09)	(0.11,0.12,0.12)	(0.13,0.13,0.14)	(0.17,0.17,0.17)	(0.17,0.17,0.17)	(0.17,0.17,0.17)	(0.17,0.17,0.17)	(0.18,0.18,0.18)	(0.18,0.18,0.18)	(0.18,0.18,0.18)	(0.18,0.18,0.18)

Çizelge J.9 : KV9 için ağırlıklı normalize edilmiş üçgensel bulanık sayılar

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
C1	(0.11,0.11,0.11)	(0.06,0.06,0.06)	(0.04,0.04,0.04)	(0.06,0.06,0.06)	(0.03,0.03,0.03)	(0.04,0.04,0.04)	(0.06,0.06,0.06)	(0.03,0.03,0.03)	(0.04,0.04,0.04)	(0.04,0.04,0.04)	(0.02,0.02,0.02)	(0.03,0.03,0.03)
C2	(0.06,0.06,0.06)	(0.05,0.05,0.06)	(0.03,0.04,0.04)	(0.05,0.05,0.06)	(0.02,0.03,0.03)	(0.03,0.04,0.04)	(0.05,0.05,0.06)	(0.02,0.03,0.03)	(0.03,0.04,0.04)	(0.03,0.04,0.04)	(0.02,0.02,0.02)	(0.02,0.03,0.03)
C3	(0.06,0.06,0.07)	(0.06,0.06,0.07)	(0.11,0.11,0.12)	(0.11,0.11,0.12)	(0.14,0.14,0.14)	(0.14,0.14,0.14)	(0.14,0.14,0.14)	(0.14,0.14,0.14)	(0.14,0.14,0.14)	(0.14,0.14,0.14)	(0.16,0.16,0.16)	(0.16,0.16,0.16)
C4	(0.04,0.05,0.05)	(0.04,0.05,0.05)	(0.06,0.06,0.06)	(0.06,0.06,0.06)	(0.08,0.08,0.08)	(0.08,0.08,0.08)	(0.08,0.08,0.08)	(0.06,0.06,0.06)	(0.06,0.06,0.06)	(0.06,0.06,0.06)	(0.08,0.08,0.08)	(0.08,0.08,0.08)
C5	(0.03,0.03,0.03)	(0.03,0.03,0.03)	(0.03,0.03,0.03)	(0.03,0.03,0.03)	(0.05,0.05,0.05)	(0.05,0.05,0.05)	(0.05,0.05,0.05)	(0.06,0.06,0.06)	(0.05,0.05,0.05)	(0.08,0.08,0.08)	(0.08,0.08,0.08)	(0.09,0.09,0.09)
C6	(0.05,0.05,0.06)	(0.05,0.05,0.06)	(0.07,0.07,0.08)	(0.07,0.07,0.08)	(0.09,0.09,0.09)	(0.09,0.09,0.09)	(0.09,0.09,0.09)	(0.09,0.09,0.09)	(0.09,0.09,0.09)	(0.09,0.09,0.09)	(0.1,0.1,0.1)	(0.1,0.1,0.1)
C7	(0.09,0.09,0.09)	(0.09,0.09,0.09)	(0.08,0.08,0.08)	(0.08,0.08,0.08)	(0.06,0.06,0.06)	(0.06,0.06,0.06)	(0.05,0.05,0.06)	(0.05,0.05,0.05)	(0.05,0.05,0.05)	(0.05,0.05,0.05)	(0.04,0.04,0.04)	(0.04,0.04,0.04)
C8	(0.03,0.03,0.03)	(0.03,0.03,0.03)	(0.05,0.05,0.05)	(0.05,0.05,0.05)	(0.07,0.07,0.07)	(0.08,0.07,0.07)	(0.09,0.09,0.09)	(0.08,0.09,0.09)	(0.09,0.1,0.1)	(0.11,0.11,0.11)	(0.13,0.13,0.13)	(0.11,0.11,0.11)
C9	(0.08,0.08,0.09)	(0.08,0.08,0.09)	(0.15,0.15,0.16)	(0.15,0.15,0.16)	(0.19,0.19,0.19)	(0.19,0.19,0.19)	(0.19,0.19,0.19)	(0.19,0.19,0.19)	(0.19,0.19,0.19)	(0.19,0.19,0.19)	(0.19,0.19,0.19)	(0.19,0.19,0.19)

Çizelge J.10 : KV10 için ağırlıklı normalize edilmiş üçgensel bulanık sayılar

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
C1	(0.09,0.09,0.09)	(0.05,0.05,0.05)	(0.03,0.03,0.03)	(0.05,0.05,0.05)	(0.02,0.02,0.02)	(0.03,0.03,0.03)	(0.05,0.05,0.05)	(0.02,0.02,0.02)	(0.03,0.03,0.03)	(0.03,0.03,0.03)	(0.02,0.02,0.02)	(0.02,0.02,0.02)
C2	(0.12,0.12,0.12)	(0.09,0.1,0.1)	(0.06,0.07,0.07)	(0.09,0.1,0.1)	(0.04,0.05,0.05)	(0.06,0.07,0.07)	(0.09,0.1,0.1)	(0.04,0.05,0.05)	(0.06,0.07,0.07)	(0.06,0.07,0.07)	(0.03,0.04,0.04)	(0.04,0.05,0.05)
C3	(0.05,0.06,0.07)	(0.05,0.05,0.06)	(0.05,0.06,0.07)	(0.05,0.06,0.07)	(0.07,0.07,0.08)	(0.08,0.09,0.09)	(0.12,0.12,0.12)	(0.1,0.1,0.1)	(0.12,0.12,0.12)	(0.12,0.12,0.12)	(0.14,0.14,0.14)	(0.14,0.14,0.14)
C4	(0.09,0.09,0.09)	(0.06,0.06,0.07)	(0.06,0.06,0.07)	(0.06,0.06,0.07)	(0.06,0.06,0.07)	(0.06,0.06,0.07)	(0.06,0.06,0.07)	(0.08,0.08,0.09)	(0.08,0.08,0.09)	(0.08,0.08,0.09)	(0.09,0.09,0.09)	(0.09,0.09,0.09)
C5	(0.03,0.03,0.03)	(0.03,0.03,0.03)	(0.03,0.03,0.03)	(0.03,0.03,0.03)	(0.05,0.05,0.05)	(0.05,0.05,0.05)	(0.06,0.05,0.05)	(0.07,0.07,0.07)	(0.06,0.06,0.06)	(0.09,0.09,0.09)	(0.09,0.09,0.09)	(0.1,0.1,0.1)
C6	(0.04,0.05,0.05)	(0.04,0.04,0.04)	(0.04,0.05,0.05)	(0.04,0.05,0.05)	(0.05,0.05,0.06)	(0.06,0.06,0.07)	(0.09,0.09,0.09)	(0.07,0.07,0.08)	(0.09,0.09,0.09)	(0.09,0.09,0.09)	(0.1,0.1,0.1)	(0.1,0.1,0.1)
C7	(0.04,0.04,0.04)	(0.04,0.04,0.04)	(0.04,0.04,0.04)	(0.04,0.04,0.04)	(0.02,0.02,0.02)	(0.02,0.02,0.02)	(0.02,0.02,0.02)	(0.01,0.01,0.01)	(0.01,0.01,0.01)	(0.01,0.01,0.01)	(0.01,0.01,0.01)	(0.01,0.01,0.01)
C8	(0.03,0.02,0.02)	(0.02,0.02,0.02)	(0.04,0.04,0.04)	(0.04,0.04,0.04)	(0.05,0.05,0.05)	(0.06,0.06,0.06)	(0.07,0.07,0.07)	(0.06,0.06,0.07)	(0.07,0.07,0.07)	(0.09,0.09,0.09)	(0.1,0.1,0.1)	(0.08,0.08,0.08)
C9	(0.08,0.08,0.1)	(0.08,0.08,0.1)	(0.11,0.12,0.14)	(0.11,0.12,0.14)	(0.15,0.16,0.17)	(0.15,0.16,0.17)	(0.15,0.16,0.17)	(0.19,0.19,0.21)	(0.19,0.19,0.21)	(0.19,0.19,0.21)	(0.23,0.23,0.23)	(0.23,0.23,0.23)

EK L: Tanker-şamandıra bağlama sistemi alternatifleri için temel olayların yamuksal bulanık olasılık değerleri

Çizelge L.1 : A1 için temel olayların yamuksal bulanık olasılık değerleri

Bulanık sayı (yaklaşık)	Yamuksal bulanık sayı			
	P_{iA}	P_{iB}	P_{iC}	P_{iD}
0.008461	0.004231	0.006346	0.010576	0.012692
0.003831	0.001916	0.002873	0.004789	0.005747
0.007855	0.003928	0.005891	0.009819	0.011783
0.000040	0.000020	0.000030	0.000050	0.000060
0.000091	0.000046	0.000068	0.000114	0.000137
0.003804	0.001902	0.002853	0.004755	0.005706
0.008461	0.004231	0.006346	0.010576	0.012692

Çizelge L.2 : A2 için temel olayların yamuksal bulanık olasılık değerleri

Bulanık sayı (yaklaşık)	Yamuksal bulanık sayı			
	P_{iA}	P_{iB}	P_{iC}	P_{iD}
0.006088	0.003044	0.004566	0.007610	0.009132
0.007493	0.003747	0.005620	0.009366	0.011240
0.005284	0.002642	0.003963	0.006605	0.007926
0.006177	0.003089	0.004633	0.007721	0.009266
0.000035	0.000018	0.000026	0.000044	0.000053
0.003101	0.001551	0.002326	0.003876	0.004652
0.000042	0.000021	0.000032	0.000053	0.000063
0.000146	0.000073	0.000110	0.000183	0.000219
0.002375	0.001188	0.001781	0.002969	0.003563

Çizelge L.3 : A3 için temel olayların yamuksal bulanık olasılık değerleri

Bulanık sayı (yaklaşık)	Yamuksal bulanık sayı			
	P_{iA}	P_{iB}	P_{iC}	P_{iD}
0.004487	0.002244	0.003365	0.005609	0.006731
0.002031	0.001016	0.001523	0.002539	0.003047
0.002633	0.001317	0.001975	0.003291	0.003950
0.004273	0.002137	0.003205	0.005341	0.006410
0.001774	0.000887	0.001331	0.002218	0.002661
0.002041	0.001021	0.001531	0.002551	0.003062
0.000007	0.000004	0.000005	0.000009	0.000011
0.002825	0.001413	0.002119	0.003531	0.004238
0.000508	0.000254	0.000381	0.000635	0.000762
0.000370	0.000185	0.000278	0.000463	0.000555
0.000358	0.000179	0.000269	0.000448	0.000537
0.000278	0.000139	0.000209	0.000348	0.000417

Çizelge L.4 : A4 için temel olayların yamuksal bulanık olasılık değerleri

Bulanık sayı (yaklaşık)	Yamuksal bulanık sayı			
	P_{iA}	P_{iB}	P_{iC}	P_{iD}
0.002608	0.001304	0.001956	0.003260	0.003912
0.003296	0.001648	0.002472	0.004120	0.004944
0.003417	0.001709	0.002563	0.004271	0.005126
0.002222	0.001111	0.001667	0.002778	0.003333
0.002622	0.001311	0.001967	0.003278	0.003933
0.000723	0.000362	0.000542	0.000904	0.001085
0.000650	0.000325	0.000488	0.000813	0.000975
0.000460	0.000230	0.000345	0.000575	0.000690
0.000504	0.000252	0.000378	0.000630	0.000756

Çizelge L.5 : A5 için temel olayların yamuksal bulanık olasılık değerleri

Bulanık sayı (yaklaşık)	Yamuksal bulanık sayı			
	P_{iA}	P_{iB}	P_{iC}	P_{iD}
0.001702	0.000851	0.001277	0.002128	0.002553
0.000970	0.000485	0.000728	0.001213	0.001455
0.001653	0.000827	0.001240	0.002066	0.002480
0.001533	0.000767	0.001150	0.001916	0.002300
0.001122	0.000561	0.000842	0.001403	0.001683
0.000496	0.000248	0.000372	0.000620	0.000744
0.000867	0.000434	0.000650	0.001084	0.001301
0.001216	0.000608	0.000912	0.001520	0.001824
0.000029	0.000015	0.000022	0.000036	0.000044
0.000011	0.000006	0.000008	0.000014	0.000017
0.000332	0.000166	0.000249	0.000415	0.000498

Çizelge L.6 : A6 için temel olayların yamuksal bulanık olasılık değerleri

Bulanık sayı (yaklaşık)	Yamuksal bulanık sayı			
	P_{iA}	P_{iB}	P_{iC}	P_{iD}
0.001485	0.000743	0.001114	0.001856	0.002228
0.001625	0.000813	0.001219	0.002031	0.002438
0.001639	0.000820	0.001229	0.002049	0.002459
0.000372	0.000186	0.000279	0.000465	0.000558
0.000758	0.000379	0.000569	0.000948	0.001137
0.001026	0.000513	0.000770	0.001283	0.001539
0.001322	0.000661	0.000992	0.001653	0.001983
0.000006	0.000003	0.000005	0.000008	0.000009
0.000026	0.000013	0.000020	0.000033	0.000039
0.000201	0.000101	0.000151	0.000251	0.000302
0.000020	0.000010	0.000015	0.000025	0.000030

Çizelge L.7 : A7 için temel olayların yamuksal bulanık olasılık değerleri

Bulanık sayı (yaklaşık)	Yamuksal bulanık sayı			
	P_{iA}	P_{iB}	P_{iC}	P_{iD}
0.001822	0.000911	0.001367	0.002278	0.002733
0.001595	0.000798	0.001196	0.001994	0.002393
0.000103	0.000052	0.000077	0.000129	0.000155
0.001053	0.000527	0.000790	0.001316	0.001580
0.001197	0.000599	0.000898	0.001496	0.001796
0.000009	0.000005	0.000007	0.000011	0.000014
0.000091	0.000046	0.000068	0.000114	0.000137

Çizelge L.8 : A8 için temel olayların yamuksal bulanık olasılık değerleri

Bulanık sayı (yaklaşık)	Yamuksal bulanık sayı			
	P_{iA}	P_{iB}	P_{iC}	P_{iD}
0.001650	0.000825	0.001238	0.002063	0.002475
0.000049	0.000025	0.000037	0.000061	0.000074
0.002001	0.001001	0.001501	0.002501	0.003002
0.000746	0.000373	0.000560	0.000933	0.001119
0.000100	0.000050	0.000075	0.000125	0.000150
0.000856	0.000428	0.000642	0.001070	0.001284
0.000009	0.000005	0.000007	0.000011	0.000014
0.001121	0.000561	0.000841	0.001401	0.001682
0.000365	0.000183	0.000274	0.000456	0.000548
0.000039	0.000020	0.000029	0.000049	0.000059
0.000031	0.000016	0.000023	0.000039	0.000047

Çizelge L.9 : A9 için temel olayların yamuksal bulanık olasılık değerleri

Bulanık sayı (yaklaşık)	Yamuksal bulanık sayı			
	P_{iA}	P_{iB}	P_{iC}	P_{iD}
0.001821	0.000911	0.001366	0.002276	0.002732
0.002219	0.001110	0.001664	0.002774	0.003329
0.000100	0.000050	0.000075	0.000125	0.000150
0.001046	0.000523	0.000785	0.001308	0.001569
0.001471	0.000736	0.001103	0.001839	0.002207
0.000006	0.000003	0.000005	0.000008	0.000009
0.000111	0.000056	0.000083	0.000139	0.000167

Çizelge L.10 : A10 için temel olayların yamuksal bulanık olasılık değerleri

Bulanık sayı (yaklaşık)	Yamuksal bulanık sayı			
	P_{iA}	P_{iB}	P_{iC}	P_{iD}
0.000217	0.000109	0.000163	0.000271	0.000326
0.000330	0.000165	0.000248	0.000413	0.000495
0.000115	0.000058	0.000086	0.000144	0.000173
0.000286	0.000143	0.000215	0.000358	0.000429
0.001062	0.000531	0.000797	0.001328	0.001593
0.000034	0.000017	0.000026	0.000043	0.000051
0.000007	0.000004	0.000005	0.000009	0.000011

Çizelge L.11 : A11 için temel olayların yamuksal bulanık olasılık değerleri

Bulanık sayı (yaklaşık)	Yamuksal bulanık sayı			
	P_{iA}	P_{iB}	P_{iC}	P_{iD}
0.000096	0.000048	0.000072	0.000120	0.000144
0.000145	0.000073	0.000109	0.000181	0.000218
0.000637	0.000319	0.000478	0.000796	0.000956
0.000325	0.000163	0.000244	0.000406	0.000488
0.000289	0.000145	0.000217	0.000361	0.000434
0.001008	0.000504	0.000756	0.001260	0.001512
0.000027	0.000014	0.000020	0.000034	0.000041

Çizelge L.12 : A12 için temel olayların yamuksal bulanık olasılık değerleri

Bulanık sayı (yaklaşık)	Yamuksal bulanık sayı			
	P_{iA}	P_{iB}	P_{iC}	P_{iD}
0.000156	0.000078	0.000117	0.000195	0.000234
0.000231	0.000116	0.000173	0.000289	0.000347
0.000212	0.000106	0.000159	0.000265	0.000318
0.001123	0.000562	0.000842	0.001404	0.001685
0.000017	0.000009	0.000013	0.000021	0.000026