

## AÇIK DENİZ YAPILARINDA BULUNAN PATLAMA ENGELLEYİCİ SİSTEMLERİN RİSK TABANLI DEĞERLENDİRİLMESİ

Zeynep MUTLU\* ve Deniz ÖZTÜRK

\* İstanbul Teknik Üniversitesi / mutluz@itu.edu.tr ozturkdeni@itu.edu.tr

### ÖZET

Açık deniz yapıları deniz tabanlarında bulunan petrol ve doğal gaz rezervuarların keşfinden taşınmasına kadar oldukça geniş kapsamlı ve zorlu operasyonlarda kullanılmaktadır. Bu işlemler sırasında platformda güvenliğin sağlanması amacıyla çeşitli güvenlik bariyerleri geliştirilmiştir. Bunlardan en önemlisi olan patlama engelleyici sistemler gerek yapısal gerekse fonksiyonel olarak oldukça karmaşıktır. Bu kompleks sistemlerde bulunan risklerin belirlenmesi ve bunları azaltıcı çalışmaların yapılması platformlar için oldukça büyük önem taşımaktadır. Yapılan çalışmada sondaj operasyonu sırasında kullanılan patlama engelleyici sistemler ele alınmıştır. Bulanık DEMATEL yönteminin uygulanmasıyla sistem içerisindeki hata faktörleri belirlenmiş ve bu faktörler önem sırasına sıralanarak analizi yapılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Açık Deniz Yapıları, Sondaj, Patlama Engelleyici Sistemler, Bulanık DEMATEL Yöntemi

### 1. Giriş

Deniz tabanları petrol, doğal gaz ve mineraller gibi enerji kaynakları bakımından oldukça zengindir. Dünyanın enerji ihtiyacının büyük bir kısmını karşılayan bu kaynakların deniz tabanından temini için yapılan çalışmalar gittikçe yaygınlaşmaktadır. Petrol ve doğal gaz endüstrisinin denizlerde bulunan kaynaklara yönelmesiyle birlikte, açık deniz yapılarının inşası ve işletilmesinin önemi zamanla artmıştır. Açık denizde bulunan petrol ve doğal gaz rezervlerinin keşfi ve üretimi gibi adımlarda kullanılan açık deniz yapıları, bu endüstride oldukça geniş bir yere sahiptir. Açık deniz yapıları gerek bulunduğu ortamın zorlu olması gerekse gerçekleştirdiği operasyonlarının hassasiyet gerektirmesi sebebiyle en tehlikeli çalışma alanları arasındadır.

Platformların en önemli fonksiyonlarından biri olan sondaj, çeşitli ekipmanlar yardımı ile deniz tabanında bulunan hidrokarbon rezervuarlarına erişimi sağlar. Deniz tabanının delinmesi sırasında karşılaşılan formasyon akışı hakkında kesin bilgiye sahip olunamaması sebebiyle sondaj sırasında kaza görülme ihtimali yüksektir. Sondaj işlemi sırasında kaçak (kick) gibi ani gelişen ve istenmeyen olaylar oluşabilir. Kaçak kuyu dibinde meydana gelebilecek basınç farkından dolayı sondaj borusu içerisine kontrolsüz bir formasyon akışının girmesi şeklinde tanımlanmaktadır. Kuyu akışını kontrol amaçlı ve tehlikeli durumlara karşı farklı önleyici yöntemler kullanılmaktadır.

Bu önlemler sondaj sırasında farklı derinliklerde yerleştirilen koruma boruları, çimentolama işlemi ve kuyu ağzında bulunan patlama engelleyici sistemler (Blowout Preventer System – BOP) şeklinde sıralanmaktadır. Bunlar arasında en kritik yere sahip olan patlama engelleyici sistem, oluşturulan koruma mekanizmasının son aşamasıdır. Sistem çeşitli dairesel önleyiciler ve sondaj sırasında kullanılan boruları kesebilen mekanizmalar içermektedir.

Platformlarda güvenliğin sağlanması için oldukça önemli yere sahip olan patlama engelleyici sistemler hakkında yapılan risk analizi çalışmaları yapılmaktadır. Bu çalışmalardan yararlanılarak sistem üzerinde etkili olan faktörler belirlenerek bu faktörleri azaltıcı yönde çalışmalar gerçekleştirilebilmektedir.

## 2. Açık Deniz Yapıları

Açık deniz platformları, deniz tabanında bulunan petrol ve doğal gaz kaynaklarının keşif ve üretim aşamalarında kullanılan yapılardır. Denizlerde bulunan enerji kaynaklarına olan talebin artmasıyla paralel olarak platformlarda da gerek işlevsel gerek yapısal birçok gelişmeler görülmüştür. Danimarka Offshore Merkezi'ne göre açık deniz yapılarının kullanım alanları şu şekilde sıralanmıştır [1].

- Petrol ve doğal gaz rezervlerinin keşfi,
- Üretim faaliyetleri,
- Köprü ve geçiş yolları,
- Yaşam mahalli.

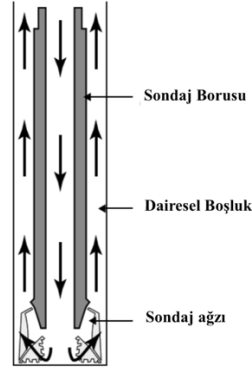
Fonksiyonu, maruz kaldığı çevresel yükler, çalışacağı suyun derinliği gibi etmenler açık deniz yapılarının formunu ve tasarımını etkilemektedir. Tüm bu faktörler göz önünde alındığında platformlar birçok gruba ayrılmıştır. Açık deniz yapıları sabit, deniz dibine bağlı kısmi hareket edebilen ve hareketli platformlar şeklinde sınıflandırılabilir. Sabit platformlar daha çok sığ sularda kullanılan platform tipidir. Ceket tip platformlar ve yer çekimi tip betonarme platformlar bu tip yapılara örnek olarak verilebilir. Çalışılan suyun derinliği arttıkça sabit platformlar yerine deniz dibine bağlı kısmi hareket edebilen yapılar kullanıma daha elverişli hale gelmiştir. Halatlı kuleler, mafsallı kuleler ve gergi ayaklı platformlar bunlara örnektir. Son olarak derin sularda kullanılan hareketli yapılar yer almaktadır. Yarı batıklar, yüzer üretim depolama ve yükleme gemileri ve krikol platformlar hareketli yapılardır.

## 3. Sondaj Operasyonu

Açık deniz yapılarının fonksiyonlarından biri olan sondaj çeşitli makine, ekipman ve aletler yardımıyla deniz tabanında kuyu ağzı oluşturarak daha derinde bulunan hidrokarbon rezervlerine ulaşılmasını kapsayan bir operasyondur. Sondaj için gerekli bütün ekipmanlar sondaj kulesinde bulunmaktadır ve bunlar sondaj borusu, sondaj ağzı ve sondaj yakası olarak sıralanmaktadır.

Sondaj ağzı deniz tabanında kuyu ağzı oluşturma işleminde kullanılmaktadır. Bunun yanında, sahip olduğu dönebilen bıçaklar ve dikey yönde hareketi sayesinde hedeflenen derinliğe ulaşmayı sağlar. Sondaj ağzının hareketi sırasında borunun içerisinde platform üzerinde bulunan çamur tankından aşağıya kuyuya doğru bir çamur akışı olmaktadır.

Şekil 3.1.'de gösterilen kuyuya doğru gerçekleşen çamur akışının sahip olduğu basınç ve sondaj ağzının hareketi sayesinde rezervuarın bulunduğu derinliğe doğru delme işlemi gerçekleşir.



Şekil 3.1. Çamur akışı [2].

### 3.1 Kuyu kontrolü

Sondaj sırasında gerçekleşen akışın ve ekipmanların basınç dengelerinin sağlanması kuyu kontrolü olarak adlandırılmaktadır. Kuyu kontrolü için kullanılan ilk yöntem çamur akışıdır. Çamur akışının formasyon akışı basıncını yenebilmek için yeterli basınca sahip olması temeline dayanmaktadır. Basıncın ayarlanamaması halinde ise ikinci kontrol bariyeri olan patlama engelleyici sistemler devreye girmektedir. Kuyudan gelen akışı durdurabilen bu sistemler basınç dengesinin sağlayarak sondajın güvenli bir şekilde devam etmesinde rol oynar.

### 3.2 Kaçak ve patlama

Sondaj ağzı daha derin katmanlara doğru hareket ettikçe karşılaştığı formasyon basıncı yükselmektedir. Çamur akışının sahip olduğu basıncın, formasyon basıncını yenmek için yeterli olmaması durumunda kuyu borusuna kontrolsüz bir hidrokarbon girişi gerçekleşir. Kaçak adı verilen bu olay platformlarda istenilmeyen durumların başında gelmektedir. Kaçak ve patlama gibi istenilmeyen durumlar temel olarak formasyon basıncı ile çamur akışı basıncının birbirini dengeleyememesinden kaynaklanmaktadır [3].

## 4. Patlama Engelleyici Sistemler

Patlama engelleyici sistem, su altı sondajı sırasında operasyonun güvenli bir şekilde ilerlemesi için kullanılan, birçok sayıda valf, akış hattı ve önleyici mekanizmalardan oluşan bir çeşit güvenlik bariyeridir. Bir ucuyla kuyu ağzına bağlı olan sistem diğer taraftan riser adı verilen çelik boru hattına bağlıdır. Patlama engelleyiciler kuyuya erişimi, sondaj akışının kontrollü bir şekilde devam etmesini ve oluşabilecek acil durumlarda hidrokarbon akışını kesmeyi sağlayan sistemlerdir [4].

Patlama önleyici sistemler genel olarak üç bölümden oluşmaktadır [2]. Bu bölümler aşağıdaki gibi sıralanmaktadır:

- Sualtı riser paketi (Lower Riser Marine Package - LMRP),
- Önleyici düzenek (Blowout Preventer Stack – BOP Stack),
- Kontrol sistemi.

#### 4.1. Sualtı riser paketi

Sualtı riser paketi, zorlu hava şartlarında platformun güvenliğini sağlamak için patlama önleyici düzenden ayrılabilmek kabiliyeti sebebiyle sistemin en kritik parçalarından birisidir. LMRP düzenek kısmına hidrolik sistemle çalışan bir bağlantı parçasıyla bağlıdır ve acil durumlarda LMRP'nin ayrılması için bu parça kullanılır. Bunun yanında LMRP dairesel önleyiciler, valfler, esnek bağlantı parçası ve kontrol podlarından oluşmaktadır.

Şekil 4.1.'de gösterilen dairesel önleyiciler sondaj borusunu muhafaza etmek amacıyla çelikle desteklendirilmiş daire şeklinde plastik bir parça, piston, açma ve kapatma bölümlerinden oluşan bir ekipmandır. Patlama engelleyici sistem üzerindeki birçok parça gibi dairesel önleyiciler de hidrolik basınç etkisiyle çalışmaktadır. Kapatma haznesine ulaşan hidrolik akış pistonların yukarı yönlü hareketine sebep olur, bununla birlikte daire şeklindeki lastik parçalar içeriye doğru hareket eder.



Şekil 4.1. Dairesel önleyici [5].

#### 4.2. Önleyici Düzenek

Önleyici düzenek, kontrol edilemeyen bir formasyon akışının kuyu deliğine girmesi halinde bu akışın yukarıya doğru ilerleyişini durdurabilen çeşitli kesici tipte önleyici mekanizmalardan oluşan bir yapıdır [3]. Bunların yanında kill-choke hatları da düzenek kısmında bulunmaktadır. Çamur akışı ve formasyon akışı arasındaki basınç dengesinin bozulması halinde oluşabilecek tehlikeli durumlarda kuyudan gelen kontrolsüz akışı kesmek için kesici tipte engelleyici parçalar kullanılmaktadır. Genel olarak düzeneği oluşturan kesici tipte engelleyici parça çeşitleri aşağıdaki gibi sıralanmaktadır:

- Boru kesici parça,
- Koruyucu kesici parça,
- Kör kesici parça.

Bu tip engelleyici parçalar karşılıklı olarak yerleştirilmiş iki kesici bıçaktan oluşurlar. Bu bıçaklar hidrolik basıncın etkisiyle birbirlerine doğru hareket ederler ve sondaj borusundaki akışı durdururlar [3]. Kesici parçaların akışı durdurma yöntemleri farklıdır. Örneğin kör kesici parça sondaj borusunu keserek akışı engellerken, diğer tip kesici parçalar boru çevresini muhafaza ederek akışı durdururlar.

Önleyici düzenek üzerinde bulunan kill ve choke hatları genel olarak sistem içerisinde akış dolaşımını sağlamaktadır. Kuyuda basınç artışı görülmesi halinde mevcut sondaj akışı choke hatlarına geçer ve burada basıncının düşürülmesiyle birlikte yüzeye ulaşır [3]. Kill hattı, önleyici düzeneden çıkarak platforma kadar ulaşan yüksek basınçlı boru hattı olarak tanımlanmaktadır. Kesici tip engelleyici parçaların açılma ve kapanma mekanizması, hidrolik akış ile çalışan kontrol sistemi tarafından sağlanmaktadır [3]. Kontrol odasından gönderilen sinyaller su altında bulunan kontrol podlarına ulaşır. Burada, gönderilen komuta göre düzenlenen hidrolik akışın kesici parçada bulunan çift yönlü valfe girmesiyle birlikte pistonlar yukarıya doğru hareket etmektedir. Pistonların bu hareketi kesici parçaları birbirlerine doğru hareket ettirmektedir. Bıçakların birbirlerine doğru hareket etmesi sonucunda sondaj borusu muhafaza edilerek akış durdurulur. Ayrıca pistonların geriye doğru hareketini önlemek amacıyla kilitleme mekanizmaları mevcuttur. Bunun yanında kesici parçanın kapanmasıyla birlikte pistonların arkasında bulunan hidrolik akış ve aşağıdan gelen hidrokarbon akış sebebiyle oluşacak basınç kesici engelleyici parçanın kapalı kalmasını sağlayacaktır [2].

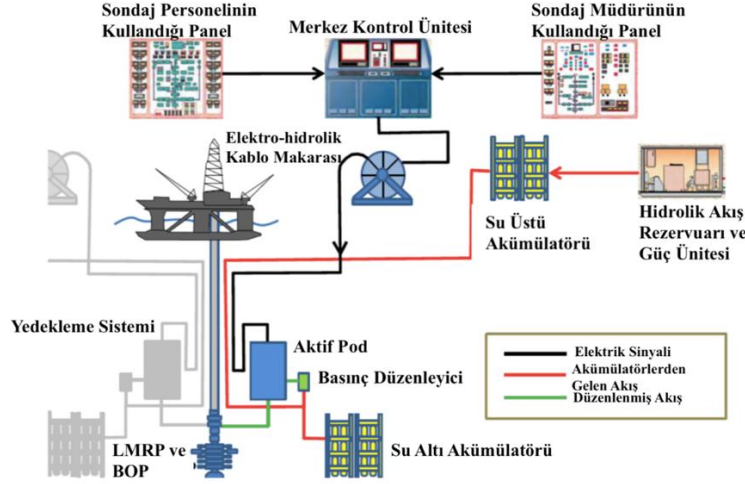
#### 4.3 Kontrol sistemi

Şekil 4.2.'de gösterilen kontrol sistemi, patlama engelleyici sistemlerin tüm işlevlerini yönetmesi sebebiyle yapının en önemli parçasıdır. Patlama engelleyici sistemlerde elektro-hidrolik kontrol sistemi kullanılmaktadır. Bu tip sistemlerde, elektrik hattı ile hidrolik akış hattının birlikte kullanılmaktadır. Elektro-hidrolik kontrol sistemleri, su altı ve kontrol odası arasındaki iletişimin sinyaller ile sağlanmasının yanı sıra hidrolik güçlerin bir arada kullanılması temeline dayanmaktadır [6]. Kontrol sistemi platform üzerine ve su altına yerleştirilmiş çeşitli elemanlardan oluşmaktadır [2]. Sistemin platform üzerinde bulunan kısmında kontrol panelleri, akümülatör, hidrolik güç ünitesi, merkez kontrol ünitesi ve elektro-hidrolik kablolar yer almaktadır. Sistemin su altında kalan parçaları ise kontrol podları, kablolar ve su altı akümülatörleridir.

Su üzerinde bulunan hidrolik güç ünitesi içerisinde su ve çözünmeyen yağ karışımından oluşan hidrolik akışkan bulunmaktadır [6]. Bu hidrolik akışkan, kesici tip engelleyicilerin ve dairesel önleyicilerin açma-kapama fonksiyonlarını gerçekleştirebilmesi için kullanılmaktadır. Hidrolik güç ünitesi, hidrolik akışkanı bir başka rezervuar havuzundan sağlamaktadır [2]. Kesici engelleyici parçaların ve dairesel önleyicilerin açma kapama mekanizmaları manuel olarak kontrol panelleri üzerinden kolayca ayarlanabilmektedir. Gerekli elektrik gücü merkez kontrol ünitesi tarafından sağlanmaktadır. Merkez kontrol ünitesi üzerinden akümülatörlerdeki basınç seviyeleri, kuyuya gönderilen çamur miktarı ve kuyu basınç düzeyi takip edilebilir.

Platform üzerinde yer alan elektro-hidrolik kabloları kontrol odasından gönderilen sinyallerin su altına iletilmesini sağlaması sebebiyle iletişimin önemli parçalarından biridir. Tamamen hidrolik sistemlerde kullanılan kablolarla göre daha ucuz olmakla beraber boyut olarak da daha küçüktürler [6].

Hidrolik akış ise farklı bir hat aracılığı ile su altına gönderilmektedir. Kontrol sisteminin su üzerinde bulunan bölümünü oluşturan bir diğer ekipman da akümülatörlerdir. Su üzerinde bir ve su altında akümülatörler bulunması gerekmektedir. Akümülatörler genel olarak içerisinde belirli bir basınç altında hidrolik akışkan bulunduran tüplerden oluşmaktadır ve sistemin çalışması için gerekli olan hidrolik akışı sağlamaktadırlar.



Şekil 4.2. Kontrol sistemi [2].

Su altı kontrol podları, su altı patlama önleyici ile kontrol odası arasındaki iletişimin sağlanmasında büyük bir role sahip kontrol ekipmanıdır. LMRP'nin her iki yanında fonksiyonel ve biçimsel olarak tamamen aynı olan mavi ve sarı podlar bulunmaktadır. Hangi podun çalıştırılacağına ise personel kontrol paneli üzerindeki tuşlara basarak karar vermektedir. Podlar çeşitli valflerden ve basınç düzenleyici ekipmandan oluşurlar.

Podlar, kontrol odasından gönderilen elektrik sinyallerine göre hidrolik akışı yönlendiren bir çeşit dönüştürücü parçadır. Gelen komut doğrultusunda mevcut hidrolik akış ilgili dairesel önleyicilere ve kesici tip engelleyici parçalara gönderilmektedir.

## 5. Bulanık DEMATEL Yöntemi

'Decision Making Trial and Evaluation Laboratory' (DEMATEL) yöntemi karmaşık kriterlerden oluşan sistemlerde, bu kriterler arasındaki ilişki ve etki derecelerini analiz ederek çözüm yolu geliştiren çok kriterli karar verme metodlarından bir tanesidir.

Nicel ifadelerle ilişkilerin tanımlanması oldukça güçtür. Bulanık DEMATEL yöntemi bu ilişkilerin nitel olarak ifade edilmesini mümkün kılmaktadır. Lin ve Wu, birçok kriter içeren sistemlerde çözümün kolaylaştırılması ve çözümü görselleştirerek daha anlaşılabilir hale getirmesi sebebiyle bulanık DEMATEL yöntemini önermişlerdir [7]. Diğer faktörler üzerinde daha yüksek etkiye sahip olan kriterler sebep kriterleri ya da gönderici grup olarak tanımlanırken daha düşük etkiye sahip olanlar ise sonuç kriterleri veya alıcı grup olarak adlandırılır [8].

## 6. BULANIK DEMATEL YÖNTEMİNİN PATLAMA ENGELLEYİCİ SİSTEMLERE UYGULANMASI

### 6.1 Sistemin Hata Modları

Patlama engelleyici sistemlerdeki hata modlarının tespiti için konuyla ilgili daha önce yapılmış literatür çalışmalarından ve konuyla ilgili uzman görüşlerinden yararlanılmıştır. Literatür taraması aşamasında Holand ve Sokell tarafından 2001 yılında hazırlanmış olan Stifelsen for Industriell Og Teknisk Forskning (SINTEF) raporundan [19, Sætre'nin 2015 yılında patlama engelleyicilerin kontrol sistemleriyle ilgili yayınlamış olduğu makaleden [6] ve Cai ve diğerlerinin sistemlerdeki insan faktörü hakkında yazmış olduğu makalelerden yararlanılarak hata modları ve bunlar arasındaki ilişkiler belirlenmiştir [10].

Konuyla ilgili iki uzmanın görüşlerine başvurulmuştur. Uzmanlardan bir tanesi daha önce patlama engelleyici sistemlerle ilgili çalışma yapmıştır, ikinci uzman açık deniz yapıları ve risk analizi ile ilgili akademik çalışmalar yapmaktadır. Yapılan araştırmalar sonucunda sistem ile ilgili olan hata modları **Tablo 6.1.**'de gösterilmiştir.

**Tablo 6.1.** Sistemin hata modları.

B1	Kaynak Hatası
B2	Yetersiz Denetim ve Testler
B3	Mekanik Problemler
B4	Korozyon
B5	İnsan Hatası
B6	Bağlantı Problemi (Kuyu ağzı veya riser borusu ile)
B7	Hidrolik Sistemin Çalışmaması
B8	Yedekleme Sisteminde Aksaklık
B9	Elektrik Hattı Problemi

### 6.2 Bulanık DEMATEL Yönteminin Uygulanması

Literatür çalışması ve uzman görüşlerinden yararlanılarak listelenen hata faktörleri arasındaki ilişki **Tablo 6.2.**'de gösterilen dilsel ifadeler kullanılarak tespit edilmiştir.

**Tablo 6.2.** Kullanılan dilsel ifadeler.

Dilsel İfadeler	Kısaltması	Bulanık Karşılığı
Çok Yüksek Etkili	çye	(0.75, 1.0, 1.0)
Yüksek Etkili	ye	(0.50, 0.75, 1.0)
Orta Etkili	oe	(0.25, 0.50, 0.75)
Düşük Etkili	de	(0, 0.25, 0.50)
Etkisiz	e	(0, 0, 0.25)

Birinci uzman tarafından dilsel ifadeler kullanılarak hazırlanmış olan kriterlerin ilişki matrisi **Tablo 6.3.**'de gösterilmektedir. Bunu takiben **Tablo 6.4.**'de ilişki matrisinin bulanık sayılarla ifadesi yer almaktadır.

**Tablo 6.3.** Birinci uzman tarafından oluşturulan ilişki matrisi.

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
B1	e	e	e	e	e	e	e	e	e
B2	çye	e	e	oe	e	de	e	e	e
B3	e	e	e	e	e	e	e	e	e
B4	de	e	de	e	e	e	e	e	e
B5	çye	çye	oe	e	e	e	de	oe	de
B6	e	de	e	e	e	e	e	e	e
B7	e	e	oe	e	e	e	e	e	e
B8	e	e	e	e	e	e	e	e	e
B9	e	e	oe	e	e	e	de	e	e

**Tablo 6.4.** Birinci uzmanın oluşturduğu ilişki matrisinin bulanık sayılarla ifadesi.

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
B1	0,0,0.25	0,0,0.25	0,0,0.25	0,0,0.25	0,0,0.25	0,0,0.25	0,0,0.25	0,0,0.25	0,0,0.25
B2	0.75,1,1	0,0,0.25	0,0,0.25	0.25,0.5,0.75	0,0,0.25	0,0.25,0.5	0,0,0.25	0,0,0.25	0,0,0.25
B3	0,0,0.25	0,0,0.25	0,0,0.25	0,0,0.25	0,0,0.25	0,0,0.25	0,0,0.25	0,0,0.25	0,0,0.25
B4	0,0.25,0.5	0,0,0.25	0,0.25,0.5	0,0,0.25	0,0,0.25	0,0,0.25	0,0,0.25	0,0,0.25	0,0,0.25
B5	0.75,1,1	0.75,1,1	0.25,0.5,0.75	0,0,0.25	0,0,0.25	0,0,0.25	0,0.25,0.5	0.25,0.5,0.75	0,0.25,0.5
B6	0,0,0.25	0,0.25,0.5	0,0,0.25	0,0,0.25	0,0,0.25	0,0,0.25	0,0,0.25	0,0,0.25	0,0,0.25
B7	0,0,0.25	0,0,0.25	0.25,0.5,0.75	0,0,0.25	0,0,0.25	0,0,0.25	0,0,0.25	0,0,0.25	0,0,0.25
B8	0,0,0.25	0,0,0.25	0,0,0.25	0,0,0.25	0,0,0.25	0,0,0.25	0,0,0.25	0,0,0.25	0,0,0.25
B9	0,0,0.25	0,0,0.25	0.25,0.5,0.75	0,0,0.25	0,0,0.25	0,0,0.25	0,0.25,0.5	0,0,0.25	0,0.25,0.5

**Tablo 6.5.**'de ilişki matrisinin (1) eşitliği kullanılarak oluşturulmuş durulaştırılmış hali gösterilmektedir.

$$I_T = (1/6) (1 + 4n + m) \quad (1)$$

**Tablo 6.5.** Birinci uzmanın oluşturduğu ilişki matrisinin durulaştırılması.

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
B1	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417
B2	0.9583	0.0417	0.0417	0.5000	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417
B3	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417
B4	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417
B5	0.9583	0.9583	0.5000	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.5000	0.0417
B6	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417
B7	0.0417	0.0417	0.5000	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417
B8	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417
B9	0.0417	0.0417	0.5000	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417



k sayıda uzman tarafından hazırlanmış olan direkt ilişki matrislerinin durulaştırma işleminin ardından ortalamaları alınmaktadır. Bu şekilde **Tablo 6.6.**'daki bulanık direkt ilişki matrisi elde edilir.

**Tablo 6.6.** Bulanık direkt ilişki matrisi (A Matrisi).

	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>B3</b>	<b>B4</b>	<b>B5</b>	<b>B6</b>	<b>B7</b>	<b>B8</b>	<b>B9</b>	<b>Toplam</b>
<b>B1</b>	0.0417	0.0417	0.0417	0.1111	0.0417	0.1111	0.0417	0.0417	0.0417	0.5138
<b>B2</b>	0.9583	0.0417	0.0417	0.500	0.125	0.1111	0.0417	0.0417	0.0417	1.9027
<b>B3</b>	0.1111	0.0417	0.0417	0.0417	0.1111	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.5138
<b>B4</b>	0.1133	0.0417	0.2500	0.0417	0.0417	0.1111	0.0417	0.0417	0.0417	0.7244
<b>B5</b>	0.9583	0.9583	0.0417	0.1805	0.0417	0.1111	0.0417	0.0417	0.0417	3.9166
<b>B6</b>	0.0417	0.1111	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.4444
<b>B7</b>	0.0417	0.0417	0.6527	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.1111	1.0555
<b>B8</b>	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.0417	0.375
<b>B9</b>	0.0417	0.0417	0.6527	0.0417	0.0417	0.0417	0.3333	0.0417	0.1111	1.3472
<b>Toplam</b>	2.3494	1.3611	2.1805	1.0416	0.5277	0.6527	1.0416	0.7500	0.8888	

A matrisinin her bir satır ve sütunu toplanır ve bunlar arasındaki en yüksek değerlerin belirlenmesinin ardından (2)'deki denklem kullanılarak m değeri elde edilir. Son olarak ortalama ilişki matrisinin bütün elemanları m ile çarpılarak normalizasyon işlemi tamamlanır. (3)'de gösterilen denklem uygulanarak **Tablo 6.7.**'deki normalleştirilmiş D matrisi elde edilir.

$$m = \min \left[ \frac{1}{\max \sum_{j=1}^n |a_{ij}|}, \frac{1}{\max \sum_{i=1}^n |a_{ij}|} \right] \quad (2)$$

$$D = m \times A \quad (3)$$

**Tablo 6.7.** D matrisi: Normalleştirilmiş ortalama direkt ilişki matrisi.

	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>B3</b>	<b>B4</b>	<b>B5</b>	<b>B6</b>	<b>B7</b>	<b>B8</b>	<b>B9</b>
<b>B1</b>	0.0106	0.0106	0.0106	0.0284	0.0106	0.0284	0.0106	0.0106	0.0106
<b>B2</b>	0.2447	0.0106	0.0106	0.1276	0.0319	0.0284	0.0106	0.0106	0.0106
<b>B3</b>	0.0284	0.0106	0.0106	0.0106	0.0284	0.0106	0.0106	0.0106	0.0106
<b>B4</b>	0.0289	0.0106	0.0638	0.0106	0.0106	0.0284	0.0106	0.0106	0.0106
<b>B5</b>	0.2447	0.2447	0.1064	0.046	0.0106	0.0284	0.1064	0.1064	0.1064
<b>B6</b>	0.0106	0.0284	0.0106	0.0106	0.0106	0.0106	0.0106	0.0106	0.0106
<b>B7</b>	0.0106	0.0106	0.1667	0.0106	0.0106	0.0106	0.0106	0.0106	0.0284
<b>B8</b>	0.0106	0.0106	0.0106	0.0106	0.0106	0.0106	0.0106	0.0106	0.0106
<b>B9</b>	0.0106	0.0106	0.1667	0.0106	0.0106	0.0106	0.0851	0.0106	0.0284

Bir önceki adımda elde edilen D matrisinin (4) numaralı denklemde yerine koyulmasıyla toplam direkt ilişki matrisi (T matrisi) oluşturulur.

**Tablo 6.8'** de elde edilen T matrisi gösterilmektedir.

$$T = D (I - D)^{-1} \quad (4)$$

D = Normalleştirilmiş D matrisi.

I = Birim matris

T = Toplam ilişki matrisi

$T = [t_{ij}]_{n \times n}$

Toplam direkt ilişki matrisinin oluşturulmasının ardından eşik değeri eşik değeri ( $\alpha$ ) denklem (7) kullanılarak belirlenmektedir.

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [t_{ij}]}{N} \quad (7)$$

N = T matrisindeki toplam eleman sayısı.

Hazırlanan matris için eşik değeri 0.0455 olarak hesaplanmıştır. **Tablo 6.8.**'te gösterilen T matrisinde koyu renkli gösterilen değerler eşik değerini geçmiş olan faktörlerdir.

**Tablo 6.8.** T matrisi: Toplam direkt ilişki matrisi.

	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>B3</b>	<b>B4</b>	<b>B5</b>	<b>B6</b>	<b>B7</b>	<b>B8</b>	<b>B9</b>
<b>B1</b>	0.0204	0.0161	0.0200	0.0329	0.0132	0.0317	0.0148	0.0138	0.0143
<b>B2</b>	<b>0.2703*</b>	0.0273	0.0357	<b>0.1437*</b>	0.0398	0.0436	0.0227	0.0211	0.0219
<b>B3</b>	0.0432	0.0203	0.0218	0.0170	0.0313	0.0147	0.0169	0.0157	0.0163
<b>B4</b>	0.0406	0.0172	<b>0.0735*</b>	0.0164	0.0149	0.0325	0.0157	0.0146	0.0158
<b>B5</b>	<b>0.3344*</b>	<b>0.2679*</b>	<b>0.1700*</b>	<b>0.0989*</b>	0.0337	<b>0.0557*</b>	<b>0.1335*</b>	<b>0.1239*</b>	<b>0.1286*</b>
<b>B6</b>	0.02401	0.0335	0.019	0.0172	0.0134	0.0139	0.0147	0.0137	0.0142
<b>B7</b>	0.0264	0.0189	<b>0.1813*</b>	0.0176	0.0179	0.0158	0.0186	0.0160	0.0347
<b>B8</b>	0.0192	0.0153	0.0184	0.0146	0.0127	0.0132	0.0143	0.0133	0.0138
<b>B9</b>	0.0284	0.0202	<b>0.1949*</b>	0.0189	0.0193	0.0169	<b>0.0945*</b>	0.0172	0.0373
<b>Toplam</b>	0.8071	0.4368	0.7350	0.3775	0.1963	0.2381	0.3460	0.2495	0.2963

T matrisinde her bir kriter için satır ve sütun değerleri toplanarak sırasıyla R ve C değerleri elde edilir. R değeri kriterin etkileme derecesini ve C değeri kriterin diğer faktörler tarafından ne kadar etkilendiğini ifade etmektedir.

**Tablo 6.9.**'te her bir kriter için R, C, R+C ve R-C değerleri gösterilmektedir. R-C değeri pozitif olanlar yüksek etkiye sahiptir ve sebep grubunu oluştururlar. R-C değeri negatif olanlar ise etkilenen kriterlerdir.

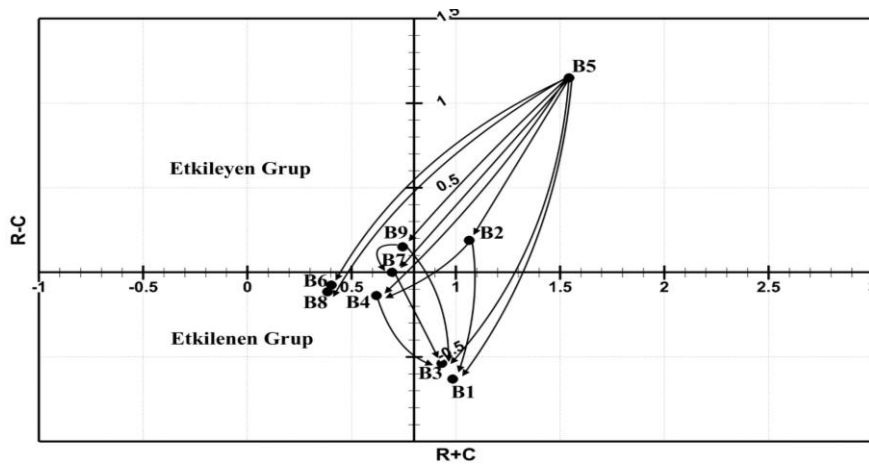
$$R = \left[ \sum_{j=1}^n t_{ij} \right] n \times 1 \quad (8)$$

$$C = \left[ \sum_{i=1}^n t_{ij} \right] 1 \times n \quad (9)$$

**Tablo 6.9.** Faktörlerin R, C, R+C ve R-C değerleri.

Hata Modları	R	C	R+C	R-C
B1	0.1776	0.8071	0.9847	-0.6296
B2	0.6263	0.4368	1.0631	0.1894
B3	0.1974	0.735	0.9324	-0.5376
B4	0.2408	0.3775	0.6183	-0.1367
B5	1.3467	0.1963	1.543	1.1504
B6	0.1638	0.2381	0.4018	-0.0743
B7	0.3474	0.346	0.6934	0.0014
B8	0.1349	0.2495	0.3844	-0.1145
B9	0.4478	0.2963	0.7441	0.1515

Son olarak faktörler arasındaki ilişkinin daha iyi bir şekilde anlaşılması ve yorumlanabilmesi için bir neden-sonuç grafiği hazırlanır. **Şekil 6.1.**'de patlama engelleyici sistemlerle ilgili olan neden-sonuç grafiği gösterilmektedir. Bu grafiğe göre B5, B2 ve B9 kriterleri etki-sebep grubunda yer alırken B1 ve B3 kriterleri en çok etkilenenlerdir.



**Şekil 6.1.** Neden-Sonuç grafiği.

### 6.3 Değerlendirme ve Öneriler

Faktörler arasındaki ilişkiyi daha iyi kavramak ve yorumlamak için ‘neden-sonuç diyagramı’ oluşturulmuştur. **Şekil 6.1.**’deki diyagramda gösterildiği gibi, bulanık DEMATEL yöntemine göre (R-C) değeri pozitif olan faktörler etkileyen grupta, (R-C) değeri negatif olanlar ise etkilenen grupta yer almaktadır.

Bu diyagrama göre, (R-C) değeri 1.1504 olan ‘insan hatası’ ve (R-C) değeri 0.1894 olan ‘yetersiz denetim-test’ faktörleri en yüksek etki derecesine sahiptir. Analiz neticesinde bu faktörlerin diğer faktörlerle yüksek derece ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Gerek korozyon gibi olaylarının kontrolü gerekse kontrol sistemi kapsamındaki işlemlerin personel tarafından idame ettirilmesi insan faktörünü olası hataların merkezi yerleştirmektedir. Bunun yanı sıra kaynak işleminin insan tarafından yapılması ve denetlenmesi de insan faktörünün etki derecesini arttırmaktadır.

Patlama engelleyici sistemlerin hemen hemen bütün parçaları bir yedekleme sistemine sahiptir. Yedekleme sistemlerinin bazıları personel tarafından devreye sokulurken bazıları otomatik olarak çalışır. Personele bağlı yedekleme sistemlerinde de insan faktörü etkili olmaktadır. Diğer sebep faktörü olan yetersiz test ve denetim patlama engelleyici sistemlerde görülebilecek kusurların tespiti açısından önemlidir. Kaynak hatası ve korozyon gibi yapının kullanım ömrünü azaltabilecek faktörlerin tespit edilmesi uygun önlemlerin alınması yapılacak olan denetimlere bağlıdır.

Önceki bölümlerde de bahsedildiği üzere patlama engelleyicilerin sahip olduğu fonksiyonlar tamamen kontrol sistemi tarafından yönetilmektedir. Kontrol sistemi hidrolik kontrol sistemi ve elektrik kontrol sistemi olarak ikiye ayrılmaktadır. Hidrolik güç sağlayan ünitelerde gereken basınçta bir akış sağlanamaması su altında bulunan hidrolik sisteminin çalışmasını olumsuz yönde etkileyecektir.

Kesici tip engelleyici parçalar ve dairesel önleyicilerin çalışması için de yeterli olmayan bu hidrolik akış sonucunda patlama engelleyici sistem tüm işlevini yitirecektir. Platformda bulunan kontrol panelleri aracılığı ile çalışması istenen parça ve fonksiyonu seçilebilmektedir. Bu komut elektrik sinyalleri halinde kablolar ile su altı kontrol podlarına daha sonra ilgili parçaya iletilmektedir. Dolayısıyla elektrik sistemi problemi ve hidrolik sisteminin çalışmaması gibi faktörler kesici tip engelleyicilerin çalışmasında büyük etkiye sahiptir.

(R-C) değeri çok yüksek olmamasına rağmen sistemdeki mekanizmaların işlevlerini etkileyebilen bir diğer faktör ise korozyondur. Çevresel faktörler etkisiyle malzemede görülebilecek bozulmalar korozyon olarak adlandırılmaktadır. Patlama engelleyicilerin en önemli parçalarından olan kesici tip engelleyici parçalar ve kill-choke hatları sürekli bir hidrolik akış etkisindedir. Bu sebeple bu ekipmanlar korozyona maruz kalma riski taşımaktadır. Korozyon bu parçalarda yorulmaya, dolayısıyla kısa süre içinde parçaların işlevlerinin azalmasına sebep olabilir.

Yapılan çalışma sonucunda (R-C) değeri -0.6296 olan kaynak hatası ile (R-C) değeri -0.5376 olan mekanik problemler sonuç grubu üyeleri arasında en çok etkilenen faktörlerdir. Kaynak yapan kişinin yeterli kabiliyete sahip olmaması kaynağın kalitesini etkilemektedir. Bir diğer etkilenen faktör ise mekanik problemlerdir. Mekanik problemler kesici engelleyici parçaların ve dairesel önleyicilerin çalışması sırasında yaşanabilecek sorunları içermektedir. Kör kesici parçanın kapanmaması ya da açılmaması bu sorunlara bir örnek teşkil etmektedir.

Unutulmaması gereken bir nokta ise patlama engelleyici sistemlerin kontrolsüz formasyon akışını durdurmak için kesici engelleyici parçaları ve dairesel önleyicileri kullanmasıdır. Bu durum en çok etkilenen faktör olmasına rağmen mekanik problemlerin sistemin performansı için ne denli önemli olduğunu göstermektedir. Bağlantı hatası da etkilenen grupta yer almaktadır.

Yapılan araştırmalar ve görüşmeler sonucunda insan faktörü hemen hemen bütün alanlarda olduğu gibi bu sistem için de yaşanan kazaların başlıca sebepleri arasında yer almaktadır. Patlama engelleyici sistemler yaşanabilecek kazalara karşı kendi içerisinde belirli standartlara uygun olarak inşa edilmekte ve sistem içinde çeşitli yedekleme mekanizmaları bulunmaktadır. Ancak kazalar beklenmedik olaylar olduğu için acil durumlarda ne yapılması gerektiği hakkında yeterli birikiminin olmaması veya önlemlerin gereken düzeyde bulunmaması durumunda yedekleme ya da gerekli standartların sağlanması gibi faktörlerin önemi azalmaktadır. Önceki bölümlerde de belirtildiği gibi personelin eğitim düzeyinin düşük olması, stres, yorgunluk, rekabet, baskı, güvenlik, operasyon prosedürlerinin eksik uygulanması ve daha birçoğu insan kaynaklı hataları oluşturmaktadır.

## 7. SONUÇ

Patlama engelleyici sistemler, su altı sondaj operasyonlarında patlama ve kaçak gibi olaylara karşı kullanılan en önemli güvenlik öğeleridir. Gerek sistemin gerekse platformun güvenlik seviyesini arttırmak amacıyla bu alanla ilgili risk analizi çalışmaları yapılmaktadır. Bu çalışmada patlama engelleyici sistemleri üzerine bulanık DEMATEL yönteminin uygulanmasıyla sistemin risk analizi yapılmıştır.

Bu kapsamda ilk olarak açık deniz yapıları ve sondaj operasyonu hakkında bilgi verilmiştir. Patlama engelleyici sistemlerin platformlardaki önemini vurgulamak amacıyla sondaj sırasında oluşabilecek tehlikeli durumlardan bahsedilmiştir. Daha sonra patlama engelleyici sistemler tanımlanarak, bu sistemleri oluşturan her bir parça ayrı olarak ele alınmıştır. Sistemin içindeki her bir bölümün çalışma prensibinden bahsedilmiştir.

Konu ile ilgili yapılan literatür çalışmaları sonucunda oluşturulan faktörlerin belirtilmesinin ardından uzmanların nitel ifadelerle hazırlamış olduğu ilişki matrisleri belirtilmiştir. DEMATEL yönteminin uygulanmasıyla faktörler etki derecelerine göre gruplandırılmıştır. Yapılan çalışmada patlama engelleyici sistemler üzerinde en çok etkiye sahip hata faktörü insan hatası olarak tespit edilmiştir. Bunu takiben yetersiz yapılan denetim ve testler ile elektrik ve hidrolik sistemi arızaları yer almaktadır. Patlama engelleyiciler içerisinde en çok etkilenen faktörler ise kaynak hatası ile sistem içindeki önleyici mekanizmaların çalışmamasını kapsayan mekanik problemler olarak belirlenmiştir.

**Kaynaklar:**

- [1] Offshore Center Danmark., 2010. Offshore Book: An introduction to the offshore industry. Erişim: <http://www.offshorecenter.dk/log/bibliotek/OffshoreBook2010.pdf>
- [2] Drægebø, E., 2014. Reliability analysis of Blowout Preventer Systems. *Yüksek lisans tezi*, Norwegian University of Science and Technology.
- [3] Januarilham, Y., Analysis of component criticality in the blowout preventer. *Yüksek lisans tezi*, University of Stavanger.
- [4] Mutlu, M., Arnold, Z., Franchek, M.A., & Meraz, J., 2017. Qualitative fault tree analysis of blowout preventer control system for real time availability monitoring. *Açık Deniz Platformları Teknolojisi Konferansı*, Teksas, ABD.
- [5] <https://www.geoilandgas.com/drilling/offshore-drilling/annular-bop-systems>, Erişim tarihi: 17 Nisan 2018.
- [6] Sætre, Ø., 2015. Reliability assessment of subsea BOP control systems. *Master thesis*, Norwegian University of Science and Technology.
- [7] Lin, C.J. & Wu, W.W., 2008. A causal analytical method for group decision-making under fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*, 34(1), Sayfa 205-213, Elsevier.
- [8] Akyıldız ve diğerleri, 2015. Denizcilik sektöründe risk analizi için karar verme yöntemleri, Teknik rapor, İstanbul, Türkiye.
- [9] Holand, P. & Skalle, P., 2001. Deepwater kicks and BOP performance, unrestricted version, Norveç.
- [10] Cai, B., Liu, Y., Liu, Z., Tian, X., Zhang, Y. & Liu J., July 2012. Performance evaluation of subsea blowout preventer systems with common-cause failures: *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Cilt 90, Sayfa: 18-25, Elsevier.