



**T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BATI RAMAN SAHASI ÜRETİM
KUYULARINDA MATKAP PERFORMANS
DEĞERLENDİRMESİ VE MATKAP JET ÇAPI
SEÇİMİ OPTİMİZASYONU**

Ömer İMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Mart-2019
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Ömer İMİR tarafından hazırlanan “Batı Raman Sahası Üretim Kuyularında Matkap Performans Değerlendirmesi ve Matkap Jet Çapı Seçimi Optimizasyonu” adlı tez çalışması 15/03/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan	: Dr.Öğr.Üyesi Nuray ALPASLAN
Üye	: Doç.Dr. Gürşat ALTUN
Üye	: Dr.Öğr.Üyesi Şükrü MEREY
Danışman	: Dr.Öğr.Üyesi Nuray ALPASLAN

İmza

(Handwritten signatures of the jury members and supervisor)

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

(Handwritten signature of Doç. Dr. Bahattin İŞCAN)
Doç. Dr. Bahattin İŞCAN
FBE Müdürü



TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Ömer İMİR
15.03.2019

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BATI RAMAN SAHASI ÜRETİM KUYULARINDA MATKAP PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ VE MATKAP JET ÇAPI SEÇİMİ OPTİMİZASYONU

Ömer İMİR

Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Nuray ALPASLAN

2019, 109 Sayfa

Jüri

Danışman Dr. Öğr. Üyesi Nuray ALPASLAN

Doç. Dr. Gürşat ALTUN

Dr. Öğr. Üyesi Şükrü MEREY

Bu çalışmada, Türkiye'nin en büyük petrol üretim sahası olan Batı Raman'da yapılan sondajların matkap performanslarının niteliksel değerlendirmesi ve matkap jet çapı seçme optimizasyonu yapıldı. Bu amaçla sondaj ve matkap parametreleri analiz edilmiştir. Çamurun reolojik değerleri, debi, dizi içi, anülüs ve matkaptaki basınç kayıpları toplamı, basınç kayıpları için yüzeyden harcanan güç (HHP), sondaj dizisi dizilimi (BHA), sondaj birim maliyeti, matkaba verilen ağırlık (WOB), dönme hızı (RPM) ve jet hızı parametreleri incelenmiştir. Bu amaçla Batı Raman sahasında yapılan sondajların ikinci aşamasında 8 ½'' çapında PDC matkap ile kazılan beş kuyu, standart matkap ile kazılan beş kuyu ve insert matkap ile kazılan dört kuyu olmak üzere toplam on dört kuyunun verileri kullanılmıştır ve bu matkapların performansları niteliksel olarak değerlendirilmiştir. Kullanılan bu veriler ile oluşturulan grafikler karşılaştırılıp analiz edilerek, PDC matkabin zaman ve buna bağlı olarak maliyet açısından insert ve standart matkaba göre çok daha avantajlı olduğu tespit edilmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında, Bingham Plastik modeli kullanılarak maksimum matkap hidrolik güç için matkap jet çapı seçme optimizasyonu yapıldı. Yapılan optimizasyon ile on dört kuyunun verisi için bulunan optimum jet çapları ile bu sahada yapılacak sondajlarda daha iyi performans elde edilebileceği ve yapılacak sondajlarda en uygun matkabin kuyunun durumuna göre 6/32", 7/32" ve 8/32" çapa sahip jetlerden oluşan 6 adet jetin yer aldığı PDC matkaplar olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Batı Raman, insert matkap, jet çapı, jet hızı, matkap, PDC, sondaj, standart matkap

ABSTRACT

MS THESIS

THE BIT PERFORMANCE EVALUATION OF PRODUCTION WELLS IN WESTERN RAMAN FIELD AND OPTIMIZATION OF THE BIT JET DIAMETER SELECTION

Ömer İMİR

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN GEOLOGY ENGINEERING**

Advisor: Dr. Nuray ALPASLAN

2019, 109 Pages

Jury

Advisor: Dr. Nuray ALPASLAN

Assoc. Prof. Gürşat ALTUN

Dr. Şükrü MEREY

In this study, qualitative evaluation of bit performance and optimization of the bit jet's diameter selection were conducted in terms of the drillings in the Western Raman region which is Turkey's biggest oil production field. Therefore, the parameters of drilling and bit parameters were analyzed. Rheological properties of the soil, flow, total in-series, annulus and total pressure losses on the drill bit, power spent from the surface (Hydraulic Horse Power-HHP) for pressure losses, Bottom Hole Assembly (BHA), drilling meter cost, weight on the bit (WOB), Revolutions Per Minute (RPM), and jet speed were investigated. For this purpose, in the second stage of the drillings carried out in the Western Raman field, the data of fourteen wells including five wells drilled with PDC drill bit 8 1/2" in diameter, five wells drilled with standard bit and four wells drilled with insert bit were utilized, and the performance of these bits were evaluated in terms of quality. Upon comparing and analyzing the graphs created based on these data, the PDC drill bit was found to be much more efficient than insert and standard drill bits in terms of time and correspondingly cost.

In the second stage of the study, optimization of the bit jet's diameter selection was performed with Bingham Plastic model for maximum hydraulic power of the bit. After the optimization, it was detected that the optimum jet diameters found for the data of fourteen wells can yield a better performance in the drillings in this site and the optimum drill bit is PDC bits including 6 jets with 6/32", 7/32" and 8/32" diameters according to the condition of the well.

Keywords: bit, drilling, insert bit, jet diameter, jet velocity, PDC, standart bit, Western Raman oilfield, ,

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının başlangıcından sonuna kadar her aşamasında bilimsel katkısını ve tecrübesini esirgemeyen, desteğini her daim hissettiğim çok değerli danışman hocam Sayın Dr.Öğr.Üyesi Nuray ALPASLAN hocama teşekkürlerimi sunarım.

Yine tecrübe ve bilimsel katkısını esirgemeyen Sayın Dr.Öğr.Üyesi Şükrü MEREY hocam'a teşekkür etmeyi borç bilirim. Tez çalışmamda veri desteğini sağlayan Türkiye Petrolleri Batman Bölge Müdürlüğü'ne de ayrıca teşekkür ederim. Tezimin çalışma süresince yardımlarını esirgemeyen Türkiye Petrolleri Batman Bölge Müdürlüğünde Sondaj Mühendisi Rıdvan ARİK'e, Türkiye Petrolleri Batman Bölge Müdürlüğünde Baş Mühendis olan abim Selman İMİR ve mesai arkadaşım Arş.Gör. Süleyman POLAT'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışmamın hazırlanma aşamasında maddi ve manevi desteğini hiç esirgemeyen aileme teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Ömer İMİR
BATMAN-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Amaç ve Kapsam.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	5
3.1. Sondaj Kavramı ve Mekanizması	5
3.2. Sondaj İlerleme Hızını (ROP) Etkileyen Parametreler	7
3.2.1. Sondaj parametreleri	8
3.2.1.1. Çamur ağırlığı	9
3.2.1.2. Debi	12
3.2.1.3. Basınç kayıpları ve yüzeyden harcanan güç (HHP).....	14
3.2.1.4. Sondaj dizisi dizilimi (BHA) ve sapma kontrolü.....	15
3.2.1.5. Sondaj birim maliyeti	17
3.2.2. Matkap çalışma parametreleri	19
3.2.2.1. Matkaba verilen ağırlık (WOB)	19
3.2.2.2. Dönme hızı (RPM)	21
3.2.2.3. Jet hızı.....	22
3.3. Matkap Teknolojisine Genel Bir Bakış.....	25
3.3.1. Döner konlu matkaplar.....	26
3.3.1.1. Matkap dizaynı.....	28
3.3.1.2. Üç konlu matkapların IADC sınıflandırılması.....	29
3.3.1.3. Üç konlu matkapların IADC değerlendirilmesi.....	31
3.3.2. Sabit başlı matkaplar	34
3.3.2.1. Doğal elmas matkabı.....	36
3.3.2.2. Elmas emprenye edilmiş matkaplar	37
3.3.2.3. TSP (ısıya dayanıklı PDC, thermally stable PDC)	38
3.3.2.4. Polikristalin elmaslı kompakt matkap (PDC)	38
3.3.2.5. Sabit başlı matkapların IADC sınıflandırılması.....	39
3.3.2.6. Sabit başlı matkapların IADC değerlendirilmesi	41
3.3.3. Hibrit matkaplar	43
3.4. Matkap Seçme Kriterleri	45
3.4.1. Referans kuyularının verilerinin değerlendirilmesi ve karşılaştırılması	45
3.4.2. Formasyon sertliği-matkap uyumu	45
3.4.2.1. Yumuşak formasyonlar	46
3.4.2.2. Orta sert formasyonlar	47
3.4.2.3. Sert formasyonlar	47
3.4.3. Matkap çalıştırma maliyeti denklemi.....	48

3.4.4. Sondaj testi (Drill off test).....	49
3.5. Matkap Jet Çapı Seçme Optimizasyonu	49
3.5.1. Maksimum jet hızı	49
3.5.2. Maksimum matkap hidrolik gücü	50
3.5.3. Maksimum jet çarpma kuvveti	52
4. BATI RAMAN PETROL SAHASI.....	53
4.1. Batı Raman Petrol Sahası ve Kuyuların Genel Değerlendirmesi	53
4.2. Batı Raman Petrol Sahasındaki Formasyonların Jeolojisi ve Formasyon Tiplerinin Değerlendirilmesi	55
4.2.1. Hoya formasyonu (Midyat kireçtaşı)	56
4.2.2. Gercüş formasyonu	57
4.2.3. Germav formasyonu.....	57
4.2.4. Garzan ve Kıradağ formasyonu	59
4.3. Batı Raman Petrol Sahasındaki Sondajların Yapılış Aşamaları.....	60
4.4. Batı Raman'daki Sondajlarda Kullanılan Matkaplar	60
4.4.1. Batı Raman petrol sahasında kullanılan standart matkap özellikleri	62
4.4.2. Batı Raman petrol sahasında kullanılan insert matkap özellikleri.....	62
4.4.3. Batı Raman petrol sahasında kullanılan PDC Matkap özellikleri	62
5. TARTIŞMA VE BULGULAR.....	63
5.1. Batı Raman Sahası Üretim Kuyularında Matkap Performans Değerlendirmesi ..	63
5.1.1. P1 kuyusunun sondaj ve matkap parametrelerinin değerlendirilmesi	63
5.1.2. S1 kuyusunun sondaj ve matkap parametrelerinin değerlendirilmesi	67
5.1.3. İ1 kuyusunun sondaj ve matkap parametrelerinin değerlendirilmesi	69
5.1.4. Tüm kuyuların ortalama çamur ağırlıklarının değerlendirilmesi.....	71
5.1.5. Tüm kuyuların ortalama debilerinin değerlendirilmesi	72
5.1.6. Üç matkap tipi için ortalama WOB değerleri	72
5.1.7. Üç matkap tipi için sondaj birim maliyeti	73
5.1.8. Sondaj dizisi dizilimi (BHA) ve sapma kontrolü	75
5.2. Batı Raman Sahası Üretim Kuyularında Matkap Jet Çapı Seçme Optimizasyonu	76
5.2.1. P1 kuyusu için matkap jet çapı seçme optimizasyonu	77
5.2.2. Tüm kuyular için matkap jet çapı seçme optimizasyonu	83
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	87
5.1. Sonuçlar	87
5.2. Öneriler	89
KAYNAKLAR	91
ÖZ GEÇMİŞ.....	99

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

D : Matkap çapı, (inç)

E_m : Mekanik verim

Kısaltmalar

API :Amerikan Petrol Enstitüsü, American Petroleum Institute

Bbl : Varil, barrel

BHA : Sondaj dizisi dizilimi, Bottom hole assembly,

BPD : Matkaptaki basınç kaybı, Bit pressure drop, psi

CFL : Kromsuz Lignosülfonat, Chrome Free Lignosulfonate

CMC : Karboksimetil Selüloz, Carboxymethyl Cellulose

DC : Ağırlık borusu, Drill collar

DP : Sondaj borusu, Drill pipe

DST : Formasyon basınç testi, Drill stem test

gal : Galon

HHP : Hidrolik güç, Hydraulic horsepower

IADC : Uluslararası Sondaj Müteahhitler Birliği International Association of Drilling Contractors

in : İnç, Inch

lbs. : Libre, Pounds

MW : Çamur ağırlığı, Mud weight, lbs/ft³

Pac Lv : Düşük Viskoziteli Polianyonik Selüloz, Low Viscosity Polyanionic

PDC : Çok Kristalli Elmas Kompakti, Poly-Crystalline Diamond Compact

psi : İnç basınç birimi, Pounds per square inch

ROP : Sondaj ilerleme hızı, Rate of penetration, m/saat

RPM : Matkap dönme hızı, Revolutions per minute, devir/dk

SPP : Dizi içi ve anülüs basınç kayıpları toplamı, Stand pipe pressure, psi

TSP : Isıya dayanıklı PDC, Thermally stable PDC

USD : Amerika doları, United States Dollar

WOB : Matkaba verilen ağırlık, Weight on bit, ton

1. GİRİŞ

Petrol, doğalgaz ve jeotermal sektöründe en önemli faktörlerden biri kuyu sondajındaki zaman ve buna bağlı olarak maliyettir. Sondaj endüstrisinin hedefi, güvenlik ve çevre standartlarından ödün vermeden (Sivagnanam, 2014) çok masraflı bir işlem olan sondajın genel maliyetini en aza indirmektir.

Sondaj mühendisliğinde en önemli konulardan biri optimum matkap ve optimum jet çapı seçimidir. Optimum matkap seçimi bir kuyunun maliyetinin hesaplanmasında yer alan anahtar faktörlerdendir. Matkap, sondaj dizisi sonunda bulunan, kayaçları ezme ve kesme işlemini yapan önemli bir araçtır (Özbayoğlu, 2011). Bu yüzden sağlıklı ve verimli bir sondaj için birçok varyasyonda matkap tipi tasarlanmıştır. Belirli bir sondaj için matkabın seçimi, sondaj işlemi sırasında beklenen çalışma koşullarının yanı sıra kazılacak formasyonun yapısına göre değişmektedir. Bir matkabın performansı; WOB, RPM, çamur özellikleri ve hidrolik verimliliği de dahil olmak üzere çeşitli çalışma parametrelerinin bir fonksiyonudur (Özbayoğlu, 2011).

Çalışma prensibine göre; döner konlu matkaplar, sabit başlı matkaplar, hibrit matkaplar ve darbeli matkaplar olmak üzere dört çeşit matkap vardır (Özkara ve Derman, 2013). Günümüz sondajlarında daha çok döner konlu ve sabit başlı matkaplar kullanılmaktadır. Bu çalışmada da bu iki çeşit matkap tipi incelenecektir. İdeal bir matkaptan beklenenler; yüksek hızda sondaj yapması, uzun bir süre çalışabilmesi, tam çapta sondaj yapabilmesi, yönünde sondaj yapabilmesi ve uygun maliyete (fiyat–metre değerlendirmesi) sahip olmasıdır (Özkara ve Derman, 2013). Uygun matkap seçimi için referans kuyu verileri ve formasyon özellikleri kullanılmalıdır. Referans kuyu verileri; kullanılan matkap özellikleri (IADC kodları, diğer matkap özellikleri, matkap (performans, aşınma) değerlendirme kayıtları), kazılan formasyon özellikleri (sertlik, aşındırma, baskı mukavemeti, litoloji), ROP (ilerleme hızları), WOB, RPM, debi ve kullanılan matkapların metre maliyetlerinden oluşur. Kuyu programları hazırlanırken bahsedilen bütün bu parametreler gözden geçirilerek değerlendirilmektedir.

1.1. Amaç ve Kapsam

Bu çalışmada Türkiye'nin en büyük petrol üretim sahası olan Batı Raman'da yapılan sondajlarda kullanılan insert, standart ve PDC matkap tartışılmıştır. Tez

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Sondaj alanında geçmiş yıllarda birçok araştırma yapılmıştır. Bu alanda sondaj operasyonlarının optimizasyon yöntemleri, matkap tasarımları ve performansları ve sondaj ilerleme hızı (ROP) hakkında yapılan çalışmalar öne çıkmaktadır. Temel olarak minimum maliyete ulaşılması ve sondaj parametrelerinin optimize edilmesi ile maksimum sondaj ilerleme hızının elde edilmesi istenmektedir (Bahari ve Seyed, 2009). Sondaj operasyonlarının optimizasyonunun araştırma alanı, genel olarak yüksek sondaj maliyetleri nedeniyle önemini koruyacaktır.

Sondaj maliyetini oluşturan en önemli parametrelerden biri de matkaptır. Matkap seçimi, yeni kuyuların planlanması ve tasarlanması için önemli parametrelerden biridir. Bu yüzden matkap tasarımı ile ilgili de birçok çalışma yapılmıştır.

Sondaj sektöründe ilk olarak değişmeyen konileri olan iki konili matkaplar kullanılmıştır. Matkap yıprandığında atılmaktaydı. Hughes Şirketi 1917'de gerektiğinde değiştirilebilen bir koni geliştirdi. 1933'te bugün bildiğimiz tip olan üç konlu matkap tasarlanmıştır (Karadzhova, 2014) ve 1946 yılına kadar yavaş gelişmiş olup günümüze kadar ise hızlı bir gelişim göstermişlerdir. Geliştirilen bu matkap daha sert formasyonlar için kullanılabilmiştir (Madigan ve Caldwell, 1981; Bobo, 1968).

Christensen (1976) ilk PDC matkabını tanıtmıştır ve daha yumuşak formasyonlarda bu matkapların delme kabiliyetini artırdığını göstermiştir. Son yıllarda PDC matkaplarının kullanımı hızla artmıştır. PDC matkabının, döner konlu matkabının contası ve yataklarının uzun süre dayanmadığı uzun sondajlarda iyi bir performans sergilediği gözlemlenmiştir. PDC matkaplarının piyasasının genişlemesine katkıda bulunan bir diğer faktör ise sondaj maliyetidir. Petrol arama sektörünün genişlemesiyle beraber derin sondajlarda da artış gözlenmiştir (Wang ve ark., 2018). Bununla beraber derin kuyu maliyeti son on beş yılda önemli ölçüde artmıştır (Wang ve ark., 2018).

Sektörün gelişmesiyle beraber matkap tasarımlarının geliştirilmesi devam etmektedir. Baker Hughes şirketi 2010 yılında ilk hibrit tip matkabı modellemiştir. Bu matkap kendi türüne özgüdür. PDC ve döner konlu matkabın parçalarının birleştirilmesinden oluşturulmuştur. Geliştirilen hibrit matkabın kullanımında son birkaç yıl içinde ciddi bir artış görülmüştür. Oldukça girintili ve yığılmış zor formasyonlarda yapılacak sondajlar için gelecekte bir çözüm olduğunu kanıtlandı (Karadzhova, 2014).

Karadzhova (2014), Norveç Kıta sahanlığında yapılan sondajlarda kullanılan üç tip matkabın tasarımlarını ve özelliklerini karşılaştırarak teknolojik avantajlarına vurgu

yapmıştır. Ayrıca laboratuvar ortamında deneysel testlerle aynı koşullarda ve parametrelerde çalıştırılan üç tip matkabın sondaj performanslarını ve stabilitelerini karşılaştırmıştır. Tüm matkaplar sert formasyonlarda iyi performans göstermiştir. Ancak bir sonraki aynı sertlikte ki başka bir formasyonda PDC matkabı yüksek ROP ve tork göstermiştir. PDC matkapları daha yumuşak formasyonlar için mükemmel şekilde uygun olduğunu tespit ederek çok iyi ROP ve iyi bir stabiliteye sahip sondaj yapabileceği sonucuna varmıştır.

Yibudongha ve Izuwa (2017), Nijer deltasında kazılan iki kuyuda kullanılan Smith ve Hughes marka döner konlu matkapların performanslarını ve birim maliyetlerini gerçek kuyu verilerini kullanarak analiz etmişlerdir. Analizden Nijer Delta'sında kullanılan Smith marka matkabının en düşük birim maliyete sahip olmasından dolayı Hughes matkabına göre en ekonomik matkap olduğunu tespit etmişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada Türkiye'nin en büyük petrol üretim sahası olan Batı Raman'da PDC matkap ile yapılan sondajların performansları tartışılmıştır. Bu kapsamda sondajın ikinci aşaması PDC, döner konlu insert ve standart matkapla sondajı yapılan kuyuların verileri kullanılmıştır. Bu kuyuların WOB, RPM, debi, jet hızı, jet çapı, BPD ve çamur ağırlığı parametreleri dikkate alınarak bu sahada kullanılan PDC, insert ve standart matkabın performansları kullanılan parametrelerin etkileri açısından değerlendirilmiştir. Bu amaçla sondajın ikinci aşaması 8 ½" 'lik insert matkapla kazılan dört kuyu, standart matkapla kazılan beş kuyu ve PDC matkapla kazılan beş kuyunun gerçek sondaj verileri kullanılarak analizler yapılmış ve değerlendirilerek yorumlanmıştır.

Çalışmanın ikinci aşamasında, Çalışmanın ikinci aşamasında, Bingham Plastik modeli kullanarak maksimum matkap hidrolik güç için matkap jet çapı seçme optimizasyonu yapıldı. Yapılan optimizasyon ile on dört kuyunun verisi ile bu sahada yapılacak sondajlarda daha iyi performans elde edilebilebilmesi için optimum jet çapları bulundu.

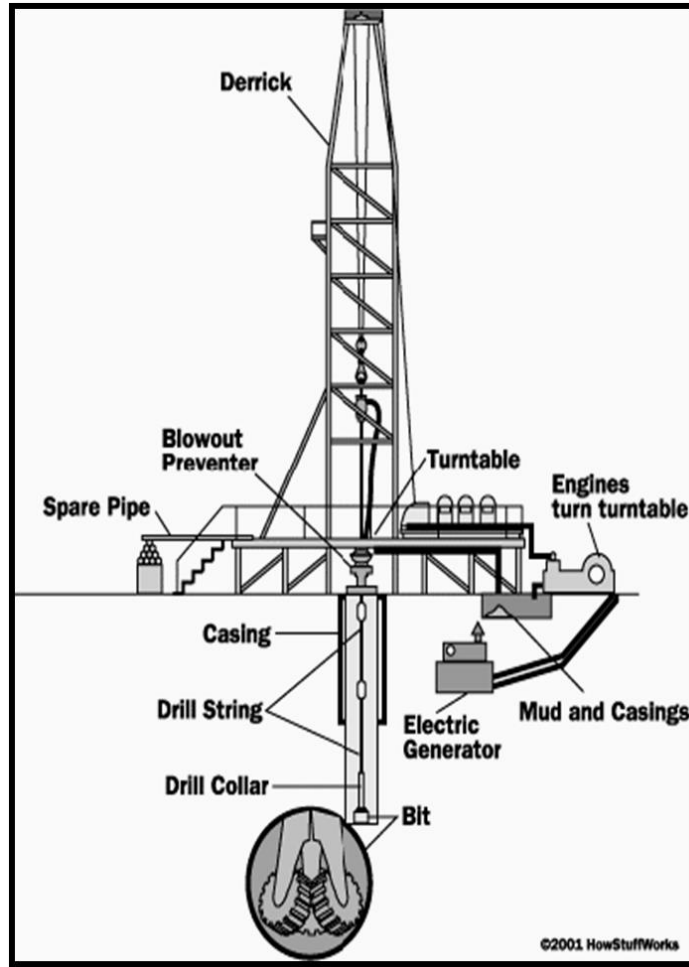
İnceleme alanında ki kuyularda kullanılan matkapların performansları, karşılaşılan sorunlar ve çözümüne yönelik önlemlerinin alınması ile ilgili öneriler tartışılmıştır. Ayrıca literatürde sondaj parametreleri ve matkap tipleri araştırılıp anlatılmıştır.

3.1. Sondaj Kavramı ve Mekanizması

Sondajlar petrol arama çalışmalarında üretim yapılması ve esas çalışmanın yürütülebilmesi için gerekli ön bilgilerin elde edilmesinde önemli rol oynamaktadır.

Sondaj; yeryüzünün altında bulunan bir alanın belirli amaçlar doğrultusunda belirli yöntemler kullanılarak yeryüzü ile bağlantı kurulması adına bir delik açma işlemidir (Göktekin, 1983). Bu sayede sondaj; yeraltı hakkında geniş ve ayrıntılı veriler elde etmemizi sağlar. Aynı zamanda sondaj, yeraltı kaynaklarını araştırmak, üretim ve işletmek için, mühendislik yapılarının temel koşullarının saptanması ve iyileştirilmesi amacıyla düşey, yatay veya herhangi bir yön ile açılı olarak yapılan silindirik kazı işlemi olarak da ifade edilmiştir. Yalçın (2000) ise sondajı, dönen matkaplar aracılığıyla kendi eksenini etrafında dönerek, üzerinde döndüğü yapıyı kesen, koparan veya öğüten silindirik biçimli kazı işlemi olarak tanımlamaktadır.

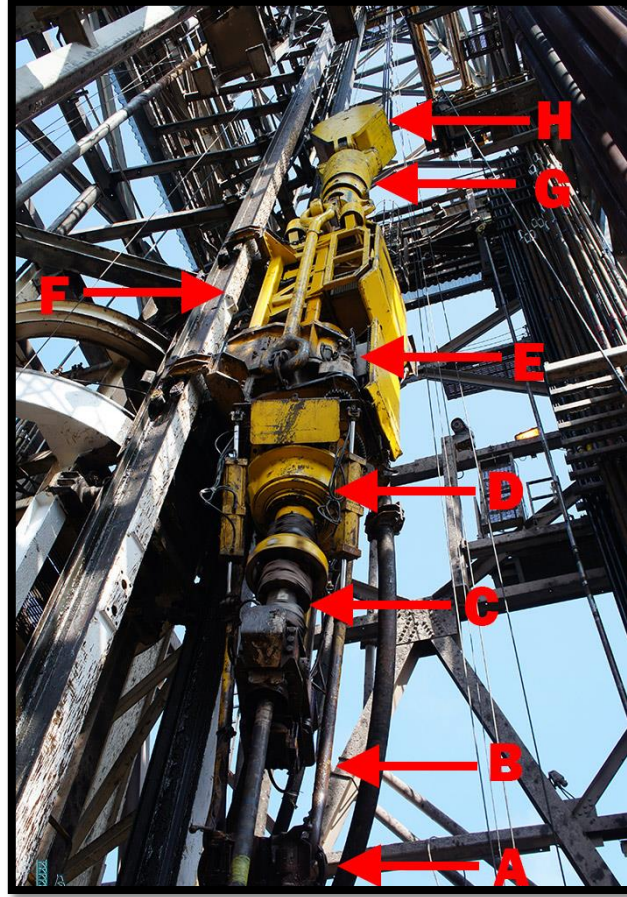
Sondaj işlemi birlikte çalışan çok sayıda sistemin birleşiminden oluşmaktadır ve sondaj kulesi olarak adlandırılan makine kullanılarak yapılır (Osgouei, 2007). Sondaj işlemi genel olarak rotary table sistemi (döner masa sistemi) (Şekil 3.1) ve top drive sistemi (tepedeki ana sürücü) ile (Şekil 3.2) olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır. Son yıllarda top drive sistemi daha pratik ve avantajlı olduğu için döner masa sistemi yerine birçok sondaj kulesinde kullanılmaktadır.



Şekil 3.1. Döner masa(rotary table) tipi kule (Anonymous-1, 2019)

Top drive sisteminin kendine ait ağır bir motoru vardır ve hareketli blok altında asılıdır. Şekil 3.2’de A – Kaldırıcı B – Bağlantı C – IBOP (manuel ve pnömatik olarak işletilen) D – Döner Kafa E – Tepedeki ana sürücü F – Dolly Parça G – Kanca D – Seyyar bloğu göstermektedir. Elektrik veya hidrolik motordan oluşur. Ayrıca kule boyunca aşağı ve yukarı hareket edebilir. Top drive sistemi karot operasyonlarında daha avantajlı olmakla birlikte, takım sıkışmasını engellemede de önemlidir. Top drive

sisteminde diziye eklenme yapılması daha pratiktir ve buna bağlı olarak zamandan tasarruf sağlamaktadır (Adams, 2011).



Şekil 3.2. Top drive sistemi (Anonymous-2, 2019)

Matkap sondaj dizisinin ucunda yeraltına indirilir ve döndürülür. Matkaba verilen ağırlık ve dönme hareketi ile sondaj işleminde ilerleme sağlanır. Dönme işlemi olurken üzerine gelen ağırlık etkisiyle dişleri ile kayacı parçalar. Kayaçtan kopan parçalar sondaj dizisinin içinden pompalanan su, petrol veya hava bazlı sondaj sıvısı ile tabandan alınarak annülüsten yeryüzeyine taşınır. Sirkülasyon sisteminden yüzeye taşınan çamur, temizlenerek tanklara aktarılır. Bu şekilde sondaj ara verilmeksizin devam eder (Bourgoyne, 1991).

3.2. Sondaj İlerleme Hızını (ROP) Etkileyen Parametreler

Sondaj ilerleme hızı (ROP), sondaj yapılırken, birim zamandaki ilerleme miktarı olarak tanımlanır. Birimi genel olarak metre/saat, feet/saat ve metre/gün olarak

kullanılmaktadır. Sondaj sırasında kuyunun derinliği arttıkça ilerleme hızı düşmekte ve buna bağlı olarak da spesifik enerji artmaktadır. Muhafaza borusunun (casing) kuyuya indirilmesi, manevra, matkap değişimi ve arızası gibi işlemlerin uzun zaman almasını, bu değişimin sebepleri olarak sayabiliriz. Sondaj ilerleme hızını etkileyen birçok parametre vardır. Bunlardan en önemli değişkenler matkap tipi, formasyon özellikleri, sondaj akışkanı özellikleri, matkap çalışma koşulları (RPM, WOB), matkap diş aşınması ve matkap hidroliği (Özbayoğlu, 2011). Çizelge 3.1’de kontrol edilen ve kontrol edilemeyen sondaj parametreleri verilmiştir.

Çizelge 3.1. Sondaj ilerleme hızını etkileyen parametreler (TPAO, 2018)

Kontrol Edilenler		Kontrol Edilemeyenler
Çamur	Tipi	Hava durumu
	Katı madde miktarı	Lokasyon
	Viskozitesi	Kule durumu
	Su kaybı	Kuyu dibi sıcaklığı
	Yoğunluğu	Korozyona neden olan kuyu gazları
Hidrolik	Pompa basıncı	Kayaç özellikleri
	Jet hızı	Kuyuya özgü problemler
	Sirkülasyon debisi	Kazılan formasyon
	Annülüs hızı	İşçi verimi
Matkap	Tipi	Derinlik
	Matkaba verilen ağırlık	Su sağlanabilirlik durumu
	Dönme hızı	

Sondaj ilerleme hızını etkileyen parametreler, sondaj ve matkap parametreleri olmak üzere iki kısımda incelenmiştir.

3.2.1. Sondaj parametreleri

Sondaj parametreleri olarak, çamur ağırlığı, debi, dizi içi, anülüs ve matkaptaki basınç kayıpları toplamı, yüzeyden harcanan güç, sondaj dizisi dizilimi ve sondaj birim maliyeti açıklanmıştır.

3.2.1.1. Çamur ağırlığı

Sondaj Çamurunu Amerikan Petrol Enstitüsü (API), sondaj operasyonunda ihtiyaç duyulan farklı işlemlerin bir kısmını yerine getirmek için kullanılan bir sirkülasyon akışkanı olarak tanımlamaktadır. Çamur ağırlığı ise çamurun birim hacminin ağırlığını ifade eder. Sondaj çamurunun ilerleme hızını etkileyen ve sondajın sağlıklı yapılabilmesi için çok önemli fonksiyonları vardır. Bunlardan bir kısmı;

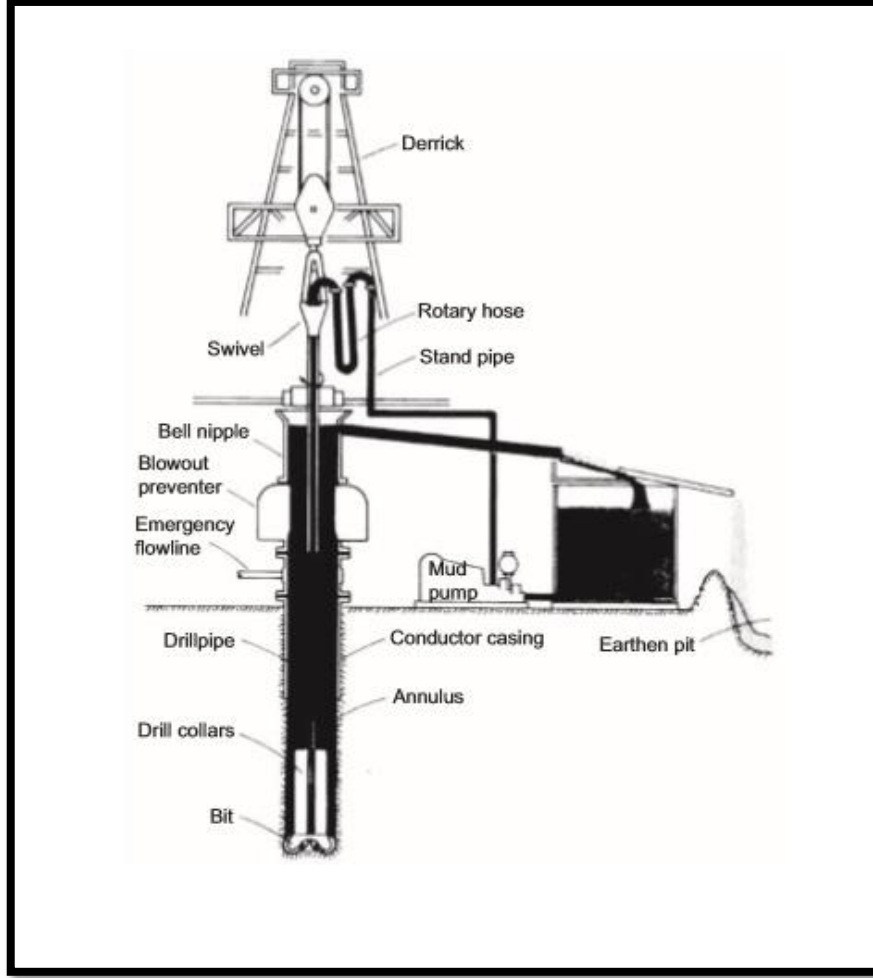
- Çamur ağırlığının oluşturduğu hidrostatik basınç ile formasyon basınçlarını kontrol eder,
- Kuyu dibindeki kesintileri anında matkap ağzından uzaklaştırıp, matkap dişlerinin sürekli olarak yeni kaya yüzeyi üzerinde çalışmasını sağlayarak ilerleme hızını en üst seviyede tutar,
- Çamur aracılığıyla yüzeydeki hidrolik gücü matkaba taşıyarak, matkap hidroliği maksimize edilip uygun kuyu dibi temizliği sağlanır (TPAO, 2007).

Sorunsuz bir sondajı yapabilmek için herhangi bir derinlikte çatlatma ve çökme basıncı arasındaki hidrostatik basıncı korumak çok önemlidir (Hareland ve ark., 1996). Çamurun hidrostatik basıncı ise çamur ağırlığı değiştirilerek kontrol edilmektedir (Nicora, 2001). Çamur tipi ve çamur özellikleri sondaj ilerleme hızını kontrol eden önemli parametrelerdir. Çamur sürekli olarak bir sirkülasyon sistemi içindedir ve çamur özellikleri ihtiyaç duyulan değerlerde olması için sürekli kontrol edilir (Şekil 3.3). Eğer çamur özellikleri değişiklik gösterirse sisteme kimyasallar ilave edilerek çamur istenilen özelliklere getirilir. Sondaj çamurunun temel görevlerini yerine getirmesi için sağlanan çamur ağırlığı ve sıvı kaybı gibi özelliklerin sondaj ilerleme hızını azaltıcı yönde olumsuz bir etkisi olmamalıdır. Sondaj sektöründe çamur yoğunluğu genellikle çamur ağırlığı olarak adlandırılır. Birim olarak da genellikle lb/gal, lb/ft³, g/cm³ ve psi/1000 ft kullanılır (TPAO, 2007).

Sondaj çamurunun hidrostatik basıncı, formasyon basıncını kontrol eder ve çamur ağırlığı değiştirilerek de çamurun hidrostatik basıncı dengede tutulabilmektedir. Çamurun hidrostatik basıncını, çamur ağırlığının ve derinliğin bir fonksiyonu olarak tanımlayan denklem Formül (3.1)'de verilmiştir (Nicora, 2001). Çamurun herhangi bir derinlikteki hidrostatik basıncı Denklem 3.1.'deki formülle hesaplanabilir.

$$P_H = c * \rho_m * Z \quad (3.1)$$

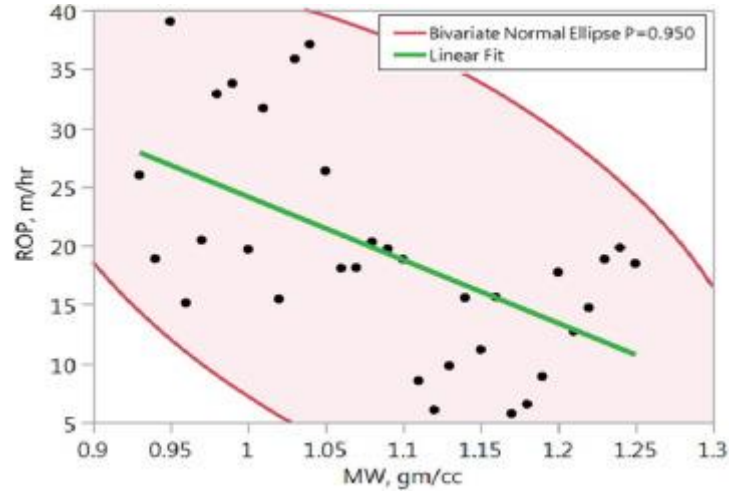
Formül (3.1)'de P_H ; Hidrostatik basınç (psi), c ; Sabit (eğer ρ_m 'nin birimi lb/gal ise $c= 0.052$, lb/ft³ ise $c=0,006952$), ρ_m ; Çamur ağırlığı (lb/ft³), Z ; Derinlik (ft) dir.



Şekil 3.3. Sirkülasyon sistemi (Bourgoyne ve ark., 1991)

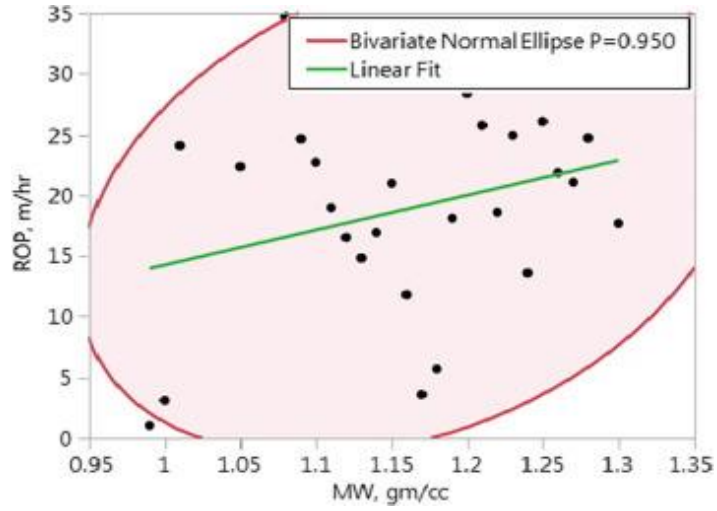
Alkinani (2018) 800 gerçek kuyu verisi ile yaptığı çalışmada çamur ağırlığı ile ilerleme hızı arasındaki ilişkinin kayacın sertliğine bağlı olarak doğru orantılı veya ters orantılı olduğunu göstermiştir. Öyle ki sondajı yapılan formasyon yumuşak ise çamur ağırlığı ile ilerleme hızı arasında ters orantı var iken, orta sertlikte formasyonların sondajı yapılırken çamur ağırlığı ve ilerleme hızı arasında önemli derecede bağlantı yoktur ve yüksek sertlikteki formasyonların sondajı sırasında çamur ağırlığı ile ilerleme hızı arasında doğru orantı olduğu görülmüştür.

Şekil 3.4, yumuşak formasyonlar için çamur ağırlığına karşı ROP grafiğini göstermektedir. Bu, çamur ağırlığının ve ROP'un yumuşak formasyonlarda ters bir ilişkiye sahip olduğunu göstermektedir.

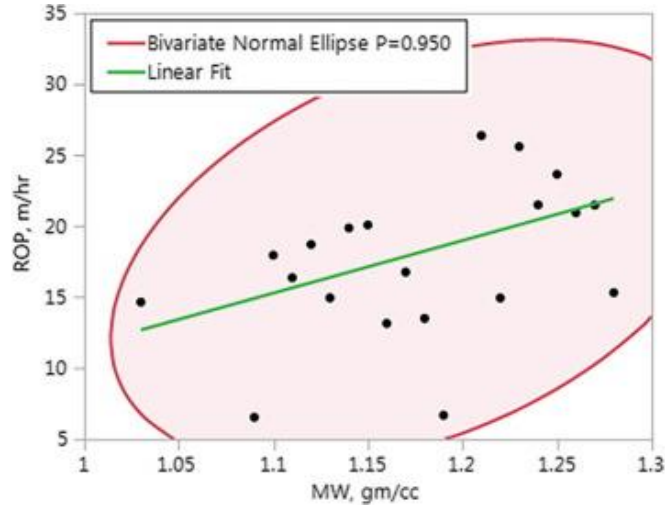


Şekil 3.4. Yumuşak formasyonlar için ROP – Çamur ağırlığı ilişkisi (Alkinani, 2018)

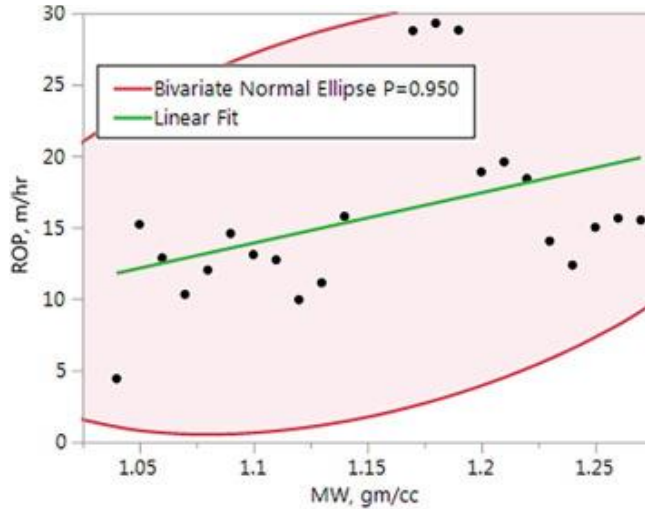
Şekil 3.5, Şekil 3.6, Şekil 3.7, sırasıyla orta, sert ve çok sert formasyonlar için çamur ağırlığına karşı ROP değişim grafiklerini göstermektedir. Orta, sert ve çok sert formasyonlar için ROP ile doğrudan bir ilişkiye sahiptir. Bu nedenle orta, sert ve çok sert formasyonlar için ROP'yi maksimize etmek için çamur ağırlığı mümkün olduğunca yüksek tutulması gerekir.



Şekil 3.5. Orta sert formasyonlar için ROP – Çamur ağırlığı ilişkisi (Alkinani, 2018)



Şekil 3.6. Sert formasyonlar için ROP – Çamur ağırlığı ilişkisi (Alkinani, 2018)

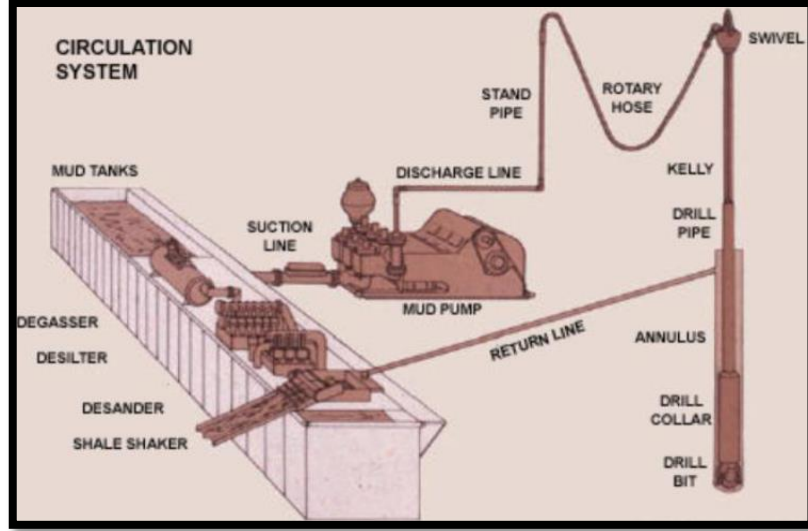


Şekil 3.7. Çok sert formasyonlar için ROP – Çamur ağırlığı ilişkisi (Alkinani, 2018)

3.2.1.2. Debi

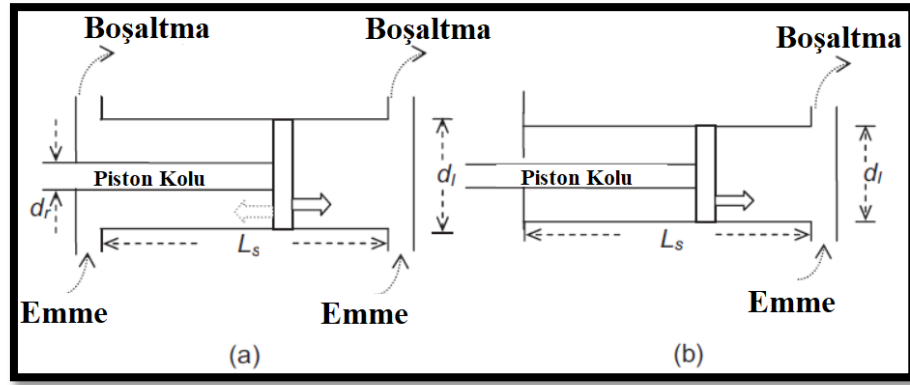
Debi, kuyularda matkap tarafından oluşturulan kesintilerin yüzeye çamur sirkülasyonu ile etkin bir şekilde taşınma kabiliyetini etkileyen başlıca faktörlerden birisidir. Bu yüzden debi, kuyuyu temizlemek için gerekli minimum değere sahip olmalıdır. Anülüs hızı hem çamurun kesinti taşıma kapasitesini hem de kuyu erozyonu için yatay ve yönlü kuyularda kuyu temizliğini etkileyen ana faktörlerden biridir (Tomren ve ark., 1986, Sifferman ve Becker, 1992). Ayrıca tavsiye edilen kuyuları aşındırmayan en yüksek debiyi kullanmaktır (Hemphill ve Larsen, 1993). Çamurun sirkülasyon debisi kulelere ait çamur pompalarıyla sağlanmaktadır.

Şekil 3.8’te debi ile ilgili sirkülasyon sisteminin ana bileşenleri olan çamur tankları, çamur pompaları, çamur karıştırıcı ve çamur temizleyici ekipmanları gösterilmiştir (Cunha ve ark., 2010).



Şekil 3.8. Sirkülasyon sistemi (Anonymous-3, 2019)

Slush pompalar yüksek debi sağlamak için, yüzeye yakın derinliklerde paralel olarak bağlanır ve pozitif yer değiştirme pompa sistemleri yüksek hacim ve basınç koşullarını sağlarlar. Bu şekilde pompalarla debi optimum değerde tutulmaya çalışılır. Bu işlem için; pistonları hem ileri hem geri hareket ederken iki yönlü çalışan iki silindirli dubleks ve tek yönlü çalışan üç silindirli tripleks (Özudoğru ve ark., 2001) olmak üzere iki çeşit pozitif yer değiştirme pompa sistemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekil 3.9’da sirkülasyon sistemi şematik olarak gösterilmiştir. Çamur tanklarından pompalar aracılığıyla alınan çamur stand pipe hattı ve rotary hose’den sonra diziye geçer. Kuyu dibindeki kesintileri alarak anülüsten dönüş hattına geçen çamur shale shaker, desander ve degasser’dan geçen çamur temizlenip sisteme tekrar verilir. Tripleks pompalar daha hafif olma, daha iyi akış oluşturma ve düşük maliyet harcamalarına sahip olma avantajlarına sahiptirler (Bourgoyne ve ark., 1991).



Şekil 3.9. a) Dupleks ve b) tripleks pompaların çalışma şekli (Özüdoğru ve ark.,2001)

3.2.1.3. Basınç kayıpları ve yüzeyden harcanan güç (HHP)

Sondaj hidroliğinin en önemli fazı, sistem üzerinden çamur sirkülasyonu sırasında sürtünme basınç kayıplarının hesaplanmasıdır. Basınç kayıplarını tolere etmek için pompalar kullanılır. Genel olarak formasyon sıcaklıklarının derinlik ile arttığı bilinmektedir. Normal olarak her 100 feet arasında 1-2 °C artmaktadır. Sürtünme basıncı kayıpları çamurun akış özelliklerine ve sıcaklığına bağlıdır (Butts, 1972). Sondaj hidroliğindeki basınç kayıpları toplamı Formül (3.2)'deki gibi hesaplanır (Bourgoyne, 1991).

$$P_p = \Delta p_s + \Delta p_{dp} + \Delta p_{dc} + \Delta p_b + \Delta p_{dca} + \Delta p_{dpa} \quad (3.2)$$

Formül (3.2)'de; Δp_s ; yüzey ekipmanındaki sürtünme basıncı kaybı, Δp_{dp} ; sondaj borusundaki basınç kaybı, Δp_{dc} ; drill collar'daki sürtünme basınç kaybı, Δp_b ; matkaptaki basınç kaybı, Δp_{dca} ; drill collar'ın anülüsündeki sürtünme basıncı kaybı, Δp_{dpa} ; sondaj borusu anülüsündeki basınç kaybıdır.

Matkap üreticileri genelde matkap basınç kaybını tolere etmek için HHP'nin ortalama 2.0 ile 7.0 arasında olmasını tavsiye ederler. Bu değer kuyu dibi ve matkap dişleri temizliğinden emin olmak için minimum değerden az olmamalı, matkabin erken erezyona uğramasını engellemek için de maksimum değeri aşmamalıdır (Anonymous-4, 2019). HHP, matkap jetleri boyunca birim zamanda harcanmakta olan enerji ölçüsü olarak tanımlanır. HHP Formül (3.3) ile hesaplanır (Bourgoyne, 1991).

Pompanın akış debisi ve basınç dayanımı kullanılan liner (pompa gömleği)'e dayanmaktadır. Çamur pompasının güç çıkışı aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$HHP = \frac{(P.Q)}{1714} \quad (3.3)$$

Formül (3.3)'de; *HHP* ; yüzeyden harcanan güç (hp, beygir gücü); *P*; basınç (psi); *Q* ; akış debisi, gpm (gal/dak); 1714 birim dönüşüm faktörüdür.

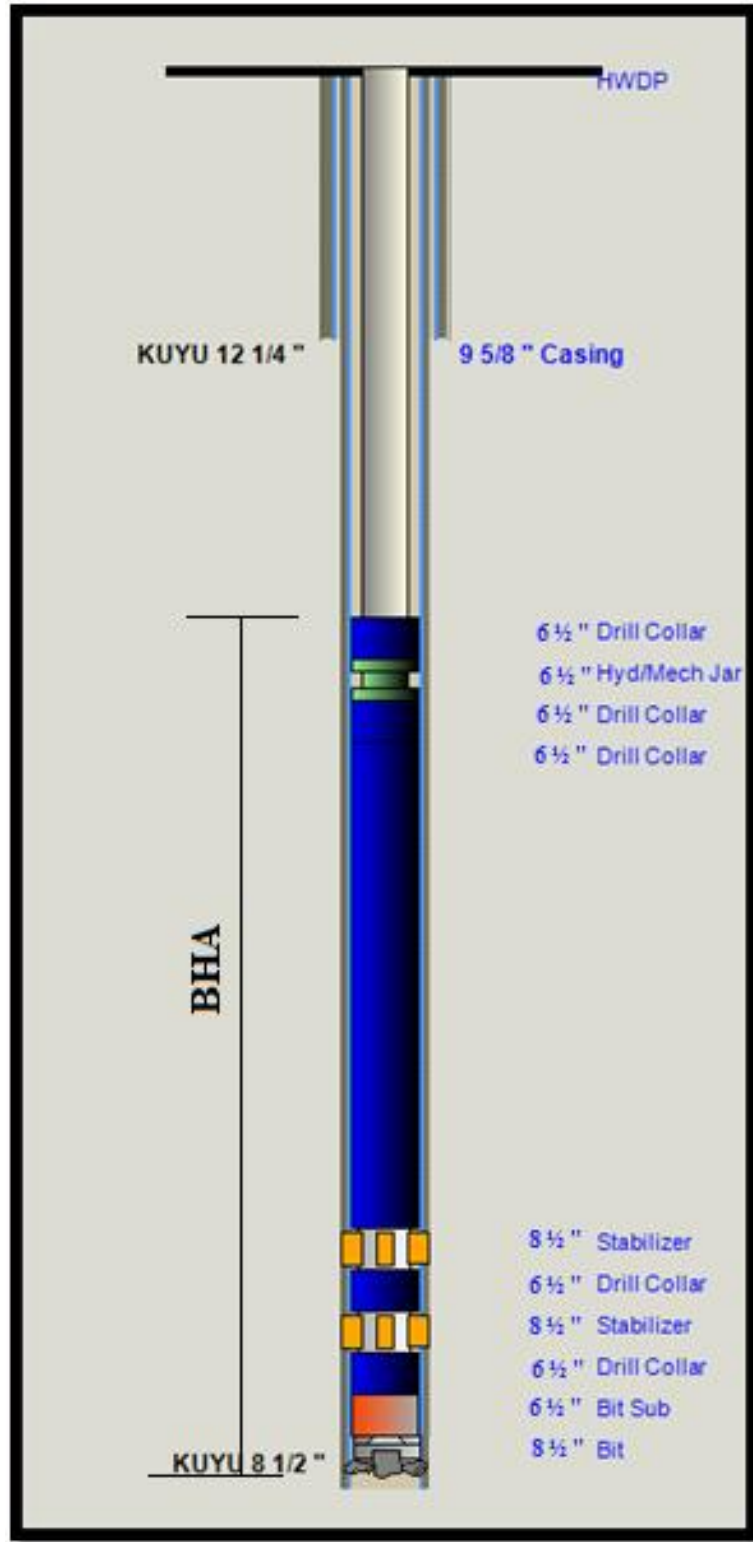
Genel olarak pompaların güç değerleri 1600 hp'da sınırlıdır. Güç tüketimi ise çıkış basıncı ve akış debisinin çarpımına bağlıdır. Daha küçük çaplı bir liner kullanımı çıkış basıncını yükseltir, fakat çıkış debisini azaltır. Pompanın mekanik verimliliği (E_m) ana hareket sistemi ve transmisyona dayanmaktadır. Birçok durumda E_m 0.9 veya 1.0 olarak alınır. (E_v) hacimsel verimliliktir, kullanılan pompanın tipine göre değişir. Genellikle E_v 0.9 ve 1.0 olarak alınır. Sistemin toplam verimi pompanın mekanik verimliliği (E_m) ve E_v 'nin (hacimsel verimlilik) çarpımıdır (Bourgoyne, 1991).

3.2.1.4. Sondaj dizisi dizilimi (BHA) ve sapma kontrolü

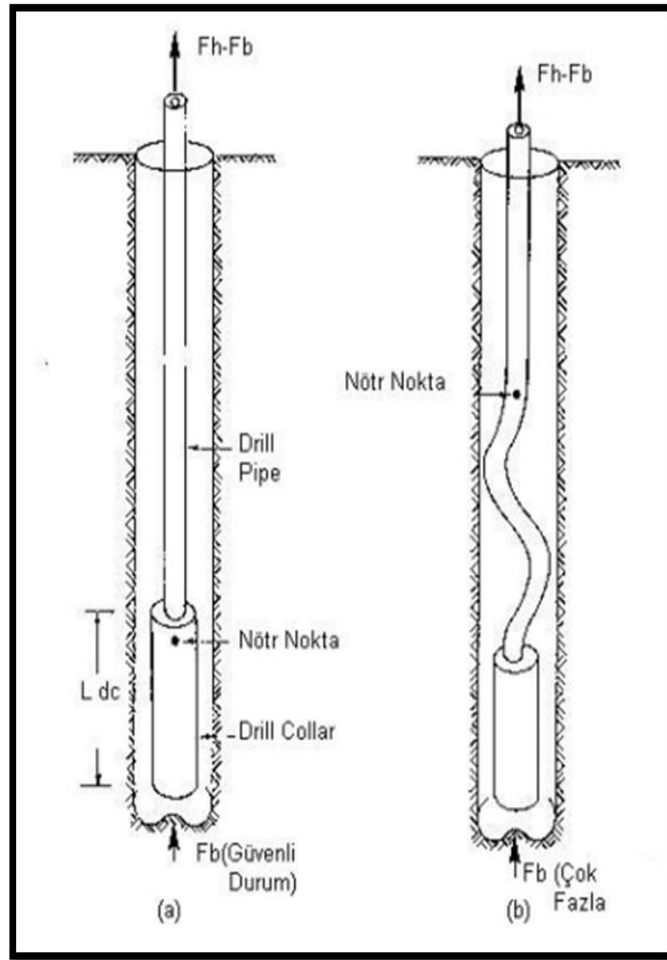
Dikey sondajlarda kuyu sapmasını kontrol etmek için BHA diziliminin çok iyi tasarlanması gerekmektedir (Özbayoğlu, 2011). Dikey yapılması gereken bir sondajda sapma olursa ve bu durum fark edilmezse sondajdan elde edilen gerçek derinlik, formasyon kalınlığı, formasyon eğimi vb. veriler yanıltıcı olur (Ciner, 2018). Bu yüzden sondaj sırasında belli periyotlarla sapma olup olmadığı asit tüp yöntemi, maas-kumpas yöntemi, tro-pari ölçü aleti, jiroskoplu ve kamera sistemleri ile kontrol edilir (Ciner, 2018) ve olası sapma durumuna karşı önlemler alınır (Özbayoğlu, 1979). BHA'nın geliştirilmesi ve değişikliği de bu önlemlerdendir.

BHA genellikle DC, stabilizer (dengeleyici), jar, reamer, shock tool, matkap ve bit sub tan oluşur. (Çağlayan, 2014). Batı Raman'da kullanılan örnek bir BHA tasarımı (sondaj dizisi dizilimi) Şekil 3.10'de verilmiştir.

Matkaba verilen ağırlık nedeniyle sondaj dizisinde nötr nokta (neutral point) denilen bir zon oluşur. Bu zonun altındaki kısımda bükülme oluşabilir (Çağlayan, 2014). Bu nedenle BHA tasarımıyla bu nötr noktasının kuyunun çökmemesi, dizinin sıkışmaması ve kopmaması için DC'lerin üzerine denk gelmesi sağlanmalıdır (Özüdoğru ve Babür, 2001). Çünkü DC'ler DP'lere göre daha çok et kalınlığına sahip oldukları için burkulmaları ve eğilmeleri daha zordur. Şekil 3.11'de nötr noktasının DP üzerine gelmesi durumunda oluşacak burkulma görülmektedir.



Şekil 3.10. Batı Raman'da kullanılan örnek bir BHA dizaynı



Şekil 3.11. DP'nin DC üzerinde sarmal burkulması: (a) istenen durum ve (b) istenmeyen bükülmüş durum. (Bourgoyne ve ark., 1991)

3.2.1.5. Sondaj birim maliyeti

Sondaj çok maliyetli bir işlemdir. Bu yüzden sondaj faaliyetleri petrol fiyatlarıyla doğru orantılı artıp azalmaktadır. Çünkü petrol üretim gelirleri sondaj vd. giderlerinden daha fazla olmazsa bazı sondaj planlamaları ertelenebilmekte veya iptal edilebilmektedir.

Sondaj, deneyime dayalı bir faaliyettir, bu nedenle aynı sahada birden fazla benzer kuyunun sondajı, daha iyi sondaj performansı ve daha düşük maliyetlerle sonuçlanabilir. Genel olarak sondaj ilerleme hızının artması; optimize edilmiş matkap, sahadaki litolojinin daha iyi anlaşılması, personel eğitimi veya geçmiş hataların ortadan kaldırılmasının sonucu olabilir (Lukawski ve ark., 2014).

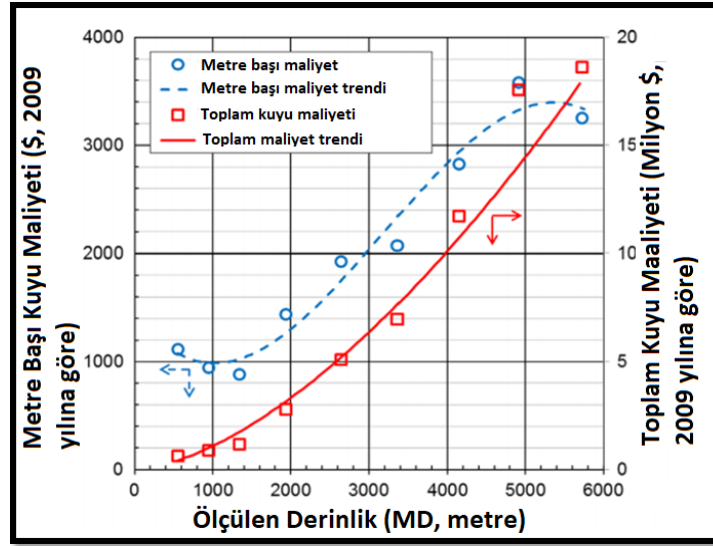
Çizelge 3.1'de 2009'da ABD'de karada açılan petrol ve gaz kuyularının derinliğe bağlı API JAS'tan alınan sondaj maliyetleri verilmiştir. JAS, ABD petrol ve gaz sondaj

harcamalarını bildiren yıllık bir yayındır. Her yıl açılan kuyuların %40-60'ı temel alınarak ortalama sondaj maliyetleri belirlenir (Kaiser, 2007). Çizelge 3.1'de derinlik, sondaj harcamalarına birinci sebep olarak gösterilmiş ancak bu harcamaları etkileyen tek faktör değildir. Sondaj maliyeti önemli oranda sahanın jeolojik özelliklerine bağlıdır. Bununla birlikte hiçbir parametre tek başına sondaj maliyeti karmaşıklığını doğru şekilde tanımlayamaz (Mansure ve ark., 2006).

Çizelge 3.1. 2009'da ABD'de karada açılan petrol ve gaz kuyularının derinliğe bağlı API JAS'tan alınan sondaj maliyetleri

Derinlik Aralığı (MD*)		Ortalama Derinlik (MD*)		2009 yılındaki Ortalama Birim Maliyet (\$/ft)		
ft	m	ft	m	Petrol	Gaz	Petrol ve Gaz
1250-2499	381-761	1822	555	301	385	341
2500-3749	762-1142	3102	945	249	322	288
3750-4999	1143-1523	4392	1339	267	273	270
5000-7499	1524-2285	6365	1940	435	440	438
7500-9999	2286-3047	8673	2643	540	606	587
10000-12499	3048-3809	11027	3361	621	636	631
12500-14999	3810-4571	13602	4146	951	797	861
15000-17499	4572-5333	16111	4911	1367	1019	1091
17500-19999	5334-6096	18789	5727	1055	890	991
*MD: ölçülen derinlik- kuyu uzunluğu						

Şekil 3.12'de ölçülen derinlikle birlikte iyi maliyette doğrusal olmayan değişimi göstermektedir. Derin kuyular sığ olanlara göre orantısız şekilde daha masraflıdır. Çünkü derin kuyular çıkan sorunlar, çamurun ağırlığının artması, casing operasyonları ve sondaj ilerleme hızının düşmesinden dolayı daha fazla zaman almaktadır. Derin formasyonlarda aşırı basınç riski, hem malzeme maliyetlerini hem de sondajın durduğu zamanı arttırmaktadır. Ayrıca daha fazla casinge ihtiyaç duyulmaktadır (Tester ve ark. 2006).



Şekil 3.12. 2009 yılında ABD'deki karada açılan petrol ve gaz kuyularının sondaj ve tamamlama maliyetleri. Okların yönleri ilgili koordinatları belirtir (Lukawski ve ark., 2014)

3.2.2. Matkap çalışma parametreleri

Sondaj ilerleme hızını etkileyen en önemli araçlardan biri matkap tipidir. Matkaplar: kendi eksenini etrafında dönerken, sondaj dizisi ile üzerinde döndüğü formasyonu kırıp öğüten gereçlerdir. Bir başka deyişle matkap; dizinin en alt ucuna takılan ve üstüne ağırlık ve dönme hareketi verilmek suretiyle delme işlemini gerçekleştiren elaman olarak tanımlanır. Kuyu sondajlarının sağlıklı ve hızlı yapılabilmesi için ideal matkap seçilmelidir. Matkabın da en iyi performansı gösterebilmesi için en iyi çalışma parametrelerinde kullanılmalıdır. Matkap çalışma parametreleri olan WOB (matkaba verilen ağırlık), RPM (dönme hızı) ve jet hızı sondaj mühendisi tarafından değiştirilebilir parametrelerdir. Bu yüzden mühendisin sahip olduğu bilgi birikimi ve tecrübesi önem kazanmaktadır.

3.2.2.1. Matkaba verilen ağırlık (WOB)

Sondaj dizisinin ağırlığının bir kısmı matkaba verilir. Bu ağırlığa WOB (matkaba verilen ağırlık) denir. Genel olarak matkaba DC'lerin (drill collar) çamur içindeki ağırlığının % 75'i verilir. WOB (matkaba verilen ağırlık) kayacın basınç mukavemetine, formasyon sertliğine ve matkap tipine bağlıdır. WOB kayacın basınç mukavemetinden fazla olmamalıdır. Yoksa döner konlu matkabın dişleri kayaç üzerinde sürtünerek yüzeysel bir aşınmaya neden olur. Bu da matkap dişlerinin kırılmasına veya

sondaj dizisinde bükülmeler sonucu sapmalara ve sıkışmalara neden olur. WOB'un düşük olması da kayaca yeterince batmayarak üzerinde kaymasına sebep olacak ve sondaj ilerleme hızını düşürecektir (Yünsel, 2001).

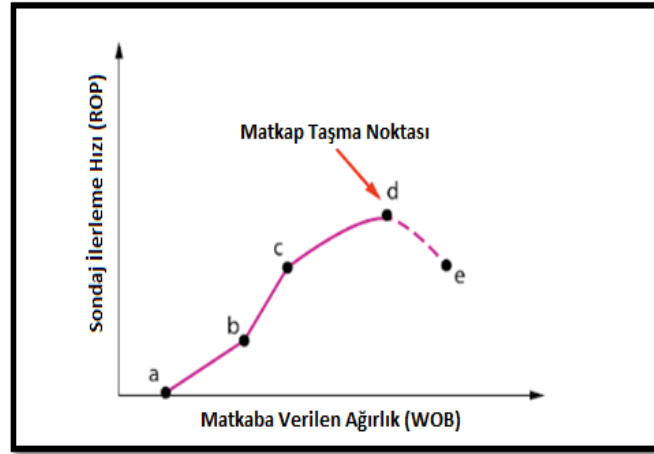
WOB sondaj sırasında ROP'yi (ilerleme hızını) kontrol etmede önemli bir parametre olarak kabul edilir. Düzgün olarak kontrol edilen WOB, sadece sondaj süresini azaltmakla kalmaz, aynı zamanda matkap ömrünü de uzatmada önemli bir faktördür (Wang ve ark., 2018). Döner konlu matkaplar yumuşak formasyonlarda az, sert formasyonlarda yüksek WOB ile çalışırlar (Özkara ve Derman, 2013).

Genellikle ilerleme hızı aşağıdaki bağıntıya yakın bir bağıntıyla bulunur (Göktekin, 1983);

$$v = K \frac{R^{0.5} * W}{d} \quad (3.4)$$

Formül (3.4)'de; v , ilerleme hızını (m/saat); K , kayacın delinebilirliğini gösteren bir katsayı; R , matkabin dönme hızını (devir/dakika); W , matkaba verilen ağırlığı (ton); d ise kuyu çapını (inç) ifade etmektedir.

WOB ve RPM'in ROP üzerindeki etkisi hem laboratuvarında hem de sahada çok sayıda araştırmacı tarafından incelenmiştir. Sabit tutulan diğer tüm sondaj değişkenleri ile deneysel olarak elde edilen WOB'a karşı ROP'nin değişimi grafiği, Şekil 3.13'te gösterilmiştir. Şekil 3.13'te WOB eşik noktasına (b noktası) gelmeye kadar belirgin bir şekilde ROP artışı gözlenmemiştir. b-c noktaları arasında daha hızlı bir ROP artışı vardır. Çünkü b noktası kazmaktan öğütme ve kesme işlemine geçiş noktasıdır (Özbayoğlu, 2011). d noktasında optimum WOB seviyesine gelmiştir. d noktasından sonra WOB arttırıldığı halde (d-e arası) ROP düşmeye başlamıştır. Bunun sebebi olarak yüksek WOB'te matkap saplanması olarak tanımlanır (Özbayoğlu, 2011).



Şekil 3.13. WOB ve ROP arasındaki ilişki (Bourgoyne ve ark., 1991)

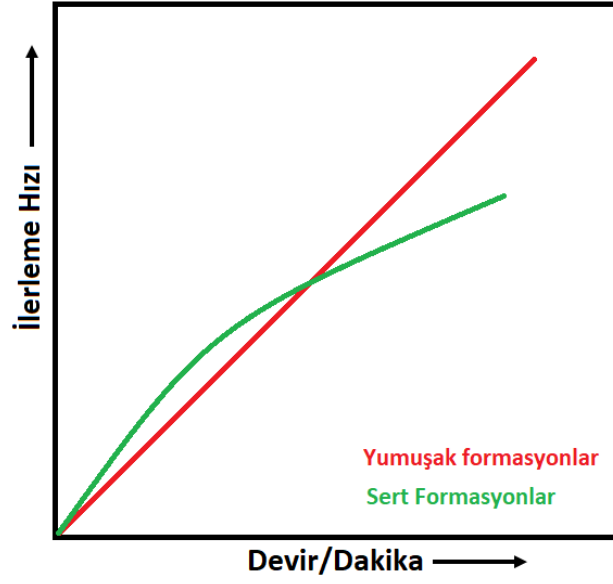
3.2.2.2. Dönme hızı (RPM)

Matkaba dönme hareketi döner masa (rotary table) veya top drive aracılığıyla sondaj dizisinin döndürülmesiyle aktarılır. Bu yöntemler dik kuyular için kullanılmaktadır. Yönlü kuyularda ise dönme hareketi dizinin tümünün döndürülmesi yerine, direk olarak çamur motoru matkaba dönme hareketini aktararak sadece matkabın dönmesini sağlar.

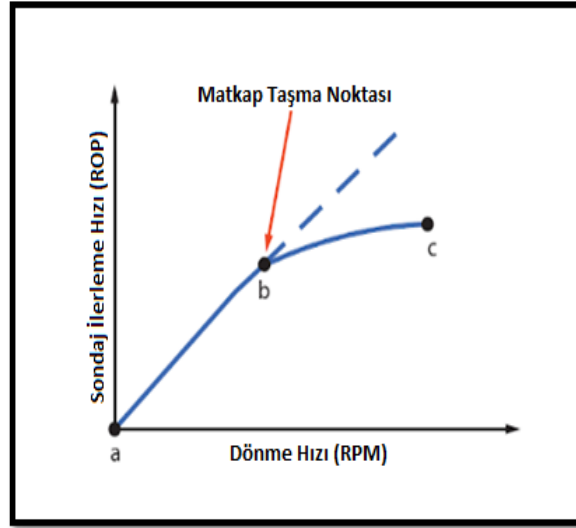
Dönme hızı (RPM) dakikada matkabın dönme sayısıdır. Birimi 1/dakika'dır. Dönme hızı sondaj ilerleme hızını etkileyen önemli matkap çalışma parametrelerindendir. Özellikle yumuşak formasyonlarda, bu iki kavram arasında doğrusal bir ilişki vardır. Sondaj sırasında yumuşak formasyonlar için yüksek dönme hızı, orta ve sert formasyonlar için ise düşük dönme hızı daha verimli olmaktadır (Şekil 3.14). Bu yüzden dönme hızı formasyon tipine göre belirlenmelidir (Ergin ve ark., 2016). Aşırı dönme hızı matkabın aşınmasına, dişlerinin çatlamasına ve kırılmasına sebep olabilir (Yibudongha ve Izuwa, 2017).

İyi bir ilerleme hızı için RPM ve matkaba verilen ağırlık (WOB) sürekli olarak takip edilmelidir. Genellikle matkaplar sert ve aşındırıcı formasyonlarda yüksek WOB ve düşük RPM'de, yumuşak formasyonlarda ise, düşük WOB ve yüksek RPM'de daha iyi performans gösterirler (Moore, 1986).

Şekil 3.15'de RPM (dönme hızı) ve ROP (sondaj ilerleme hızı) arasındaki ilişki görülmektedir. Genellikle düşük RPM lerde, ROP lineer (doğrusal) olarak artmaktadır. RPM yükseldikçe (b noktasından sonra) ROP'nin artışına etkisi azalır ve c noktasında optimum seviyeye ulaşır (Özbayoğlu, 2011).



Şekil 3.14. Dönme hızı ile ilerlemenin formasyon sertliğine göre değişimi (Moore,1986)



Şekil 3.15. RPM ve ROP arasındaki ilişki (Bourgoyne ve ark., 1991)

3.2.2.3. Jet hızı

Sondaj ilerleme hızını etkileyen bir diğer faktör jet hızıdır. Sirkülasyon sisteminde çamur, kuyu dibine matkabın çevresinde ve ucundaki deliklerden geçerek ulaşır. Standart matkaplarda bu delikler matkabın ortasında genişçe bulunmaktadır. İnsert matkaplar da ise çamur, koniler arasındaki özel yuvalara yerleştirilen ve Jet denilen dar kesitli çelik parçaların içinden tabana geçer. Jetler istenilen çaptaki başka jet ile değiştirilebilir. Ayrıca, kuyu dibini temizlemeği iyileştirmek için uzatılmış Jetler tercih edilebilir (Özbayoğlu, 2011). Jetlerden hızla püskürtülen çamur tabandaki

kesintileri çabucak uzaklaştırarak dişlerin temiz yüzeye basmasını sağlar. Böylece delme hızı artar (Göktekin, 1983).

Sondaj sıvısının matkaptan çıkarken hızını arttırarak formasyonu aşındırır ve sondaj hızına katkı sağlar. Ayrıca kesintileri hızlı bir şekilde matkaptan uzaklaştırarak kuyu temizliğine de yardımcı olur. Şekil 3.16’da farklı jet tipleri görülmektedir.



Şekil 3.16. Jet Tipleri (Özkara ve Derman, 2013)

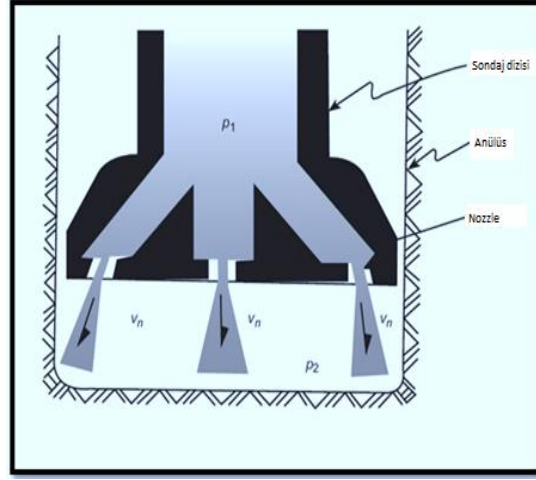
Şekil 3.17’de paralel jetler içinden geçen akışta da görüldüğü gibi P_1 basınçla jet’lara giden çamur ani hacim azalmasıyla P_2 yüksek basınçla kuyu dibine ulaşmaktadır. Bir matkabın, genellikle aynı sayıda jet ve konisi vardır. Birden fazla jet bulunduğu anda, jetların tümüne uygulanan basınç düşüşü aynı olmalıdır. Jet hızı aşağıdaki bağıntıdan hesaplanır;

$$v = \frac{q}{A} \quad (3.5)$$

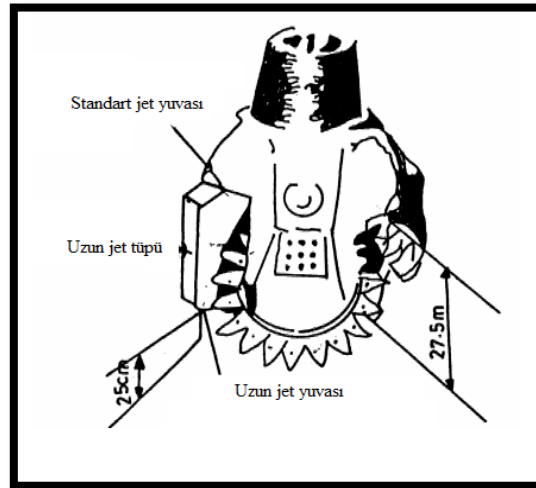
Formül (3.5)’de; v , jet hızını (m/s); q debiyi (gal/dak); A kesit alanını, (m^2); ifade etmektedir.

Diziden gelen çamurun kuyu tabanına geçmesi için matkabın ortasında veya çevresinde delikler vardır. Standart matkaplarda çamur çıkışı, matkabın ortasındaki geniş bir delikten olur. Uzun Jetler (Extended Jets) tabana çok yakın olacak şekilde uzatılmış türdendir ve taban temizliğinin yeterli olmadığı durumlarda kullanılırlar (Şekil

3.18). Tabana olan mesafe kısaldığı için yüksek jet hızı elde edilir ve delik dibi kolay temizlenir (Delafon ve Bannerman, 1989).



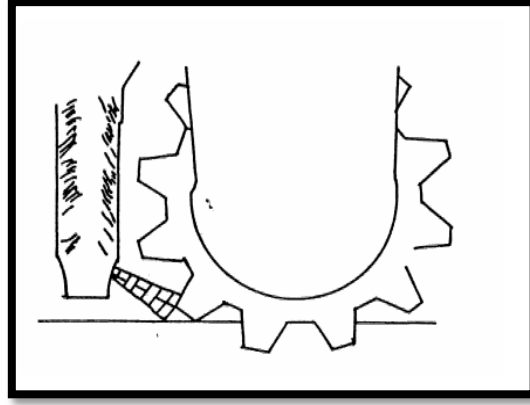
Şekil 3.17. Paralel jetler içinden akış (Bourgoyne ve ark., 1991)



Şekil 3.18. Uzun jetli matkap (Delafon, 1989)

Laboratuvar ve saha çalışmaları sonuçlarına göre; uzun jetlerde kuyu dibinin temizlenme verimini arttırmakta ve dolayısıyla ilerleme hızı artmaktadır. Örneğin, ilerleme hızlarında % 72' ye varan artışlar görülmüştür. Ayrıca matkap metrajında % 150 kadar artış elde edilmiştir (Young ve Durkee, 1990; Delafon ve Bannerman, 1989).

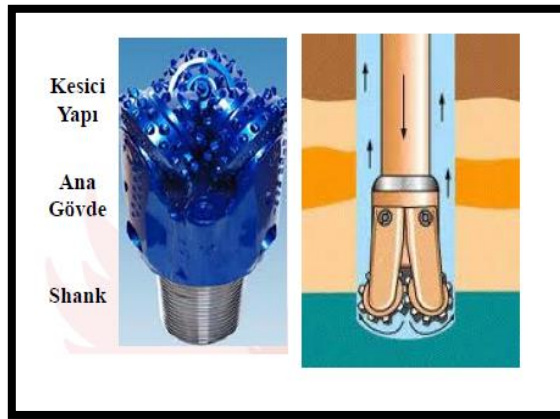
Uzun Eğimli jetlerde (Extended Slant Jets) çamur, 300 eğimle dişlerin kayaçla temas ettiği yere püskürtülür (Şekil 3.19). Dişin kayaç ile temasından hemen önce yüzey temizlendiği için aşınmalar azalır ve diş ömrü artar (Moore, 1986; Young ve Durkee, 1990).



Şekil 3.19. Uzun eğimli jet (Young ve Durkee, 1990)

3.3. Matkap Teknolojisine Genel Bir Bakış

Matkaplar, WOB ile üzerinde döndüğü formasyonu kırıp öğüten gereçlerdir (Şekil 3.20). Bir başka deyişle; kırarak ve öğütürerek kazma işi yapan delicilerdir. Çatlatma ve diş hareketi ile kazıma şeklinde delme işlemi iki adımda gerçekleşmektedir. Matkap sondaj dizisinin dönmesiyle ya da matkap üzerinde bulunan bir motor vasıtasıyla döndürülerek sondaj işlemi yapar. Diziye bağlanmayı sağlayan shank (sap, mafsal), ana gövde ve sondaj işini yapan kesici yapı olmak üzere üç ana kısmı vardır (Şekil 3.20).

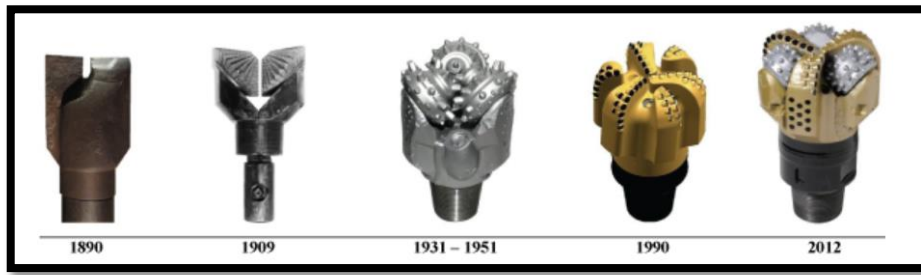


Şekil 3.20. Matkabin ana kısımları ve dönme hareketi (Anonymous-5, 2019)

Petrol sondaj endüstrisinde kullanılan ilk matkaplar, kısmen dayanıklı, ancak çok yavaş olan “balık kuyruğu” matkaplarıdır. 1909 yılında Howard Hughes Sr., ilk olarak iki döner konili matkabin patentini aldı. 1931’de, iki Hughes mühendisi ‘Tricone’ denilen döner üç konlu matkap tipini icat ettiler. Hughes’ün Tricone patenti 1951 yılına

kadar sürdü, ardından diğer şirketler de benzer matkaplar imal ettiler. 1980'lerin başında, “PDC” (polikristal elmas kompakt) Sabit kesici uçlu matkap tipi petrol sektöründe kullanılmaya başlandı (Super Drilling Products, 2014). Daha sonra PDC ve tricone matkabin birleşiminden dizayn edilen hibrit matkap tipi ilk olarak 2010’da Baker Hughes tarafından üretildi (Baker Hughes, 2013).

Matkaplar çalışma prensibine göre darbeli, döner konlu, sabit başlı ve hibrit matkaplar olmak üzere dörte ayrılır. Günümüz sondajlarının çoğu döner konlu (tricone) ve sabit başlı (PDC) matkaplar tarafından yapılmaktadır. Şekil 3.21’de matkapların yıllara göre teknolojik olarak geliştirilen matkap tipleri görülmektedir.



Şekil 3.21. Matkapların teknolojik gelişim süreci (Baker Hughes, 2013)

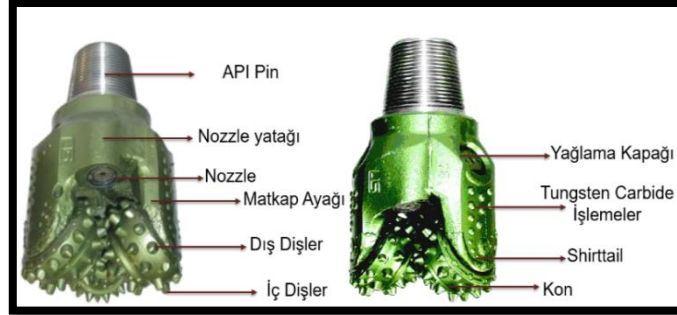
3.3.1. Döner konlu matkaplar

Döner konlu matkaplar performans, kalite ve ekonomik açıdan daha avantajlı olduklarından dünyada yaygın olarak kullanılmaktadır (Winters ve ark., 1987; Warren, 1987; Kahraman ve ark., 2000). En önemli özellikleri sondaj sırasında yönlü ilerleme ve yön kontrolü sağlayabilmeleridir. Bu yüzden döner konlu matkapların dizaynı çok önemlidir. Kendi etrafında dönebilen konilerden oluşmaktadır. Döner konlu matkaplar 2, 3 ve 4 konlu olabilmektedirler. Ama en çok kullanılan 3 konlu olanlardır. Ayrıca özel işlemler için tek konlu matkaplar da üretilebilmektedir (Kahraman, 1995).

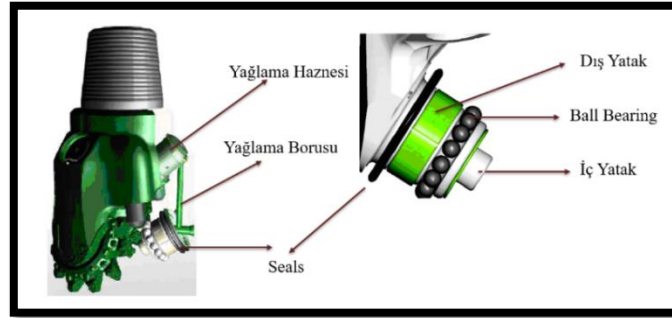
Genel olarak döner konlu matkapların (Şekil 3.22) yapısal özelliklerinde, her koni ve üzerine bağlandığı mil bir birim oluşturur ve birimler koni gövdesi, dişler, koni mili ve yatlardan meydana gelmiştir (Göktekin, 1983).

Bilye yataklarını haiz, çoğunlukla 3 adet döner kona sahip matkaplardır. Şekil 3.23’te kon yapısı görülmektedir. Üstten uygulanan ağırlık (compressional load) yoluyla; kayayı crushing (ezme) ile çatlatıp kopartarak sondaj yaparlar. (Şekil 3.24). Bu bakımdan, Sabit başlı matkaplara göre; daha yüksek matkap yükü gerektirirler. Motor

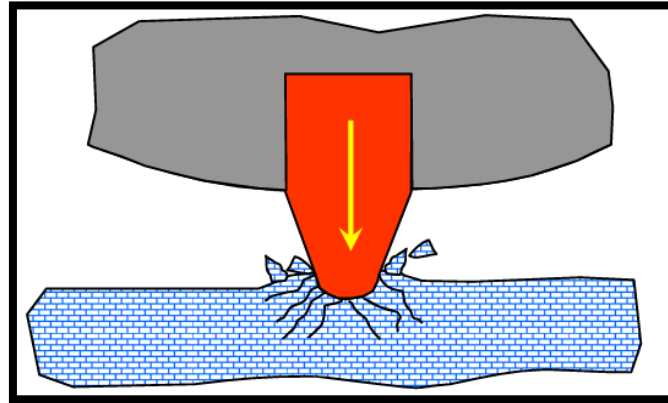
uygulamaları için üretilen tipleri de olmakla birlikte, hareket eden konlardan dolayı, yüksek devirlere uygun değildirler. Öte yandan, yine konların dönebilmesi hesabıyla, sıkışma riskleri daha azdır (Özkara ve Derman, 2013).



Şekil 3.22. Döner konlu matkabın yapısı (Özkara ve Derman, 2013)



Şekil 3.23. Döner konlu matkabın kon yapısı (Özkara ve Derman, 2013)

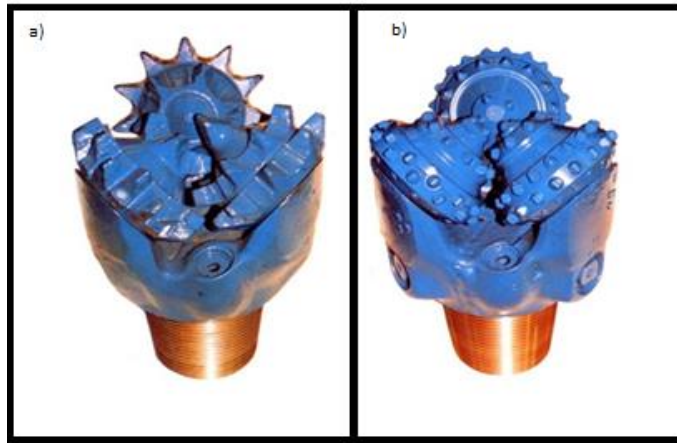


Şekil 3.24. Çatlatma ve kazıma delme işlemi (Rabia,1985).

Döner konların, hareket mekanizmasında, teknolojik açıdan gelişkin ve dayanıklı malzemeler kullanılır. Bu dayanıklı malzemeler büyük çaplı matkaplarda kullanılan silindirik yataklı (roller beraing) ve küçük çaplı matkaplarda kullanılan

sürtünmeli yataklı (friction bearing) iki temel yatak tipi vardı. Bu yatakların da çap korumalı olanı/olmayanı ve sızdırmaz olanı /olmayanı vardır (Özkara ve Derman, 2013).

Döner konlu matkaplar diş yapısına göre standart (milled tooth cone) ve insert (tungsten carbide cone) matkap olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Şekil 3.25-b’de görüldüğü gibi insert matkaplarda dişler konilere montelenmiştir. Genellikle sert ve derin formasyonlarda kullanılırlar. Şekil 3.25-a’da da görüldüğü gibi standart matkaplarda dişler koniye şekil verilerek oluşturulmuştur. Genellikle yumuşak ve sık formasyonlarda kullanılırlar (Boryczko, 2012; Pgnig, 2005).



Şekil 3.25. a) Standart matkabın diş tipi, b) insert matkabın diş tipi (Boryczko, 2012; Pgnig, 2005)

3.3.1.1. Matkap dizaynı

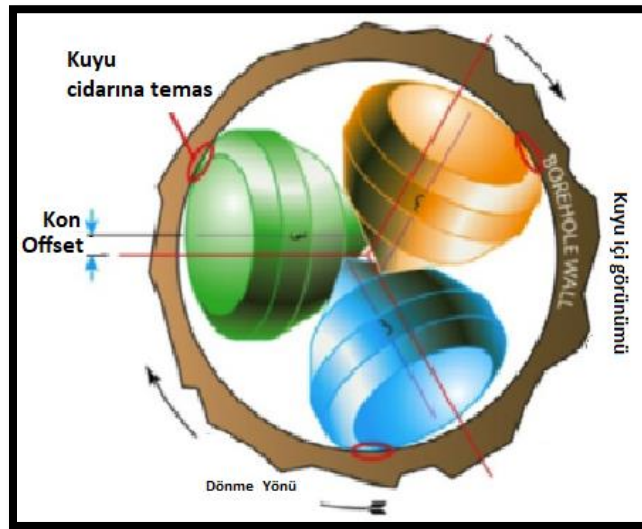
Döner konlu matkapların dizaynı için koniler, yağlama sistemi, matkabın gövdesi, aşınması ve genişliği dikkate alınan önemli parametrelerdir. Döner konlu matkapların ana tasarım özelliklerinden biri şaft yatağı açısıdır (Boryczko, 2012). Şaft yatağı açısı, şaft yatağının yatay bir düzleme göre bir eksen tarafından oluşturulan açısıdır (Şekil 3.26).

Şaft yatağı açısı, koninin boyutu üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir, açının büyümesiyle birlikte koni küçülür. Şaft yatağı açısı kayaç tipine bağlı olmakla birlikte, yumuşak formasyonlar - (Şaft yatağı açısı 330°) - formasyonun daha fazla içeri girmesini, orta formasyonlar - (Şaft yatağı 340° - 360°) - kesici işlemin azalmasını, sert formasyonlar - (Şaft yatağı 390°) - kesici işlemlerin daha da düşmesini sağlar (Boryczko, 2012).



Şekil 3.26. Şaft yatağı açısı (Rabia, 2002)

Bir matkabın üç konisi için dönme ekseninin matkap dönüşünün ortasındaki ortak bir noktada birleşmediğinde, konilerin ofset edildiği söylenir. Matkap eksenini ile konların takılı olduğu yatak eksenini arasındaki yatay uzaklıktır. Kayma derecesi, koni eksenini üzerindeki bir noktadan matkap dönme merkezine dik olarak ölçülür (Oteri, 2010). Formasyon sertleştikçe offset azalmaktadır (Şekil 3.27).



Şekil 3.27. Kon offset (Anonymous-6, 2019)

3.3.1.2. Üç konlu matkapların IADC sınıflandırılması

IADC (International Association of Drilling Contractors, Uluslararası Sondaj Müteahhitleri Birliği), matkapları tasarım özelliklerine ve uygulamalarına göre

sınıflandırmak için bir karşılaştırma çizelgesi sistemi geliştirmiştir. Döner konlu ve sabit uçlu matkaplar için ayrı ayrı sınıflandırma sistemi bulunmaktadır.

IADC döner konlu matkap sınıflandırma yöntemi, standart ve insert tipi döner konlu matkapların tanımlanması için kullanılan endüstri standardıdır (Winters ve ark., 1987).

Bu kodlama sistemi temel tasarım ve uygulama ile ilgili kriterlere dayanmaktadır. Şu anda kullanılan versiyon 1992'de tanıtıldı ve SPE (Society of Petroleum Engineers) himayesinde matkap üreticileri tarafından işbirliğine dayalı kriterler eklendi (McGehee ve ark., 1992).

Çizelge 3.2'de görüldüğü gibi IADC sınıflandırma sistemi dört karakterli (A: Hardness Series; B: Type; C: Bearing and Gauge Protection; D: Feature Code) olup matkabın tasarımı ve uygulama formasyonu ile ilgili koddur. İlk üç karakter her zaman rakam ve son karakter harftir. İlk rakam koni dişine göre matkap tipini (Çizelge 3.3'te A), ikinci rakam formasyon sertliğini (Çizelge 3.2'de B), üçüncü rakam yatak/gövde korumasını (Çizelge 3.2'de C), 1'den 7'ye kadar olup, yatak dizaynını ve gövde koruması olup olmadığını ve dördüncü karakter (Çizelge 3.2'de D) matkabın diğer özelliklerini ifade eder (Özbayoğlu, 2011). Çizelge 3.2'deki dördüncü karakteri (D-feature code) ifade eden harfler (Özkara ve Derman, 2013);

A: havalı sondaj: hava soğutmalı matkabı tanımlar, B: özel sızdırmazlık elemanı: özel uygulama avantajları (yüksek dönme hızı gibi) sağlayan bir tür sızdırmazlık elemanıdır, C: merkezi jet: Hidrolik enerjinin matkap altında daha düzenli dağılmasını sağlamak amacıyla bazı büyük çaplı matkaplarda kullanılır, D: Sapma Kontrolü: Sondaj sapmasını minimize etmek için özel kesici yapı dizaynını gösterir, E: Uzatılmış Jetler: Özellikle yumuşak formasyon matkaplarında daha iyi kuyu dibi temizliği için kullanılırlar, G: Yanak ve Gövde Koruması: Jeotermal ve yönlü sondaj için özel yatak ve gövde korumasını tanımlar, H: Yatay ve Yönlü Sondaj: Özellikle yatay ve yönlü sondaj için dizayn edilmiş matkabı ifade eder, J: Saptırma Jeti: Yumuşak kayalarda sondajı saptırmak için kullanılırlar. L: Ek Gövde Koruması: Aşındırıcı formasyonlarda ve yönlü sondaj uygulamalarında kullanılacak matkaplar için ilave gövde korumasını gösterir. M: Kuyu Dibi Motoru: Kuyu dibi motorları ile kullanılabilir özelliğe sahip matkap anlamına gelir, S: Standart çelik dişli matkap: standart matkabı ifade eder, T: İki Konili Matkap: Bazı durumlarda sapma kontrolü için kullanılırlar, W: Yüzeyi sertleştirilmiş kesici eleman, X: Kesici elemanların çoğunluğunun keski şekilli insert matkap diş olduğunu gösterir, Y: Konik şekilli insert matkap diş tanımlar, Z: Diğer

şekli insert matkap diş anlamına gelir, Bir sınıflandırma örneği verecek olursak; 124 E: Uzun jetli, sızdırmaz yataklı, yumuşak formasyon standart matkabı gösterir 415 X: Keski şekilli, çok yumuşak formasyon insert matkabını ifade eder.

Çizelge 3.2. Döner konlu matkaplar için IADC sınıflandırması (McGehee ve ark., 1992)

IADC classification : RC bits							
A Hardness Series		B Type		C Bearing and Gauge Protection		D Feature code	
Milled Tooth		1	Very soft	1	Standard, nonsealed bearing	A	Air Drilling Application
1	Very Soft	2	Soft	2	Air Lubricated, for air drilling	L	Lug Pads
2	Medium Soft	3	Medium	3	Standard, nonsealed bearing with gauge protection	B	Special Bearing Seal
3	Soft	4	Hard	4	Sealed roller bearing	M	Motor Application Bit
				5	Sealed roller bearing with gauge protection	C	Center Jet
TCI				6	Sealed journal bearing	S	Standard steel tooth model
4	Medium			7	Sealed journal bearing with gauge protection	D	Deviation control
5	Medium - Hard					T	Two-cone bit
6	Hard					E	Extended jet
7	Very Hard					W	Enhanced cutting structure
8	Hardest					G	Additional gauge and body protection
				Example		X	Predominantly chisel tooth inserts
				4	TCI - Medium Formation	H	Horizontal steering application
				1	Very soft	Y	Predominantly conical tooth inserts
				5	Sealed roller bearing with gauge protection	J	Jet deflection bit
				X	Predominantly chisel tooth inserts	Z	Other shape inserts

Çizelge 3.3. Döner konlu matkaplar için IADC sınıflandırmasının 1. karakteri (McGehee ve ark., 1992)

	Seri	Formasyon
Standart Matkaplar	1	Yumuşak Formasyon, düşük basınçta
	2	Sertçe-sert Formasyon, yüksek basınçta
	3	Sert ve Aşındırıcı (abrassive) Formasyon
İnsert Matkaplar	4	Yumuşak Formasyon, düşük basınçta
	5	Yumuşak-sertçe Formasyon, düşük basınçta
	6	Sertçe-sert Formasyon, yüksek basınçta
	7	Sert ve Yarı Aşındırıcı (Semi abrassive) Formasyon
	8	Aşırı Sert ve Aşındırıcı (abrassive) Formasyon

3.3.1.3. Üç konlu matkapların IADC değerlendirilmesi

1961'de kabul edilmesinden bu yana 3 karakterli “T, B, G” tanımı olarak kullanılan eski kod, yavaş yavaş yetersiz kaldı. 1987 yılında, IADC kullanılmış döner

konlu matkapları derecelendirmek için sistemini revize etti. Yeni IADC kodları, matkabın kalan kesme yapısını, taşıma koşulunu ve gösterge koşulunu tanımlayan 8 karakterlik bir atamaya dayanmaktadır (Oteri, 2010).

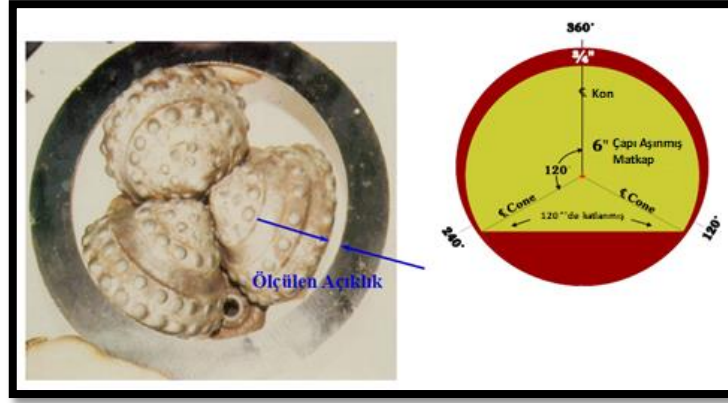
Matkap aşınmasının sistematik ölçümü, matkap performansının değerlendirilmesi, bilgi birikimi sağlama vs. amaçlarla IADC, matkaba not vermek için, dull matkap grading sistemi geliştirmiştir. Çizelge 3.4'te görüldüğü üzere bu sistemde, matkabın aşınması, körelmesi, tahrip olması ile ilgili olmak üzere 8 özellik, 8 sırada belirtilmektedir. İlk 4 özellik kesici yapıyla ilgili olup; iç dişlerin aşınması (I), dış dişlerin aşınması (O), baskın aşınma tipi (D) ve aşınmanın yerini (L) gösterir. 5. özellik matkap yataklarının durumunu (B), 6. özellik ise çap aşınmasını (G) gösterir. 7. sırada matkapta (O) gözlemlenen diğer aşınma tipleri, 8.sırada ise matkabın çekilme nedeni (R) belirtilir.

Çizelge 3.4. IADC değerlendirme kodlaması (Hughes Christensen, 2011)

Kesici Yapı				Yataklar	Çap	Düşünceler	
1	2	3	4	5	6	7	8
I	O	D	L	B	G	O	R
İç Dişler	Kuyu cidarına değen dişler	Aşınma tipi	Aşınma yeri	Yataklar/Sızdırmazlıklar	Çap aşınması	Diğer aşınma	Çekme nedeni

Çizelge 3.5'teki 6. (G) sütunda matkabın çaptan aşınması, 1 ile 16 arasında bir sayı ile değerlendirilir. Çaptan düşmeyen matkaba in gauge (çapında) anlamına I verilir. Her bir sayı ise onaltıya bölünerek, matkabın kaç inç çaptan düştüğünü gösterir. Şekil 3.28'da görüldüğü gibi üç konlu matkapların çapı, iki kona dayandırılan yeni matkap çapında bir çemberin, üçüncü kon ile arasındaki açıklıktan ölçülür. Ölçülen bu değer 2/3 ile çarpılarak, matkabın çaptan kaç inç düştüğü bulunur ve bulunan bu değer 16 ile çarpılarak ilgili sütuna yazılır (Hughes Christensen, 1996).

Yeni kod hem sabit başlı matkaplar hem de döner konlu matkaplarda gözlemlenen belirli aşınma desenleri için özel göstergeler içerecek ve matkabın çekilme nedenini içerecek şekilde tasarlanmıştır. Yeni IADC derecelendirme sistemini kullanan bir örnek Çizelge 3.5 ve Çizelge 3.6'da verilmiştir (Oteri 2010). Koniler numaralandırılırken saat yönüne göre yapılır.



Şekil 3.28. Çap Aşınması ölçümü (Hughes Christensen, 1996)

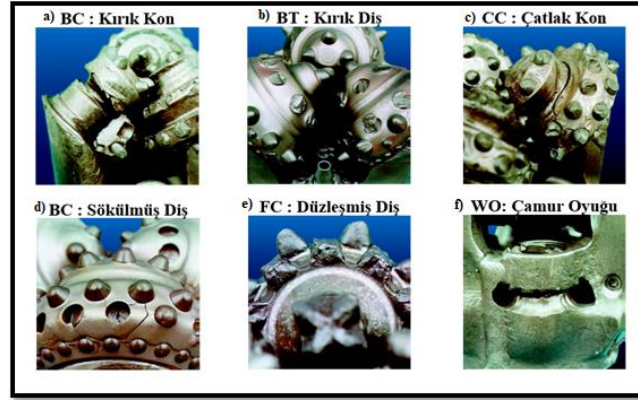
Çizelge 3.5. Matkabın körelme tipleri ve adlandırmaları (McGehee ve ark., 1992)

Körelme Tipi			
BC	Kırık Kon	LN	Düşmüş Nozul
BT	Kırık Diş	LT	Düşmüş Diş
BU	Sarma	NO	Tahribat Yok
CC	Çatlak Kon	OC	Merkezkaç Aşınma
CD	Kilitlenmiş Kon	PB	Bacak Hasarı
CI	Kon Sürtünmesi	PN	Tıkanmış Nozul
CR	Ortası Düşmüş Kon	RG	Kabaklaşmış Kon Kenarı
CT	Çentik Diş	SD	Etek Hasarı
ER	Erozyon	SS	Sivilmiş Diş
FC	Düzleşmiş Diş	TR	Gevşek Kon
HC	Isıl Çatlaklar	WO	Çamur Oyuğu
JD	Junk Tahribatı	WT	Aşınmış Diş
LC	Düşmüş Kon		

Çizelge 3.6. Çekme nedenleri ve adlandırmaları (McGehee ve ark., 1992)

Çekme Nedeni			
BHA	BHA değişimi	HR	Çalışma Saati
CM	Çamur ıslahı	LIH	Kuyuda malzeme kalması
CP	Karot alımı	LOG	Log alımı
DMF	Motor arızası	PP	Basınçta azalma
DP	Tapa sondajı sonrası	PR	Sondaj hızının azalması
DSF	Dizi hasarı	RIG	Kule tamirâtı
DST	DST yapmak	TD	Hedef derinlik
DTF	Kuyudaki aletlerde arıza	TQ	Tork
FM	Formasyon değişimi	TW	Takım sökölmesi
HP	Kuyu sorunu	WO	Dizide delik

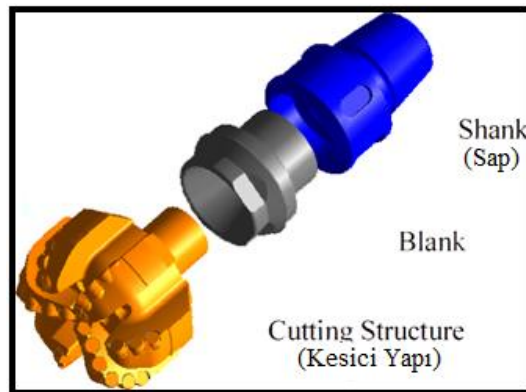
Şekil 3.29’da döner konlu matkaplarda meydana gelen bir kaç körelme örneği görülmektedir.



Şekil 3.29. a) Kırık kon, b) Kırık diş, c) Çatlak kon, d) Sökülmüş diş, e) Düzleşmiş diş, f) Çamur oyuğu (Hughes Christensen, 1996)

3.3.2. Sabit başlı matkaplar

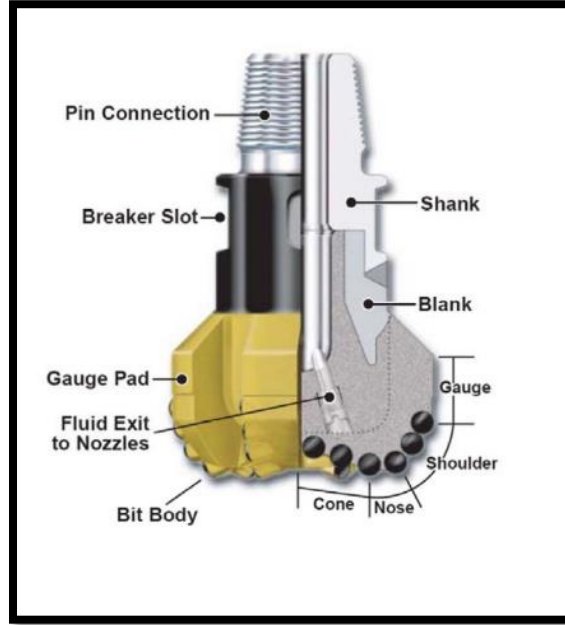
Sondaj sırasında en istenmeyen durumlardan biri matkabın dişlerinin veya konlarının sondaj sırasında kopmasıdır. Bu yüzden daha dayanıklı matkap tipi arayışına girilmiştir. Yirminci yüzyılın ilk yarısında geliştirilen elmas uçlu matkaplar kullanılmaya başlanmıştır. En önemli özelliklerinden bir tanesi güvenli sondaj için hareketli parçaların azlığıdır (Boriyczko, 2012). Sabit başlı matkaplar; elmaslar, matris ve sap olmak üzere üç ana parçadan oluşur (Şekil 3.30). Sabit başlı matkaplar yüksek aşınma direncine rağmen, darbelere ve titreşimlere karşı hassastır. Bu nedenle, elmas matkabı kullanılırken dikkatli olunmalıdır. Elmasın ve matris malzemesinin aşırı ısınmasını ve matkap sarmasını önlemek için sondaj boyunca etkili sirkülasyon yapmak büyük önem arz etmektedir (Özbayoğlu, 2011).



Şekil 3.30. Sabit başlı matkabın yapısı (Özkara ve Derman, 2013)

Şekil 3.31’de görüldüğü üzere matkap gövdesi üzerine bladelar yapılmış olup, dişler bu bladelerin üzerine işlenmiştir. Bladler arasında belli bir mesafe bırakılır ki bu

da çamur akışına/kuyu dibi temizliğine izin verir. PDC maddesi (elmas), yüksek ısı (2800 C°) ve yüksek basınç altında elde edilir (Özkara ve Derman, 2013). Dişler, karbit substrate (temel) üzerine elmas plakanın bağlanmasıyla imal edilirler. Bir kobalt alaşımasının katalizörlüğüyle de karbit ve PDC birbirine bağlanır.

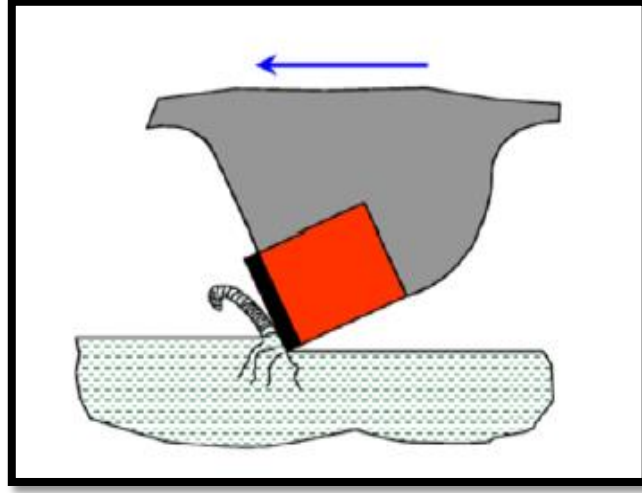


Şekil 3.31. PDC matkabın yapısı (Gent ve ark., 2009)

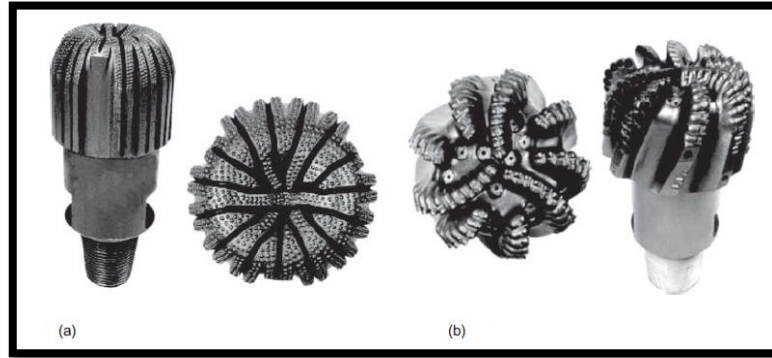
Konlu matkaplardaki konların yerine, matkap gövdesi ile yekpare bir yapıda olan hareketsiz blade lere sahiptirler. PDC (polycrystalline diamond compact), impregnated ve elmas (diamond) gibi tipleri vardır. Şekil 3.32’deki gibi shearing ile (kayayı çatlatıp sıyrarak) sondaj yaparlar. Döner konlu matkaplara göre; daha az matkap yükü gerektirirler, çok devir isterler, iyi soğutulmalıdırlar. Hareketsiz yapılarından dolayı sıkışma riski daha yüksektir.

Döner konlu matkaplardaki konların yerine, matkap gövdesi ile bütünleşmiş olan hareketsiz kesicilere sahiptir. Doğal elmas, elmas emprenye edilmiş, TSP (Isıya dayanıklı PDC) ve PDC (polycrystalline diamond compact) olmak üzere dört çeşit Sabit başlı matkap vardır (Şekil 3.33). Shearing ile (kayayı çatlatıp sıyrarak) sondaj yaparlar. Döner konlu matkaplara göre Sabit kesici uçların sürüklenme/kazıma hareketi nedeniyle; daha az WOB gerektirirler, daha çok RPM isterler, iyi soğutulmalıdırlar. Bu yüzden kuyu temizliği iyi yapılmalıdır. Sıkışma riskleri daha çoktur. Şekil 3.33’te Sabit başlı matkaplara örnekler görölmektedir. Elmaslar diğerk malzemelerle yapışmaz. Bir matris

matkap gövdesinde kısmi kapsülleme ile yerinde tutulurlar. Elmaslar, matkapların delme yüzeyleri üzerine yerleştirilmiştir (Özbayoğlu, 2011).



Şekil 3.32. Sabit başlı matkapların çatlatma ve sıyırma işlemi (Rabia, 1985)

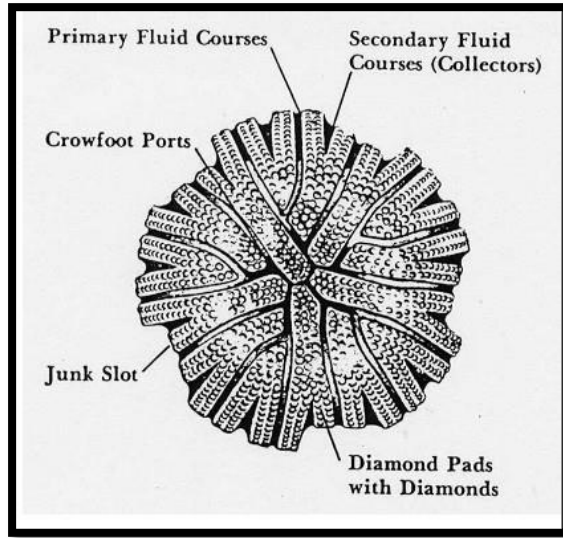


Şekil 3.33. a) Elmas matkaplar b) PDC matkaplar (Mensa-Wilmot ve ark., 2006)

3.3.2.1. Doğal elmas matkabı

Elmaslar Mohs ölçeğinde en dayanıklı olan ve bilinen en sert minerallerdir. Zorlu sondaj şartlarına dayanabilirler ve basınç dayanımları son derece yüksektir (Şekil 3.34). Aynı zamanda aşınmaya karşı yüksek dayanıklılık özelliğine sahiptirler (Boriyczko, 2012).

Doğal elmas matkapları sondaj sırasında oluşan ısıya duyarlıdır. 503 C° ile 800 C° arasındaki sıcaklıklarda elmaslar oksitlenir ve yaklaşık 1450 C°'de grafitleşme meydana gelir (Boriyczko, 2012). Bu nedenle doğal elmas matkapların çok miktarda çamur ile soğutulması ve yüksek jet hızı ile kuyu temizliğinin çok iyi yapılması gerekir.



Şekil 3.34. Tipik doğal elmas matkabı (Prassl, 2007)

3.3.2.2. Elmas emprenye edilmiş matkaplar

Matkap gövdesi, içindeki sentetik elmaslarla emprenye edilmiş tungsten karbür matrisinden yapılmıştır (Şekil 3.35). Aşındırıcı yapı, yüksek basınçlara ve sıcaklıklara karşı dayanıklıdır. Bu nedenle delinebilirliği düşük ve yüksek aşındırıcılığa sahip çok sert formasyonları delmek için emprenye edilmiş matkaplar uygulanmıştır (Boriyczko, 2012). Tungsten karbür, aşındırıcı yıpranma ve erozyona dayanıklı özellikleri için kullanılırlar (Oteri, 2010).

Elmas emprenye edilmiş matkaplar kullanıldığında, döner konlu matkaplar ve PDC'lere göre aşındırıcı ve heterojen formasyonlarda daha iyi matkap performansı ve gerekli matkapların sayısında azalma görülmüştür (Botelho ve ark. 2006).



Şekil 3.35. Elmas emprenye edilmiş matkaplar (Hossain, 2015)

3.3.2.3. TSP (ısıya dayanıklı PDC, thermally stable PDC)

Sondaj sırasında delme işlemini yapan, formasyonla direk etkileşimde olan malzeme ve en fazla ısıl dirence uğrayan malzeme matkaptır. Bu da matkabin ömrünü azaltıp aşınmasına sebep olur. Bu nedenle çok sert ve aşındırıcı formasyonların delinmesi için TSP yani ısıya dayanıklı PDC matkap geliştirilmiştir (Şekil 3.36).

TSP, PDC matkapların ısıl direncinin artırıldığı bir matkap tipidir. Elmas kapanımlarının tanecikleri arasındaki boşluklar kobaltla oyulmuştur. Yapısında termal direnci azaltan yabancı madde yoktur. TSP 1148 K° (875 C°)'e kadar ısıl dirence sahip matkaplardır. PDC'nin ısıl direncinin artmasıyla kullanılmadığı sert ve aşındırıcı formasyonlarda TSP kullanılmaktadır (Boryczko, 2012; Pgnig, 2005).



Şekil 3.36. TSP matkabı (Jones, 1988)

3.3.2.4. Polikristalin elmaslı kompakt matkap (PDC)

Elmas, matkap gövdesinde önceden hazırlanmış alanlara bastırılarak yerleştirilmiş bir tungsten karbür siperin üzerine monte edilir. Koniler gibi hareketli parçalar içermez bu da sondaj güvenliği için önemlidir. Kayaçlar, torna işlemi gibi kesme hareketi ile kesilir. Bu daha az enerji gerektirir ve bu nedenle daha düşük WOB gereklidir. Bu da, dizinin ve sondaj kulesinin daha uzun hizmet vermesine sebep olur (Boryczko, 2012). PDC'nin kesme yapısı 800 C°'yi aşan sıcaklıklara dayanamaz. Bu nedenle, verimli çalışmayı sağlamak için uygun delik temizliği çok önemlidir. PDC matkaplar sabit kesici uçların (Şekil 3.37) sürüklenme/kazıma hareketi nedeniyle düşük

WOB yüksek RPM'de ve yumuşak formasyonlarda daha iyi bir performans göstermektedir (Özbayoğlu, 2011).



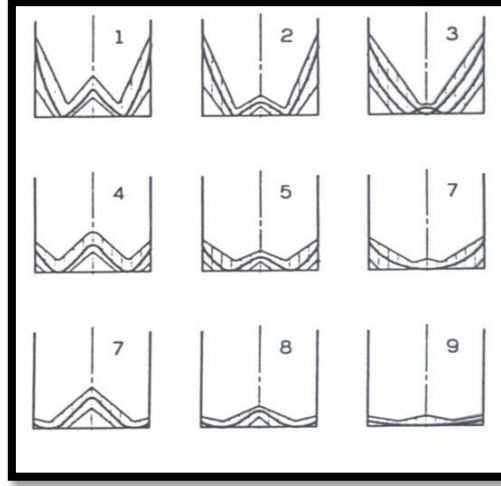
Şekil 3.37. a) PDC Matkap, b) PDC kesicileri (Baker Hughes, 2012)

3.3.2.5. Sabit başlı matkapların IADC sınıflandırılması

Birçok matkap üreticisi tarafından geliştirilen çok çeşitli sabit başlı farklı matkap tasarımları vardır. IADC, çeşitli imalatçılardan temin edilebilen çeşitli Sabit başlı matkabı tanımlamak için döner konlu sınıflandırmasına benzer bir harf ve üç rakamdan oluşan dört karakterli bir kodlama sistemine dayanan standart bir sınıflandırma sistemi (Çizelge 3.7) geliştirdi (Winters ve Doiron, 1987). Bu sınıflandırma hem kayaç özelliklerini hem de yapısal özellikleri içerir (Boriyczko, 2012).

Çizelge 3.7'de PDC matkapların A, B, C ve D sınıflandırma basamakları aşağıda verilmiştir. Bu dört basamakta; 1.Basamak (A): Matkabın üretildiği malzemeyi M: Matris gövdesi PDC (Tungsten Karbit), S: Çelik gövde PDC, D: Doğal elmas (matris gövdesi), T: TSP (Isıya dayanıklı PDC) matris gövdesini, O: Diğer kısımları gösterir.

2.Basamak (B): Diş yoğunluğu (formasyon sertliği). 1'den 9'a kadar olan sayılar, G sırasındaki G yükseklik ölçer yüksekliğini ve C koni yüksekliğini belirten matkap profilini tanımlar. 1: G yüksek, C yüksek, 2: G yüksek, C orta, 3: G yüksek, C düşük, 4: G orta, C yüksek, 5: G ortamı, C ortamı, 6: G orta, C düşük, 7: G düşük, C yüksek, 8: G düşük, C orta, 9: G düşük, C düşük ifade eder . PDC: 1: PDC diş sayısı <30 2: 30-40, 3: 40-50, 4: >50, Elmas: 6: karat başına 3 taştan büyük elmas 7: 3-7 taş, 8: 7 taştan küçük elmas) dır (Şekil 3.38).



Şekil 3.38. Sabit başlı matkabın profili (Boryczko, 2012; Pgnig, 2005)

3.Basamak (C): Dış çapı 1'den 9'a kadar olan sayılar hidrolik ucu tanımlar.1: değişken jetler, bladelı, 2: Sabit portlar, bladelı, 3: açık oluk, bladelı, 4: değişken jetler, çıkıntılı, 5: Sabit portlar, çıkıntılı, 6: açık boğaz, çıkıntılı, 7: değiştirilebilir jetler geniş kaplı, 8: Sabit portlar, geniş kaplı, 9: açık oluk, geniş kaplı şeklinde ifade edilir. R - çamur kanalları radyal olarak düzenlenmiştir. X - çamur kanalları enine yerleştirilmiştir. O – diğer olarak verilir. R, X ve O harfleri 6 veya 9 sayıların yerini alabilir. 1: >24 mm, 2: 24-14 mm, 3: 14-8 mm, 4: <8 mm dir.

4.Basamak (D): Matkap profili. 0 ila 9 arasındaki sayılar kesici boyutunu ve yoğunluğunu gösterir. 0: emprenye edilmiş. 1: yoğunluk hafif, boyut büyük, 2: yoğunluk orta, boyut büyük, 3: yoğunluğu ağır, boyut büyük, 4: yoğunluk hafif, boyut orta, 5: yoğunluk orta, boyut orta, 6: yoğunluk ağır, boyut orta, 7: yoğunluk hafif, boyut küçük, 8: yoğunluk orta, boyut küçük, 9: yoğunluğu ağır, boyut küçük olarak ifade edilir. 1: Fishtail, 2: Kısa, 3: Orta, 4: Uzun şeklinde verilir (Çizelge 3.8).

Çizelge 3.8. PDC matkaplar için IADC sınıflandırması (Bourgoyne ve ark., 1991; Winters ve Doiron, 1987)

<u>IADC classification : PDC bits</u>									
<i>A</i>		<i>B</i>		<i>C</i>			<i>D</i>		
<i>Bit body</i>		<i>Formation type</i>		<i>Cutting structure</i>			<i>Bit profile.</i>		
"M"	Matrix	1	Very soft	2	PDC, 19mm		1	Short fishtail	
"S"	Steel			3	PDC, 13mm		2	Short profile	
"D"	Diamond			4	PDC, 8mm		3	Medium profile	
		2	Soft	2	PDC, 19mm		4	Long profile	
				3	PDC, 13mm				
				4	PDC, 8mm				
		3	Soft to medium	2	PDC, 19mm				
				3	PDC, 13mm				
				4	PDC, 8mm				
		4	Medium	2	PDC, 19mm				
				3	PDC, 13mm				
				4	PDC, 8mm				

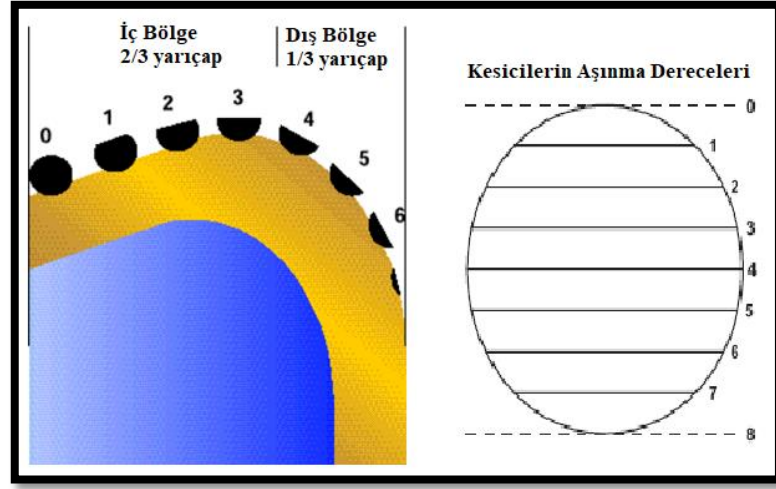
Example	
M	Matrix
4	Medium
3	PDC 13mm
4	Long profile

3.3.2.6. Sabit başlı matkapların IADC değerlendirilmesi

IADC, SPE ile birlikte, matkap arızalarını aktarmak için sistematik bir yöntem geliştirmiştir. Sistemin amacı matkap deneyimlerinin doğru kaydedilmesine dayanarak ürün ve operasyonel gelişimi kolaylaştırmak ve hızlandırmaktır. Bu sistem donuk derecelendirme (dull grading) olarak adlandırılır. IADC donuk derecelendirme protokolü, sekiz döner konlu veya yedi PDC-matkap alanını değerlendirir, bir matkabın servisten çıkarılma nedenlerini sistematik olarak değerlendirmek için bir mekanizma sağlar ve raporlama için tek tip bir yöntem oluşturur (Brandon ve ark. 1992; McGehee ve ark. 1992) (Özbayoğlu, 2011).

Döner konlu matkaplar yatak içermediğinden, bu kısım X ile kodlanır. İç dişler 2/3, dış dişler ise 1/3 çapa isabet eden dişlerdir. Bu matkaplara özgü ilave aşınma özellikleri: BF - (dişin elmas tabaka ile karmatkap temeli birleştiren) bağlarda hasar, NR – tekrar kullanılamaz, RO - ring out, RR – tekrar kullanılabilir. Aşınma yeri kodları; C – kon (cone), N – burun (nose), T – taper, S – omuz (shoulder), G–gauge. Sabit başlı matkap çap aşınması, kendi tipine özgü hazırlanmış bir çap ölçer ile ölçülmelidir (Şekil 3.39). Döner konlu matkaplardan farklı birkaç aşınma tipi vardır. İç ve dış dişlerin tarifi ve aşınmanın olduğu yere ilişkin tanımlamalar da farklıdır (Şekil 3.39). IADC sınıflandırma dört genel matkap aşınma kategorisini gözden geçirir: kesme yapısı (T),

yataklar ve contalar (B), gösterge (G) ve açıklamalar. Bu kategoriler ve alt bölümleri Çizelge 3.9’da verilmiştir.



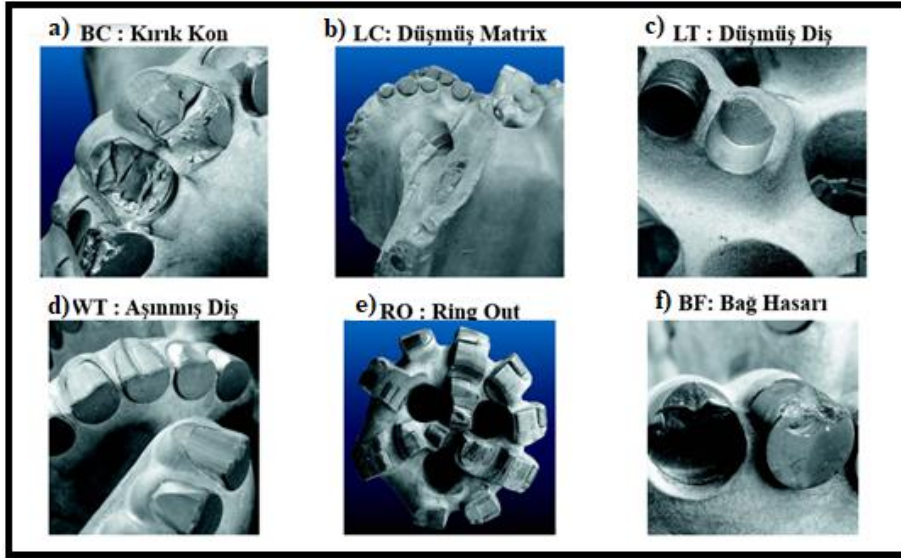
Şekil 3.39. Döner konlu matkaplar için kullanılan sistem (Smith Technologies, 2008)

Çizelge 3.9. PDC IADC değerlendirme (Wamsley ve Ford, 2007)

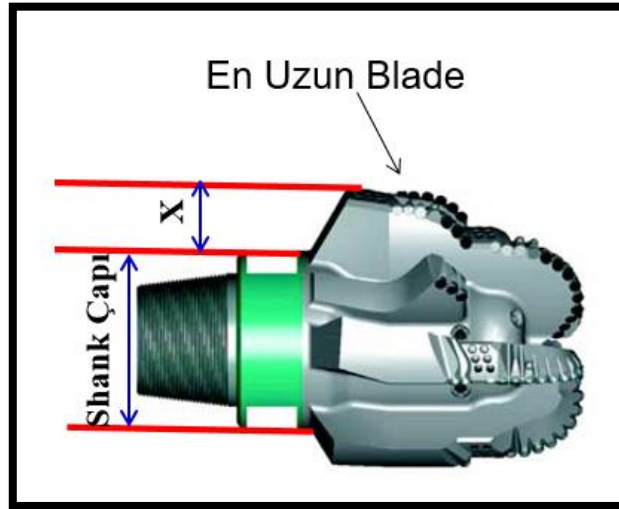
Kesici Yapı (Cutting Structure)				Yataklar	Çap	Düşünceler	
1	2	3	4	5	6	7	8
I	O	D	L	B	G	O	R
İç Bölge 2/3 Çap	Dış Bölge 1/3 Çap	Körelme Tipi	Körelme Yeri	Yataklar/Sızdırma zlıkların Durumu	Çapta Aşınma	Diğer Hasar	Çekme Sebebi

Sabit başlı matkaplar için derecelendirme sistemi, doğal elmas, polikristalin elmas sıkıştırma (PDC), ısıya dayanıklı PDC (TSP) elmaslar, elmas emprenye edilmiş matkaplar dahil olmak üzere tüm döner konlu olmayan matkaplar için kullanılabilir. Döner konlu matkapların değerlendirilmesinde kullanılan yöntemle benzer sekiz özellik bulunmaktadır. İlk dört faktör, aşınmanın boyutu, türü ve yerini tahmin etmek için kullanılır. Beşinci özellik, rulman aşınmasını tanımlamak için kullanılır, Sabit başlı matkap durumunda bu tür aletlerin yapımında oluşmadıkları için değerlendirilmez. Bu yer bu durumda daima X ile belirtilir. Altıncı sütun, çaptaki düşüşün değerlendirilmesi içindir. Son iki faktör, matkabın aşınması ve matkabın kuyudan çekilme nedeni hakkında ek bilgiler içerir. Kesme yapısının aşınmasını değerlendirmek için 0 ile 8 arasında doğrusal bir ölçek uygulanır. Şekil 3.40’ta sabit başlı matkapta körelme örnekleri verilmiştir. Sabit başlı matkap çap aşınması, kendi tipine özgü hazırlanmış bir

ap ler ile ölçülmelidir. Bi-center gauge matkap çapı shank çapından hesaplanır (ekil 3.41).



Şekil 3.40. a) Kırık kon, b) Düşmüş matrix, c) Düşmüş diş, d) Aşınmış diş, e) Ring out, f) Bağ hasarı (Hughes Christensen, 1996)



Şekil 3.41. Sabit Başlı Matkap Değerlendirme: ap lümü (Smith Technologies, 2008)

3.3.3. Hibrit matkaplar

Hibrit matkap döner konlu ve PDC matkabın birleşiminden yapılmış bir matkap türüdür (ekil 3.42). PDC matkabın yüksek delme performansını ve döner konlu matkabın stabilite avantajına sahip hibrit matkap (Kymera), son derece iç içe geçmiş formasyonlarda güçlü bir şekilde çalışabilir (Boriyczko, 2012).



Şekil 3.42. Hibrit matkabı (Baker Hughes, 2012)

İzlanda'daki jeotermal kuyularının delinmesi sırasında, geleneksel döner konlu matkaplara göre sert bazalt formasyonlarını iki kat daha hızlı deldiği görülmüştür. Döner konlu matkaplara göre daha düşük WOB ile daha iyi ilerleme hızı görülmüştür. Ayrıca kuyu sapma sorunu bu matkap tipi ile azaltıldı. PDC'ler ile kıyaslandığında iç içe geçmiş kompleks formasyonlarda daha iyi bir performans göstermektedir. Kymera hibrit matkabı doğru yönlendirilebilirlik nedeniyle hem motorlu hem de rotatif olarak yönlü sondaj uygulamalarında kullanılabilen uygun bir matkaptır. Hibrit matkap zorlu deniz koşullarında ve zorlu jeolojik koşullarda iyi çalışır, çalışma süresi ve yön kontrolü anahtar faktörlerdir (Pessier ve Damschen, 2010).

Kuyunun merkezi kısmı yalnızca primer bıçaklar üzerindeki PDC kesiciler ile kesilirken, delinmesi daha zor olan dış kısım, kesici elemanların döner konlar ve Sabit bıçaklar üzerindeki birleşik hareketi ile parçalanır. Konlar, bıçakların geri dönüşü ve nozüllerin yerleştirilmesi için bıçakların önünde bir boşluk (veya jet yuvası) açmak için bıçakların arka tarafına doğru itilir (Pessier ve Damschen, 2010). Dışında döner konlu ve içeride PDC kesicilere sahip hidrolik olarak aktiveleştirilebilen genişletilebilir hibrid matkaplar sert formasyonlarda başarılı bir şekilde çalışır (Gopalsing, 2006).

Günümüzün modern hibrit matkap ucu, Tricone silindir konfigürasyonunu PDC Sabit kesici çerçeveye birleştirmektedir. Bu hibrit uçlar “yuvarlanma torku” yönetimi sağlar: çift hareketli kesme yapıları büyük ölçüde geliştirilmiş stabilite, matkap ömrü ve delme verimliliği için alt delik dinamiklerini dengeler (Super Drilling Products, 2014).

3.4. Matkap Seçme Kriterleri

Sondaj maliyetinde matkap maliyeti önemli bir paya sahiptir. Bu yüzden ideal bir matkap seçimi büyük önem arz etmektedir. İdeal bir matkaptan beklenenler; yüksek sondaj hızı, uzun çalışma saati, tam çap sondajı, yönünde sondaj ve uygun maliyete sahip olmasıdır. Matkap seçilirken dikkat edilecek bazı faktörler vardır. Öncelikle referans kuyuları incelenerek ön hazırlık yapılır. Kazılacak formasyonların sertlik(hardness), aşındırma(abrasiveness), baskı mukavemeti(compressive strength ve litoloji özellikleri göz önünde bulundurulur. Daha sonra kullanılan matkapların IADC kodları ve matkap değerlendirme kayıtları incelenir (TPAO, 2005).

3.4.1. Referans kuyularının verilerinin değerlendirilmesi ve karşılaştırılması

Sondaj tecrübeye bağlı bir işlemdir. Bu yüzden aynı veya benzer sahalarda daha önce yapılan sondajların verilerin değerlendirilmesinin optimum matkap seçiminde önemli bir katkısı vardır. Referans kuyularında kullanılan matkapların ROP (rate of penetration: ilerleme hızı), WOB (weight on bit: matkaba verilen ağırlık), RPM (round per minute) ve birim maliyeti değerleri incelenir. Kullanılan matkap özellikleri, IADC kodları, diğer matkap özellikleri, matkap (performans, aşınma) değerlendirme kayıtları, kazılan formasyon özellikleri, hardness (sertlik), abrasiveness (aşındırma), compressive strength (baskı mukavemeti), litoloji, WOB, RPM, kullanılan matkapların metre maliyetleri gibi parametreler kuyu kazılırken revize edilir (Özkara ve Derman, 2013).

3.4.2. Formasyon sertliği-matkap uyumu

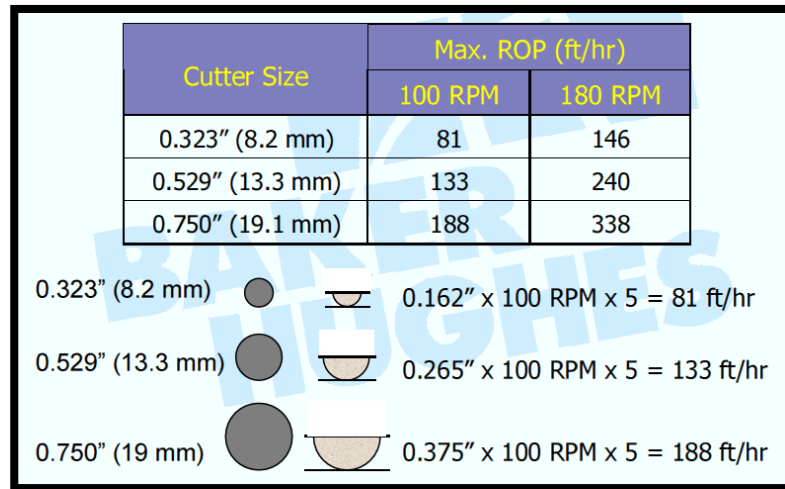
Sondaj yapılacak formasyonların sertlikleri optimum matkap seçimi için çok önemlidir. Genellikle sertliklerine göre formasyonlar yumuşak, orta sert ve sert olmak üzere üçe ayrılırlar (Özkara ve Derman, 2013). Çizelge 3.12’de formasyonun basınç dayanımına göre sertlik derecesi ve kayaç tiplerine göre uygun matkap tipleri verilmiştir. Çizelge 3.10’de yumuşak formasyonlarda PDC ve insert, orta sert formasyonlarda standart, sert formasyonlarda ise insert matkap tipinin daha iyi performans gösterdiği görülmektedir.

Çizelge 3.10. Kayaç tiplerinin basınç dayanımları ve sertliklerine göre uygun matkap (Oteri, 2010),

Basınç Dayanımı / Sertlik	Toprak & Kayaç Tipleri	Formasyon Sertliğine göre uygun matkap tipleri
0 - 5000 psi/Yumuşak	Gevşek Çimentolanmış Kum, Kil, Çakıl Taşı, Şeyl, Silttaşı, Gevşek (Unconsolidated) kumtaşı, Slate, Tebeşir, Yumuşak Kireçtaşları	PDC, standart, insert
5001 - 10000 psi/Orta Sert	Kireçtaşı, Dolomit, Kumtaşı, İri Taneli Granitler	Standart Matkap (Milled Tooth Rollar Cone)
10000 psi üstü/Sert	İnce Taneli Granitler, Trap Rock (Volkanik Kayaç), Çört, Demir Formasyonları, Kuvarsit	İnsert

3.4.2.1. Yumuşak formasyonlar

Yumuşak formasyonlar düşük basma mukavemetine sahiptirler (5000 psi'den az). Tipik yumuşak formasyon malzemeleri gevşek çimentolanmış kum, kil, çakıl taşı, şeyl, silttaşı, gevşek (unconsolidated) kumtaşı, slate, tebeşir ve yumuşak kireçtaşlarıdır. Yumuşak formasyonlarda, standart matkap için en büyük dezavantaj matkabin sarma yapması(balling) ve dişlerinin aşınmasıdır (Nygaard ve ark., 2008). Problem her koninin üzerine daha az diş yerleştirilerek çözülür. Dişlerin daha hızlı kazması için mümkün olduğu kadar uzun yapılır (Oteri, 2010). Ama bu formasyonun sertliğine göre değişir. Şekil 3.43'te basınç dayanımına göre döner konlu matkabin diş şekilleri verilmektedir.



Şekil 3.43. Basınç dayanımına göre diş şekilleri (Baker Hughes, 2013)

PDC matkap, yumuşak formasyonlarda kayacı daha hızlı kazmak için büyük jet'lara sahiptir. Sert formasyonlarda ise PDC matkap birçok küçük kesici ve sırasıyla küçük jetler ile donatılmıştır (Şekil 3.44). PDC matkapları yumuşak ila orta sertlikte formasyonları delmek için etkili bir şekilde kullanılabilir (Górski, 2007). Çizelge 3.10'a göre Şekil 3.44'teki A ve B matkabı; gevşek çimentolanmış kum, kil, çakıl taşı, şeyl, silttaşı, gevşek (unconsolidated) kumtaşı, slate, tebeşir, yumuşak kireçtaşlarında, C matkabı; kireçtaşı, dolomit, kumtaşı, iri taneli granitlerde, D matkabı ise ince taneli granitler, trap rock (volkanik kayaç), çört, demir formasyonları, kuvarsit kayaçlarında iyi performans gösterir.



Şekil 3.44. Kayaçların sertliğine bağlı olarak PDC matkaplarının tasarımı (yumuşak A'dan sert D'ye) (Górski, 2007)

3.4.2.2. Orta sert formasyonlar

Orta sert formasyonlar 5000 ila 10000 psi arasında orta basınç dayanımına sahiptir (Oteri, 2010). Tipik orta sert formasyonlarını kireçtaşı, kumtaşı dolomit ve iri taneli granitler içerir. Orta sert formasyonlarda, döner konlu matkap, kuyu açmak için yontma ve bükme eyleminin bir kombinasyonuna dayanır. Orta sert formasyonlarda insert matkapların iyi performans göstermesi için yüksek WOB ile çalışmalıdır. Bu da dişlerin kırılması problemini beraberinde getirir. Bu yüzden dişler yüksek WOB'te kırılmadan çalışabilmesi için daha kısa ve daha az sivri yapılır. Daha zor şartlarda çalışabilmesi için iç taraftaki dişlere sert kaplama uygulanmaktadır (Oteri, 2010).

3.4.2.3. Sert formasyonlar

Sert formasyonlar, yüksek basınç dayanımlarına (10000 psi'den daha büyük) sahiptir. Tipik sert formasyonlar arasında dolomit, sert kireçtaşı, granit ve çört bulunur. Sert formasyonlarda döner konlu matkap delme işlemini ezerek, PDC matkap sıyrarak

yapar. Standart matkap doğrudan formasyon yüzeyine etki eder ve kayacı ufalar (Oteri, 2010). Yüksek WOB dişlerin üzerinde şiddetli bükme kuvvetleri oluşturur. Bu yüzden dişler kısa, topaklı ve çok sayıda olmalıdır. Şekil 3.53'te de görüldüğü gibi kayacın basınç dayanımı (formasyon sertliği) arttıkça matkap dişleri küçülmektedir. Öğütülmüş dişler doğrudan formasyon yüzeyine etki eder ve onu ufalar. Insert dişlerinin düşme eğilimlerini azaltmak için, küçük bir çıkıntı ile derin bir şekilde koni içine yerleştirilir. Insert dişleri küresel veya eliptik bir şekle sahiptir (Oteri, 2010).

3.4.3. Matkap çalıştırma maliyeti denklemi

Sondaj maliyetinde matkap maliyetinin önemli bir payı vardır. Matkap performansı ise matkap seçimine ve matkabın nasıl çalıştırıldığına bağlıdır. Örneğin, yumuşak formasyona uygun bir matkap, sert formasyonda kullanılırsa dişleri kırılabilir veya dökülebilir ve bu durumda maliyet artar. Kazılacak formasyon tam olarak bilinmediğinde uygun matkabı seçmek zordur. Ancak, aynı sahada veya benzer bir sahada yapılan önceki sondaj verileri ve metre başına sondaj maliyeti hesabı, matkap seçimine yardımcı olur. Bu durumda uygun matkapların performansı tahmin edebilir, Bu tahmine göre aşağıdaki denklemden sondaj maliyeti bulunarak matkaplar karşılaştırılır (Moore, 1986).

$$C_d = O/R + 1/F_b (B + Trt \times 0) \quad (3.6)$$

Formül (3.6)'da; C_d ; Delme maliyeti (\$/m) , O ; Makina çalışma maliyeti (\$/saat), R ; Delme hızı (m/saat), F_b ; Matkap metrajı (m), B ; Matkap fiyatı (\$), Trt ; Manevra zamanı (saat) dir.

Sondaj maliyetini hesaplamak için kullanılan diğer bir denklem ise aşağıdaki şekildedir (Zaburunov, 1991).

$$C = V/M + D/P \quad (3.7)$$

Formül (3.7)'de; C ; Delme maliyeti (\$/ft), V ; Matkap fiyatı (\$), M ; Matkap metrajı (m), D ; Makina çalışma maliyeti (\$/saat), P ; Delme hızı (m/saat) dir.

3.4.4. Sondaj testi (Drill off test)

İdeal matkap seçilse bile uygun çalışma koşullarında çalıştırılmaz ise matkap etkin performansı gösteremez. Bu yüzden en iyi çalışma koşulları (optimum RPM ve optimum WOB) belirlenmesi için drill off testi (sondaj testi) yapılır. Drill off testinde öncelikle bir RPM ve WOB değeri seçilir. Kullanılan matkaba göre üretici firmanın tavsiye ettiği maksimum RPM ve WOB referans alınır. Belirlenen değerlere çıkılır ve ağırlık saatindeki her iki tonluk azalmanın zamanı kaydedilir. Bu prosedür farklı RPM’lerde tekrar edilir. Ve sonuçta ROP’nin en yüksek olduğu en iyi RPM ve WOB değerlerinde sondaja devam edilir (Bourgoyne, 1991). Formasyon değişimlerinde veya ROP’nin azaldığı durumlarda bu test tekrar yapılır.

3.5. Matkap Jet Çapı Seçme Optimizasyonu

Uygun matkap jet çapı seçimi için sürtünme basınç kayıpları denklemleri kullanılır. Optimum matkap jet çapı ile sondaj ilerleme hızında önemli artışlar sağlanabilir. Bu artışın uygun jet hızının formasyonu kazmaya etkisi ve geliştirilmiş kuyu dibi temizleme etkisinden kaynaklandığı söylenebilir. Yumuşak formasyonlarda jetleme ile püskürtülen sıvı aynı zamanda kuyu dibinin aşınmasına yardımcı olur (Kelessidis, 2011)

En yaygın kullanılan hidrolik tasarım parametreleri, matkap jet hızı, matkap hidrolik gücü ve jet çarpma kuvvetidir. Mevcut saha uygulamaları, bu parametrelerden birinin maksimum olmasına neden olacak matkap jet çaplarının seçimini içerir (Bourgoyne, 1991).

3.5.1. Maksimum jet hızı

Jetler takılmadan önce, pompalar genellikle kesintileri kaldırabilecek tahmini minimum hıza karşılık gelen debide çalıştırılır. Püskürtme jetleri, bu debideki yüzey basıncının izin verilen maksimum yüzey basıncına eşit olacak şekilde boyutlandırılmışsa, o zaman jetlerde elde edilebilecek olan maksimum debi olacaktır ve hala kesintileri kaldırabilir. Formül (3.8) kullanılarak kanıtlanabilir. Bu denklemde gösterildiği gibi, jet hızı, matkap boyunca basınç düşüşünün karekökü ile doğru orantılıdır (Kelessidis, 2011).

$$v_n \propto \sqrt{\Delta p_b} \quad (3.8)$$

Formül (3.8)'te v_n ; jet hızı ortalaması (ft/s), Δp_b ; matkaptaki basınç kaybı (psi)'dir.

Bu nedenle, matkaptaki basınç düşüşü maksimum olduğunda, jet (nozül) hızı maksimumdur. Pompa basıncı maksimum, dizi içindeki ve anülüsteki sürtünme basıncı kaybı minimum olduğunda matkaptaki basınç kaybı maksimum olur. Debi minimum olduğunda sürtünme basınç kaybı minimum olur (Kelessidis, 2011).

3.5.2. Maksimum matkap hidrolik gücü

Speer (1958), pompanın hidrolik gücünün arttırılmasıyla jetlerin etkinliğinin artırılabilceğini belirtti. Speer, kesintiler oluşur oluşmaz hızlı bir şekilde taşınana kadar sondaj ilerleme hızının hidrolik beygir gücü ile artacağı sonucunu çıkardı. Bu “mükemmel temizlik” seviyesine ulaşıldıktan sonra, hidrolik güçle sondaj ilerleme hızında başka bir artış olmamalıdır. Speer makalesini yayınlamasından kısa bir süre sonra, bazı yazarlar, dizi içi ve anülüsteki sürtünme basıncı kaybı nedeniyle, kuyu dibinde geliştirilen hidrolik gücün pompa tarafından geliştirilen hidrolik gücün farklı olduğunu belirtti. Pompa gücü yerine matkap gücünün önemli bir parametre olduğu sonucuna vardılar. Ayrıca, pompanın mümkün olan maksimum beygir gücünde çalıştırılmasıyla matkap gücünün mutlaka maksimize edilmediği sonucuna varılmıştır. Maksimum matkap gücü koşulları, Kendall ve Goins (1960) tarafından türetilmiştir. Pompa basıncı, yüzey ekipmanındaki sürtünme basınç kaybı, Δp_s ; sondaj borusundaki (DP) sürtünme basınç kaybı, Δp_{dp} ; ağır sondaj borusundaki basınç kaybı, Δp_{hwdp} ; drill collar'daki sürtünme basıncı kaybı, Δp_{dc} ; matkaptaki basınç kaybı Δp_b ; drill collar'ın anülüsündeki sürtünme basıncı kaybı, Δp_{dca} ; ağır sondaj borusunun anülüsündeki basınç kaybı, Δp_{hwdpa} ve sondaj borusunun (DP) anülüsündeki sürtünme basınç kaybı, Δp_{dpa} ile harcanır. Matematiksel olarak Formül (3.9)'da ifade edilir (Bourgoyne, 1991).

$$p_p = \Delta p_s + \Delta p_{dp} + \Delta p_{hwdp} + \Delta p_{dc} + \Delta p_b + \Delta p_{dca} + \Delta p_{hwdpa} + \Delta p_{dpa} \quad (3.9)$$

Eğer matkap ve matkap arasındaki toplam sürtünme basıncı kaybı parazitik basınç kaybı, Δp_d olarak adlandırılırsa (Formül (3.10)),

$$p_d = \Delta p_s + \Delta p_{dp} + \Delta p_{hwdp} + \Delta p_{dc} + \Delta p_{dca} + \Delta p_{hwdpa} + \Delta p_{dpa} \quad (3.10)$$

$$p_p = \Delta p_d + \Delta p_b \quad (3.11)$$

Bu denklemin kökü Formül (3.12) ile çözülür (Bourgoyne, 1991).

$$\Delta p_d = \frac{\Delta p_p}{(m+1)} \quad (3.12)$$

Formül (3.12)'de; Δp_d ; parazitik basınç kaybı, Δp_p ; pompa basınç kaybı, m , teorik olarak 1.75'e yakın bir sabittir.

Matkap hidrolik gücü, parazitik basınç kaybının pompa basıncının $[1 / (m + 1)]$ katı olduğu durumlarda maksimumdur. Maksimum debi ise Formül (3.13) ile bulunabilir (Bourgoyne, 1991).

$$q_{max} = \frac{1714 * P_{HP} * E}{p_{max}} \quad (3.13)$$

Formül (3.13)'de; P_{HP} ; pompanın maksimum gücünü, q_{max} ; maksimum debiyi, E ; pompa verimini, p_{max} ise pompanın maksimum basıncını ifade eder (Bourgoyne, 1991).

Bu debi, $\Delta p_d / \Delta p_p$ 'nin optimum değerde olduğu belli bir derinliğe ulaşılan kadar kullanılır. Daha sonra debi derinlik arttıkça, $\Delta p_d / \Delta p_p$ optimum değerde tutmak için azalır. Bununla birlikte, debi, kesintileri kaldırmak için minimum debinin altına düşürülmez (Kelessidis, 2011).

Kırıntıların taşınabilmesi için minimum hızın 1,5 ft/s veya 2 ft/s olması gerekiyor. Kuyuda yüzey alanının en fazla olduğu ve hızın en düşük olduğu yer DP'in anülüsü olduğu için minimum debi Formül (3.14) ile hesaplanabilir (Bourgoyne, 1991).

$$q_{min} = 2,448 * (d_2^2 - d_1^2) * v_{min} \quad (3.14)$$

Formül (3.14)'te; q_{min} ; minimum debiyi, d_2 ; anülüs çapını, d_1 ; DP iç çapını, v_{min} ise minimum hızı ifade eder.

Optimum toplam jet alanı Formül (3.15) ile hesaplanır.

$$(A_t)_{opt} = \sqrt{\frac{8,311 \cdot 10^{-5} \cdot \rho \cdot q_{(opt)}^2}{C_d^2 \cdot \Delta p_{b(opt)}}} \quad (3.15)$$

Formül (3.15)'te; $(A_t)_{opt}$; optimum toplam jet alanını, ρ ; çamur ağırlığını, $q_{(opt)}$; optimum debiyi, C_d ; boşaltma kapasitesi sabitini (genelde 0,95 veya 0,98 alınır), $\Delta p_{b(opt)}$; ise optimum matkaptaki basınç kaybını ifade eder.

Jet çapını hesaplamak için Formül (3.16) kullanılır;

$$(A_t)_{opt} = \frac{\pi}{4} * \left(\left(\frac{d_1}{32} \right)^2 + \left(\frac{d_2}{32} \right)^2 + \left(\frac{d_3}{32} \right)^2 \right) \quad (3.16)$$

Formül (3.16)'da; $(A_t)_{opt}$; optimum toplam jet alanını, d_1, d_2 ve d_3 ; her bir jetin çapını ifade eder.

3.5.3. Maksimum jet çarpma kuvveti

Bazı sondaj operatörleri, matkap jet çapı boyutlarını matkap hidrolik gücünden ziyade jet çarpma kuvvetinin maksimum olması için seçmeyi tercih eder. McLean (1965) deneysel çalışmalardan, maksimum çarpma kuvveti için kuyu dibindeki debinin maksimum olması gerektiği sonucuna varmıştır. Laboratuvar ortamında yaptığı deneylerle Eckel (1968), sondaj ilerleme hızının bir Reynolds sayısı grubuyla ilişkilendirilebileceğini buldu.

Parazitik basınç kaybı, pompa basıncının $[2 / (m + 2)]$ katı olduğunda jet çarpma kuvveti maksimumdur (Bourgoyne, 1991). Formül (3.17)'de matematiksel olarak ifade edilmiştir.

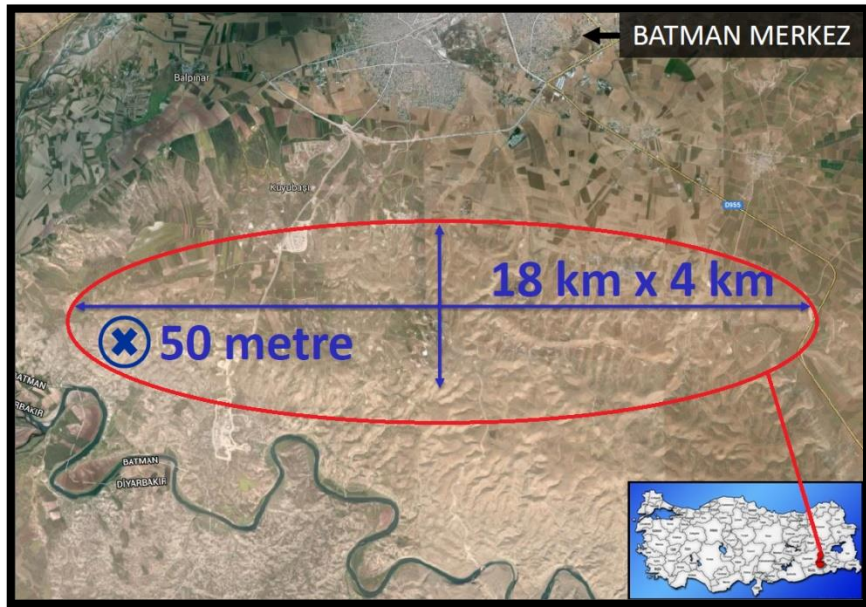
$$\Delta p_d = \frac{2 \cdot \Delta p_p}{(m+2)} \quad (3.17)$$

Maksimum matkap gücü ve maksimum jet çarpma kuvveti arasında hangisinin en iyi olduğu konusunda endişelenmeye gerek yoktur. Çünkü her iki durumda da, iki prosedürün uygulanmasında büyük bir fark görülmemektedir. Matkap hidrolik beygir gücü maksimum ise, maksimum jet çarpma kuvveti maksimumun % 90'ı kadardır ve bunun tersi de geçerlidir (Bourgoyne, 1991). Bu yüzden bu çalışmada sadece maksimum matkap hidrolik güç için hesaplamalar yapılmıştır.

4. BATI RAMAN PETROL SAHASI

4.1. Batı Raman Petrol Sahası ve Kuyuların Genel Değerlendirmesi

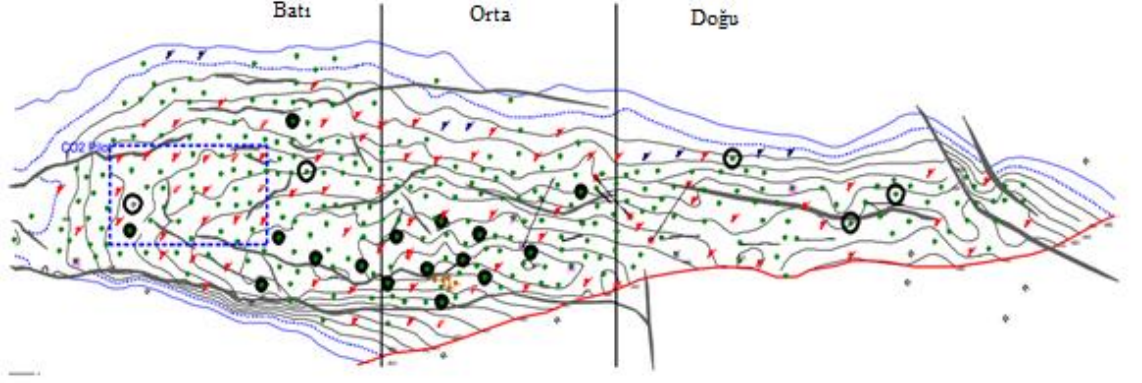
1961 yılında keşfedilen Batı Raman sahası, Türkiye'nin Güneydoğu Bölgesinde yer almaktadır. Petrol, kretase çağından heterojen bir karbonat formasyonundan üretilmektedir ve Garzan Formasyonu olarak tanımlanmaktadır. Garzan formasyonunun brüt kalınlığı 64 m'dir (Babadağlı ve ark., 2009). Şekil 4.1'deki yer buldurunda görüldüğü gibi Batı Raman petrol sahası yaklaşık 18 km uzunluk ve 2 ila 4 km genişliğinde bir alana sahiptir. Sahanın ortalama gözenekliliği % 18 civarındadır ve esas olarak matriks, vug ve çatlaklardan oluşmaktadır (Babadağlı ve ark., 2009). Matriks, 10 md ila 100 md arasında değişen geçirgenliğe sahiptir. Rezervuardan üretilen petrol 9,7 ile 15,1 arasında değişen bir API gravitesi ile çok ağır bir ham petroldür. Petrolün viskozitesi rezervuar koşullarında 450 ila 1000 cp arasında değişmektedir ve bu durum petrolün gözeneklerde ilerlemesini zorlaştırmaktadır (Babadağlı ve ark., 2009). Bu yüzden Batı Raman petrol sahasına 1986'dan beri petrolün akamazlığını düşürmek ve petrolü süpürmek için CO₂ enjeksiyonu yapılmaktadır (Şahin ve ark., 2012). Şekil 4.2'de ki mavi çerçeve CO₂ enjeksiyonunun yapıldığı yeri göstermektedir.



Şekil 4.1. İnceleme alanı yer bulduru (TPAO, 2018)

Sahanın batı ve orta kısımları doğu kısmına göre daha üretken olup daha fazla kuyu kazılmıştır (Şekil 4.2). Bu durum iyi gelişmiş ikincil gözeneklilik ve geçirgenlik

sistemine göre daha yüksek petrol gravitesine bağlanabilir. Öncelikle çatlaklar ile birbirine bağlanan vuglar gözeneklilikten oluşan ikincil gözeneklilik, birincil gözeneklilik düşük geçirgenlik-matriksi üzerine bindirilmiştir (Babadağlı ve ark., 2009). Batı Raman petrol sahasının sıcaklık gradyanı 1,45 psi/m (44 psi/100 ft), sıcaklık gradyanı 18 F°/100 ft ve kuyu dibi sıcaklığı ise ortalama 150 F° (65,56 °C)'tır.



Şekil. 4.2. Batı Raman petrol sahası formasyon tepe haritası (Şahin ve ark., 2012)

Sondaj işleminin sağlıklı yapılabilmesi ve ilerleme hızı için çamur ağırlığının çok büyük önemi vardır. Batı Raman petrol sahasında yapılan sondajlarda 69-76 lb/ft³ çamur ağırlığına sahip lignosülfonat çamur kullanılmaktadır (TPAO, 2018). Kullanılan çamurun içeriğinde katkısız bentonit, barit, CMC, CFL, kostik, PAC-LV bulunmaktadır. Çizelge 4.1’de kullanılan çamurun içeriğindeki kimyasallar ve özellikleri verilmiştir.

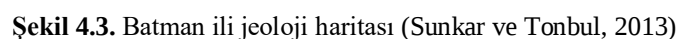
Çizelge 4.1. Batı Raman petrol sahasında kullanılan sondaj çamurunun içeriği (TPAO, 2018)

Malzeme	Özelliği
Katkısız Bentonit	Doğal Kil
Barit	Ağırlaştırıcı
CMC	Su kaybı önleyici
CFL	İnceltici
Kostik	Ph Düzenleyici
PAC-LV	Su kaybı Önleyici

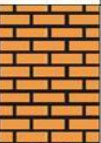
Kuyular aynı sahada olmasına rağmen eğim ve yörüngede farklıdırlar. Bu sahada yapılan sondaj çalışmalarında, PDC, insert ve standart olmak üzere üç tip matkap kullanılmıştır. Sahada sondajın ikinci aşaması 8 ½’’’lik insert matkapla kazılan dört kuyu, standart matkapla kazılan beş kuyu ve PDC matkapla kazılan beş kuyunun gerçek

TPAO Batman Bölge Müdürlüğünden alınan bilgilere göre şuana kadar Batı Raman Petrol sahasında 507 kuyu kazılmış olup gelecek yıllarda da bir çok kuyunun kazılması planlanmaktadır. Batı Raman petrol sahasındaki kuyuların formasyonları litolojik olarak benzerlik göstermektedir (TPAO, 2018). Sahada daha önceden kazılmış olan referans kuyulardan elde edilen veriler kullanılarak iyi sondaj programları hazırlanabilir. Bu sondaj programları ile elde edilebilecek herhangi bir performans iyileştirmesinin, gelecekte kazılacak olan kuyuların çoğuna uygulanması halinde önemli bir ekonomik gelişmenin olması beklenir.

Batman'ın jeolojik özellikleri incelendiğinde BZK (Bitlis Zagros Kuşağı)'nın kuzeyinde Avrasya levhasına ait dilimlenmiş metamorfik kayalar ve ofiyolitik kayalar yer alır (Eren ve ark., 2012). Batman ili jeolojik haritası Şekil 4.3'te verilmiştir.



55

FORMASYON	LİTOLOJİ	KALINLIK m	DERİNLİK m	AÇIKLAMALAR
HOYA		290		Kireçtaşı
GERCÜŞ		232	290 (585)	Miltası arabantlı şeyl Çakıltası kumtaşı
Ü GERMAV		690	522 (353)	Marm katkılı şeyl
A GERMAV		135	1212 (-337)	Şeyl, marm
GARZAN		46	1347 (-472)	Kireçtaşı
KIRADAĞ		20 p.	1393 (-518)	Kireçtaşı, şeyl, miltası
			S.D: 1413 (-538)	

Şekil 4.4. Batı Raman sahasında kazılan formasyonlar ve ortalama kalınlıkları (Uyar ve Tekdal, 2013)

4.2.1. Hoya formasyonu (Midyat kireçtaşı)

Grubun tip lokalitesi Diyarbakır Çüngüş ilçesi'nin 2 km güneybatısındaki Hoya Köyü dolayısıdır. Midyat grubunun formasyonudur. Midyat kireçtaşı başlıca gri, açık gri, krem, bej, kirli sarı ve beyaz renkli kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı ve killi kireç taşlarından oluşmuştur. İnce, orta, kalın tabaklanma sunar. Bölgede, kalınlığı yer yer 1000 m'yi aşar (Eren ve ark., 2012).

Toplam 603 m kalınlıkta ölçülen Hoya formasyonu'nun tabandan itibaren ilk 152 metresi içinde kireçtaşı egemendir. Sadece, 82-90 metreler arasında dolomite rastlanır (Görür ve Akkök, 1982b; Duran ve diğ., 1989). Kireçtaşları; gri, bej renkli, orta (10-100 cm) kalınlıkta muntazam tabakalı, bol miliolidli, alveolinidli, ekinit parçalı ve kırmızı alglidir. Bu kireçtaşları yer yer kısmen dolomitleşmiştir. 152-222 metreler arasında 70 m kalınlığında dolomit izlenir. Açık gri renkli ve kötü tabakalı olan bu dolomitler, orta-kalın (1 metreden fazla) tabakalaşması, karstik görünümü ve rengiyle

kireçtaşından kolayca ayrılır (Yılmaz ve Duran, 1997).

Batı Raman petrol sahasında Hoya formasyonu daha çok çörtlü kireç taşından oluşmaktadır. Kalınlığı ortalama 290 metredir ve bu formasyon kazılırken formasyonun sertliği açısından yumuşaktan orta sertte doğru bir gidiş vardır. Bu yüzden sondajın birinci aşamasında kazılan bu formasyonda genellikle standart ve insert matkap kullanılmaktadır. Ayrıca bu formasyonun çatlaklı yapısından dolayı sondaj tam çamur (Bentonit-su çamuru) kaçağıyla yapılmaktadır (Uyar ve Tekdal, 2013).

4.2.2. Gercüş formasyonu

Grubun tip lokalitesi Batman ili Gercüş ilçesi yakınındaki Hermis basenidir. Midyat Grubunun en alt formasyonudur. İlk defa Maxson (1936) tarafından "Gercüş formation" olarak adlandırılmış ve tarif edilmiştir. Şekil 4.5'te görüldüğü gibi kalınlığı tip kesitinde 271 m olarak ölçülmüştür (Bolgi, 1961). Gercüş formasyonu, ince-orta-kalın tabakalı, gri, yeşilimsi gri, yeşil, bej, kırmızı ve pembe renkli kumtaşı, silttaşı, çakıltası, marn ve şeyllerden oluşur (Eren ve ark., 2012). Gercüş Formasyonu'nun egemen litolojisi kaba çakıl taşlarıdır. (Duran ve ark., 1988).

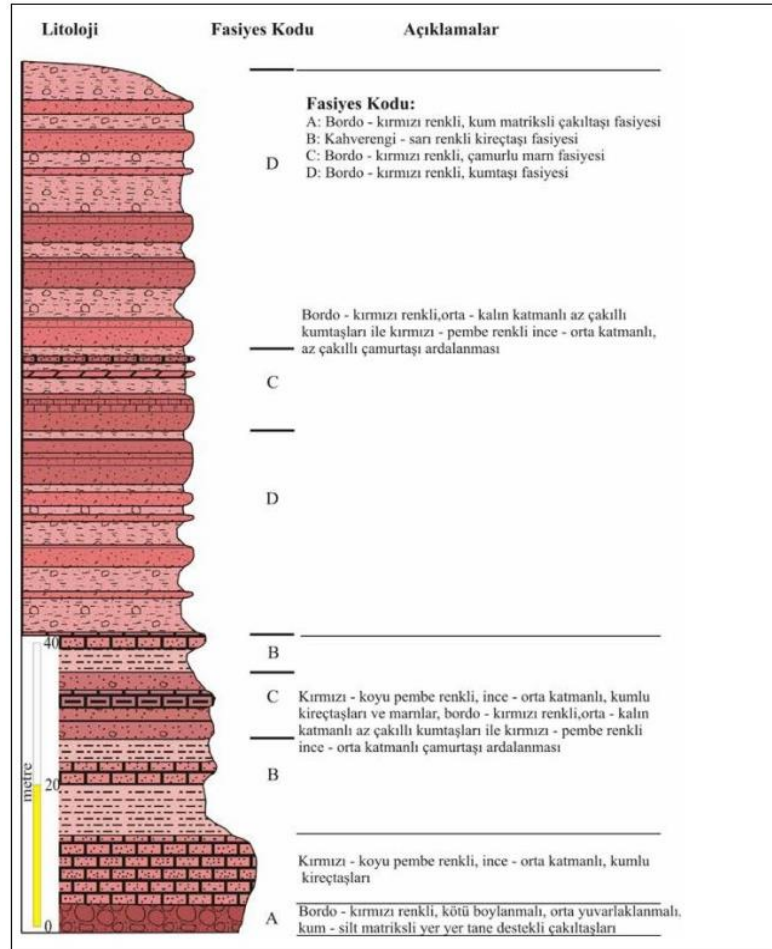
Batı Raman petrol sahasında Gercüş formasyonunun yapısında çakıl taşı, kumtaşı, mil taşı ve arabantlı şeyl bulunmaktadır. Kalınlığı ortalama 260 metredir ve yumuşak formasyondur. Ama formasyon kazılırken yumuşaktan orta sertliğe doğru bir gidiş vardır (Uyar ve Tekdal, 2013).

4.2.3. Germav formasyonu

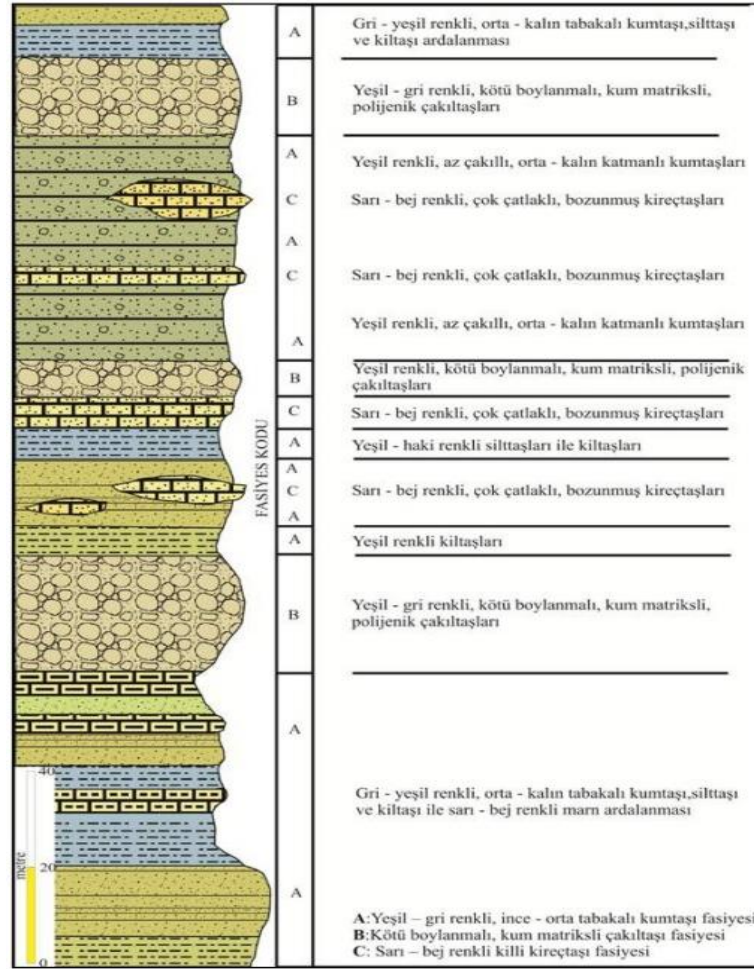
İlk defa Maxson (1936) tarafından Hermis antiklinalinde "Kermav formation" olarak tarif edilmiş ve isimlendirilmiştir. Şekil 4.6'da görüldüğü gibi Germav Formasyonu, mostra verdiği alanlarda, genel olarak şeyl, marn ve kumtaşı aralanmasından oluşan bir birimdir (Paige, 1946).

Grubun tip lokalitesi Batman ili Gercüş ilçesinin 40 km kadar doğusundaki Germav köyü dolayındadır. Germav formasyonu Güneydoğu Anadolu bölgesinde iki üyeye ayrılmıştır. Maastrichtiyen yaşlı kısma "Alt Germav formasyonu" ve Paleosen yaşlı kısma da "Üst Germav formasyonu" denilmiştir. Batı Raman petrol sahası Üst ve alt Germav formasyonlarının yapısında marn, katkılı şeyl ve kum taşı bulunmaktadır. Üst Germav formasyonunun ortalama kalınlığı 620 metre ve Alt Germav

formasyonunun ortalama kalınlığı 120 metredir (Uyar ve Tekdal, 2013). Yumuşak formasyonlardır. Üst Germav formasyonunda sondaj yapılırken kuyuda şişme ve yıkılma görülmektedir. Dizi sıkışmasını, ağırlık almayı engellemek, kuyuyu rahatlatmak ve kuyu stabilitesini sağlamak için sık sık short trip yapılmalıdır (TPAO, 2018). Short trip, sondaj dizisinden genellikle 10 veya 20 stand'ın (2'li drill pipe) sökülüp tekrar diziye eklenme işlemidir. Short trip'ten önce ve sonra sirkülasyon yapılmaktadır (Anonymous-7, 2019).



Şekil 4.5. Gercüş Formasyonu'nun lektostatrotipi (Yeşilova ve Helvacı, 2012; (Bölgi ve Sezgin, 1960)



Şekil 4.6. Germav Formasyonunun tip kesiti (Yeşilova ve Helvacı, 2012; (Bolgı ve Sezgin, 1960)

4.2.4. Garzan ve Kıradağ formasyonu

Grubun tip lokalitesi Batman ilinin doğusundaki Garzan sahası kuyularıdır. Garzan Formasyonu, genel anlamda, şeyl ara bantları içeren koyu kahve renkli dolomit ile beyaz, kirli beyaz, krem, bej, gri, kahvemsiz bej renkli, sert, yer yer yumuşak, iri kavkı parçalı (özellikle rudist ve mollusk), bentik foramlı, stilolitli, yer yer resifal, yer yer tebeşirli kireç taşlarından oluşmaktadır (Araç, 1981; Salem ve ark., 1986; Naz, 1986; Araç ve Öncü, 1988; Derman ve ark., 1991; İşbilir ve ark., 1991; Yılmaz ve ark., 1993; Gümüş ve ark., 1993). Neostrototipinde 190 m kalınlıkta olan Garzan Formasyonu'nun diğer kalınlıkları şu şekildedir: Mardin ili Gercüş ilçesinin batısındaki Gercüş antiklinalinin kuzey kanadındaki Leylektepe'de mostra veren üst kısım 25-60 m'dir (Önem, 1968; Güven ve ark., 1988).

Batı Raman petrol sahası Garzan formasyonunun yapısında kireç taşı bulunmaktadır. Dağılgan yapıda ve sert özelliğe sahiptir. Sondaj yapılırken çamur kaçağı görülmektedir. Petrolün olduğu zondur. Kalınlığı ortalama 75 metre'dir (Uyar ve Tekdal, 2013).

Batı Raman petrol sahası Kıradağ formasyonunun yapısında kireç taşı, şeyl ve mil taşı bulunmaktadır. Yumuşak formasyondur. Bu formasyonun ortalama 30 metre'si kazılmaktadır (Uyar ve Tekdal, 2013).

4.3. Batı Raman Petrol Sahasındaki Sondajların Yapılış Aşamaları

Batı Raman petrol sahası özellikleri iyi bilinen bir saha olduğundan, burada uygulanan sondaj programları genel olarak birbirine benzerdir. Öncelikle uygulanan sismik yöntem taramaları sonucunda potansiyel hidrokarbon birikintilerinin bulunduğu yerlerin tespiti yapılır. Ardından açılacak kuyuların sondaj programı hazırlanır. Sondaj programlarında hangi derinlikte casing indirilecek, kullanılacak çamurun tipi ve özellikleri, matkabın çapı ve tipi, derinliği vb. birçok parametre hakkında bilgi bulunmaktadır. Çalışmanın diğer kısmında, verilen ilgili sondaj programına göre daha öncesinde belirlenen noktalarda hazırlanan lokasyonlarda sondaj kulesinin montajı yapılarak sondaj işlemine başlanır. Şekil 4.7'de Batı Raman petrol sahasındaki bir lokasyonda sondaj yapan sondaj kulesi bulunmaktadır.

Batı Raman petrol sahasında genel olarak sondaja 12 ¼" çapına sahip standart veya insert matkapla başlanmaktadır. Sondajın birinci aşaması bittikten sonra 9 5/8" çapında yüzey casing'i (surface casing) indirilmektedir. Ardından bu çalışmada incelenen sondajın ikinci aşaması, 8 ½" çapında matkapla yapılır. Sondajın ikinci aşaması bittikten sonrada 7" çapında üretim casing'i indirilir. Bu durumda kuyuya yüzey casing (250-500 m derinliğe) ve üretim casingi (1300-1420 m derinliğe) olmak üzere iki casing indirilir (TPAO, 2018).

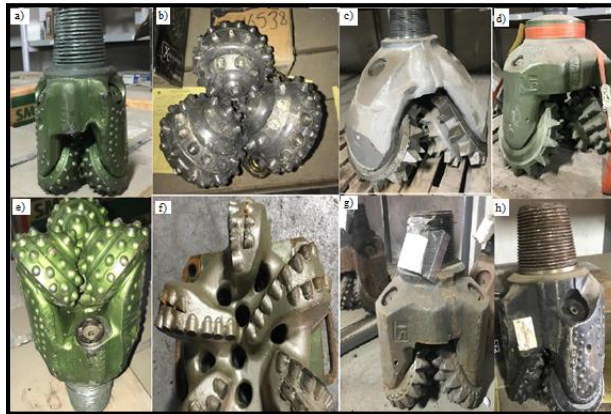
4.4. Batı Raman'daki Sondajlarda Kullanılan Matkaplar

Batı Raman petrol sahasında yapılan sondajların birinci aşamasında 12 ¼" çapında genellikle standart veya insert matkap, ikinci aşamasında ise 8 ½" çapında insert, standart (milled tooth bit) veya PDC matkaplarından biri kullanılmaktadır. Şekil 4.8'de Batı Raman petrol sahasında kullanılan matkap tipleri görülmektedir. PDC

matkaplar ilk zamanlarda kullanılmaya başlandığında sapma sorunu görülmüştür. TPAO'dan alınan verilere göre PDC matkap ile kazılan kuyularda 1° , $1 \frac{1}{4}^{\circ}$, $1 \frac{1}{2}^{\circ}$, $1 \frac{3}{4}^{\circ}$, $2,3^{\circ}$ sapma görülmüştür (TPAO, 2018). Yapılan BHA dizaynı değişikliği ile sapma sorunu giderilerek en iyi performansı gösteren matkap tipi olmuştur. Batı Raman petrol sahasında yapılan sondajların ikinci aşaması standart matkapla yapılan beş kuyu, insert matkapla yapılan dört kuyu ve PDC matkapla yapılan beş kuyunun gerçek saha verileri kullanılmış olup, bu sondajların performans değerlendirilmesi yapılmıştır.



Şekil 4.7. Batı Raman petrol sahasında sondaj kulesi ve lokasyonu



Şekil 4.8. Batı Raman sahasında kullanılan matkap tipleri (a, b, e ve h insert, c, d ve g standart, f ise PDC matkap)

4.4.1. Batı Raman petrol sahasında kullanılan standart matkap özellikleri

İnceleme alanında kullanılan standart matkaplar hareketli üç koniden oluşmaktadır. Konilerin dişleri şekil verilerek oluşturulmuş olup, sondajın ikinci aşamasında kullanılan standart matkabın çapı 8 ½" 'dir. Bu çalışmada sondajın ikinci aşamasında kullanılan standart matkap ile kazılan S-1, S-2, S-3, S-4 ve S-5 kuyularının sondajları değerlendirilmiştir. Bu kuyularda üzerinde 3 adet 16/32" çapında jet bulunan standart matkaplar kullanılmıştır.

4.4.2. Batı Raman petrol sahasında kullanılan insert matkap özellikleri

İnceleme alanında kullanılan insert matkaplar hareketli üç koniden oluşmaktadır. Konilerin dişleri ısıtılma işlem ve yüksek basınç altında eklenerek oluşturulmuştur. Sondajın ikinci aşamasında kullanılan insert matkabın çapı 8 ½" 'dir. Bu çalışmada sondajın ikinci aşamasında kullanılan insert matkap ile kazılan İ-1, İ-2, İ-3 ve İ-4 kuyularının sondajları değerlendirilmiştir. Bu kuyularda üzerinde 3 adet 16/32" çapında jet bulunan insert matkaplar kullanılmıştır.

4.4.3. Batı Raman petrol sahasında kullanılan PDC Matkap özellikleri

İnceleme alanında kullanılan PDC (Polycrystalline Diamond Compact) matkaplar hareketsiz blade(kesici)'lerden oluşmaktadır. İçeriği polikristal elmadan olan blade'lerin dişleri ısıtılma işlem ve yüksek basınç altında eklenerek oluşturulmuştur. Sondajın ikinci aşamasında kullanılan PDC matkabın çapı 8 ½ " dir. Bu çalışmada sondajın ikinci aşamasında PDC matkap kullanılan P-1, P-2, P-3, P-4 ve P-5 kuyularının sondajları değerlendirilmiştir. Bu kuyularda üzerinde 6 adet 11/32" çapında jet bulunan PDC matkaplar kullanılmıştır.

5. TARTIŞMA VE BULGULAR

Bu tez çalışması kapsamında Türkiye'nin en büyük petrol sahası olan Batı Raman'da yapılan sondajlarda kullanılan farklı matkap tipleri değişik parametreler açısından niteliksel olarak değerlendirilerek araştırmalar yapılmıştır. Bu sahada yapılan sondajın ikinci aşamasında çamur ağırlığı, basınç kayıpları toplamı (dizi içi, anülüs ve matkaptaki basınç), basınç kayıpları için yüzeyden harcanan güç, BHA dizilimi, sondaj birim maliyeti, WOB, RPM ve jet çapı parametreleri tartışılıp analiz edilmiştir. Çalışmanın ikinci kısmında ise Bingham Plastik modeli kullanılarak maksimum matkap hidrolik güç için matkap jet çapı seçme optimizasyonu yapıldı. Bu amaçla yüzey muhafaza borusu (casing) indirildikten sonra sondajın ikinci aşaması 8 ½" lik insert matkapla kazılan dört kuyu, standart matkapla kazılan beş kuyu ve PDC matkapla kazılan beş kuyunun gerçek sondaj verileri kullanılarak analizler yapılmış ve değerlendirilerek yorumlanmıştır. İnceleme alanındaki sondajlarda kullanılan matkapların performansları, karşılaşılan sorunlar ve çözümlerine yönelik önlemlerinin alınması ile ilgili öneriler tartışılmıştır.

5.1. Batı Raman Sahası Üretim Kuyularında Matkap Performans Değerlendirmesi

İnceleme alanında, değerlendirdiğimiz kuyuların sondaj parametreleri; çamur ağırlığı, matkaba verilen ağırlık (WOB), debi, dönme hızı (RPM), dizi içi ve anülüs basınç kayıpları, jet hızı, matkaptaki basınç kaybı, basınç kayıpları için yüzeyden harcanan güç (HHP) ve sondaj dizisi dizilimi (BHA)'dır. Sahadan alınan bu veriler doğru kabul edilerek her bir kuyu için bu parametrelerin sondaj sırasındaki değişimleri grafikleştirilerek analiz edilmiştir. Bu çalışmada P ile ifade edilen kuyularda sondajın ikinci aşamasında PDC, İ ile ifade edilen kuyularda sondajın ikinci aşamasında insert ve S ile ifade edilen kuyularda sondajın ikinci aşamasında standart matkap kullanılmıştır.

5.1.1. P1 kuyusunun sondaj ve matkap parametrelerinin değerlendirilmesi

P1 kuyusunun sondaj ve matkap parametreleri niteliksel olarak değerlendirilmiştir. P1 kuyusunda sondajın ikinci aşamasındaki parametrelerin derinliğe bağlı değişimi Şekil 5.2'de verilmiştir. Şekil 5.2'de görüldüğü üzere, kuyunun derinleşmesiyle birlikte, kuyu stabilitesinin sağlanabilmesi ve hidrostatik basıncın

dengelenmesi için çamur ağırlığı arttırılmıştır. Ayrıca sondajın ikinci aşamasına başlanmadan önce hazırlanmış olan bentonit ve sudan oluşan çamur (66 Ib/ft^3) sondaj esnasında kuyu stabilitesini korumak adına hedef çamur ağırlığına (76 Ib/ft^3) ulaşmak için çamur ağırlığı arttırılmıştır (TPAO, 2018). Ayrıca çamur ağırlığı kontrol edilebilir bir parametre olmakla birlikte, sondaj hızı diğer parametrelere bağlı değişmektedir.

Şekil 5.2’de görüldüğü üzere, 750 m’den 1280 m’ye kadar RPM, WOB, çamur ağırlığı sabit tutulmuş olmasına rağmen sondaj ilerleme hızında düşüş görülmektedir. Bunun sebebi olarak matkap formasyon uyumu ve derinliğin artması olarak söylenebilir. Basınç kayıplarının artmasıyla yüzeyden harcanan güçte artmıştır (Şekil 5.1).

1280 m’den sonra ilerleme hızının ani bir şekilde düşmesinin ana nedeni formasyonun değişmesidir. Burada Garzan formasyonundan Kıradağ formasyonuna (Kireç taşından şeyl ve mil taşına) geçiş vardır. Çizelge 5.1’de P1 kuyusunda sondajın ikinci aşamasında kazılan formasyon kalınlıkları ve litolojileri bulunmaktadır. Şekil 5.2’de 1280 m’den sonra sondaj ilerleme hızı düşmekle beraber çamur ağırlığı, WOB, RPM ve SPP artmıştır. Bu derinlikten sonra BPD ve SPP’nin artmasındaki sebep çamur ağırlığının artması ve debideki hafif artıştır. Ayrıca kuyu stabilitesi ve daha iyi ilerleme hızı elde etmek için debi optimum değerinde tutulmalıdır.

Bu derinlikte matkaba verilen ağırlık ve RPM arttırıldığı halde, sondaj ilerleme hızında bir değişiklik olmadığı, lineer devam ettiği söylenebilir. Bunun da PDC matkabın bu formasyonda iyi performans göstermediğinden kaynaklandığı söylenebilir. Genel olarak matkaba verilen ağırlığın arttırılması sondaj ilerleme hızının korunması ve kontrol edilmesini sağlar. Sondaj sırasında optimum WOB ve optimum RPM değeri matkap üreticilerinin tavsiyeleri göz önünde bulundurularak deneme yanılma yoluyla (drill off test) bulunmaya çalışılır ve ilerleme hızı düşmeye kadar bu değerler ile sondaj devam eder.

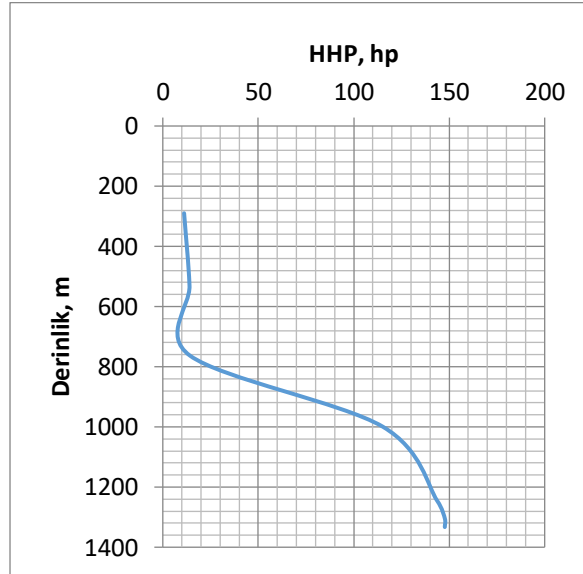
Çizelge 5.1 P1 kuyusunda sondajın ikinci aşamasında kazılan formasyon kalınlıkları ve litolojileri

Formasyon	Üst	Alt	Kalınlık	Litoloji
Gercüş	248	460	212	Çakıl taşı, kumtaşı, mil taşı ve arabantlı şeyl
Üst Germav	460	1070	610	Marn, katkılı şeyl ve kum taşı
Alt Germav	1070	1196	126	Marn, katkılı şeyl ve kum taşı
Garzan	1196	1288	92	Kireç taşı
Kıradağ	1288	1333	45 (p)	Şeyl, mil taşı ve kireç taşı

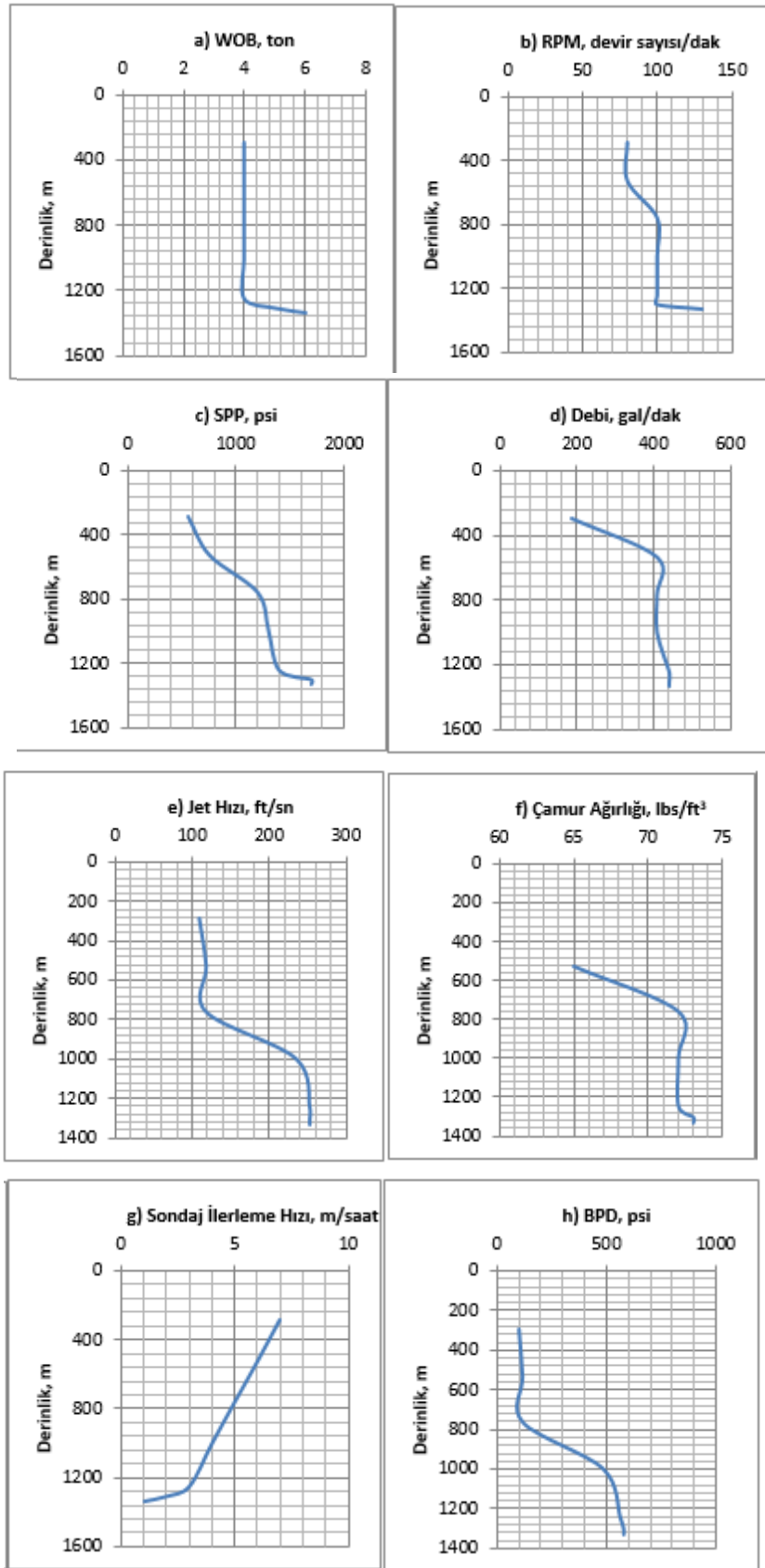
İnceleme alanında PDC matkap ile kazılan P-1 kuyusunun derinliğe göre dizi içi ve anülüsteki basın kayıpları toplamı Şekil 5.2’de görülmektedir. Şekil 5.2’de görüldüğü üzere, derinlik arttıkça dizi içi ve anülüsteki basınç kayıpları toplamı artmaktadır. Derinliğin artması, anülüs ve dizi içi hacminin artması, dizinin uzaması ve çamur ağırlığının artması basınç kayıplarının artmasına sebep olmuştur.

Şekil 5.2’de görüldüğü üzere, derinlik arttıkça debi değişimine paralel olarak jet hızında değişim olmaktadır. Dolayısıyla genel olarak jet hızı ile debi arasında doğru bir orantı vardır. Jet hızı matkap tipinden bağımsız olup debi, jet sayısı ve jet çapına bağlı bir değişkendir.

Şekil 5.2’de görüldüğü üzere, derinlik arttıkça çamur ağırlığı arttırıldığından matkaptaki basınç kaybı ve bu basınç kaybı için yüzeyden harcanan güç de artmaktadır. Bunun en önemli faktörü hidrostatik basıncın artmasıdır. Ayrıca kırıntıların yüzeye taşınması için de gerekli enerji artmaktadır. Bunun en önemli faktörü hidrostatik basıncın artmasıdır. Ayrıca kırıntıların yüzeye taşınması için de gerekli enerji artmaktadır.



Şekil 5.1. P1 kuyusunda sondajın ikinci aşamasında derinliğe bağlı yüzeyden harcanan gücün değişimi



Şekil 5.2. P1 kuyusunda sondajın ikinci aşamasında a) WOB, b) RPM, c) SPP, d) Debi, e) Jet hızı, f) Çamur ağırlığı, g) Sondaj ilerleme hızı, h) BPD

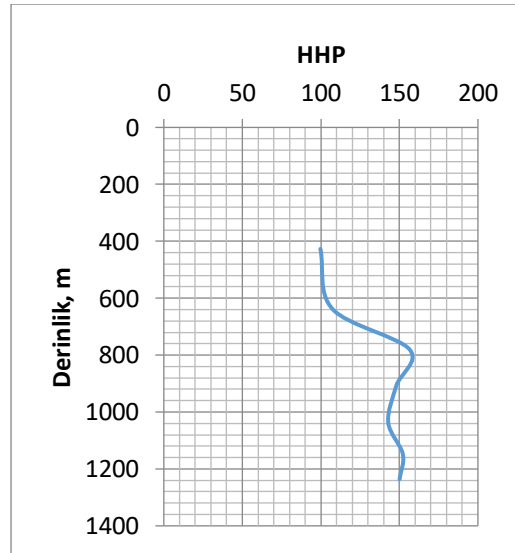
5.1.2. S1 kuyusunun sondaj ve matkap parametrelerinin değerlendirilmesi

S1 kuyusunun sondajının ikinci aşaması standart matkap ile yapılmıştır. Şekil 5.4'te görüldüğü gibi 650 m'ye kadar sondaj ilerleme hızı artmış daha sonra azalmıştır. RPM 800 m'ye kadar arttırılmış daha sonra sabit tutulmuştur. WOB ise 800 m'ye kadar artmış kısa bir süre sabit tutulduktan sonra tekrar arttırılmasına rağmen ilerleme hızında düşüş devam etmiştir. SPP çamur ağırlığına göre artma ve azalma eğilimi göstermiştir. Debi ve jet hızının paralel bir şekilde değiştiği görülmektedir.

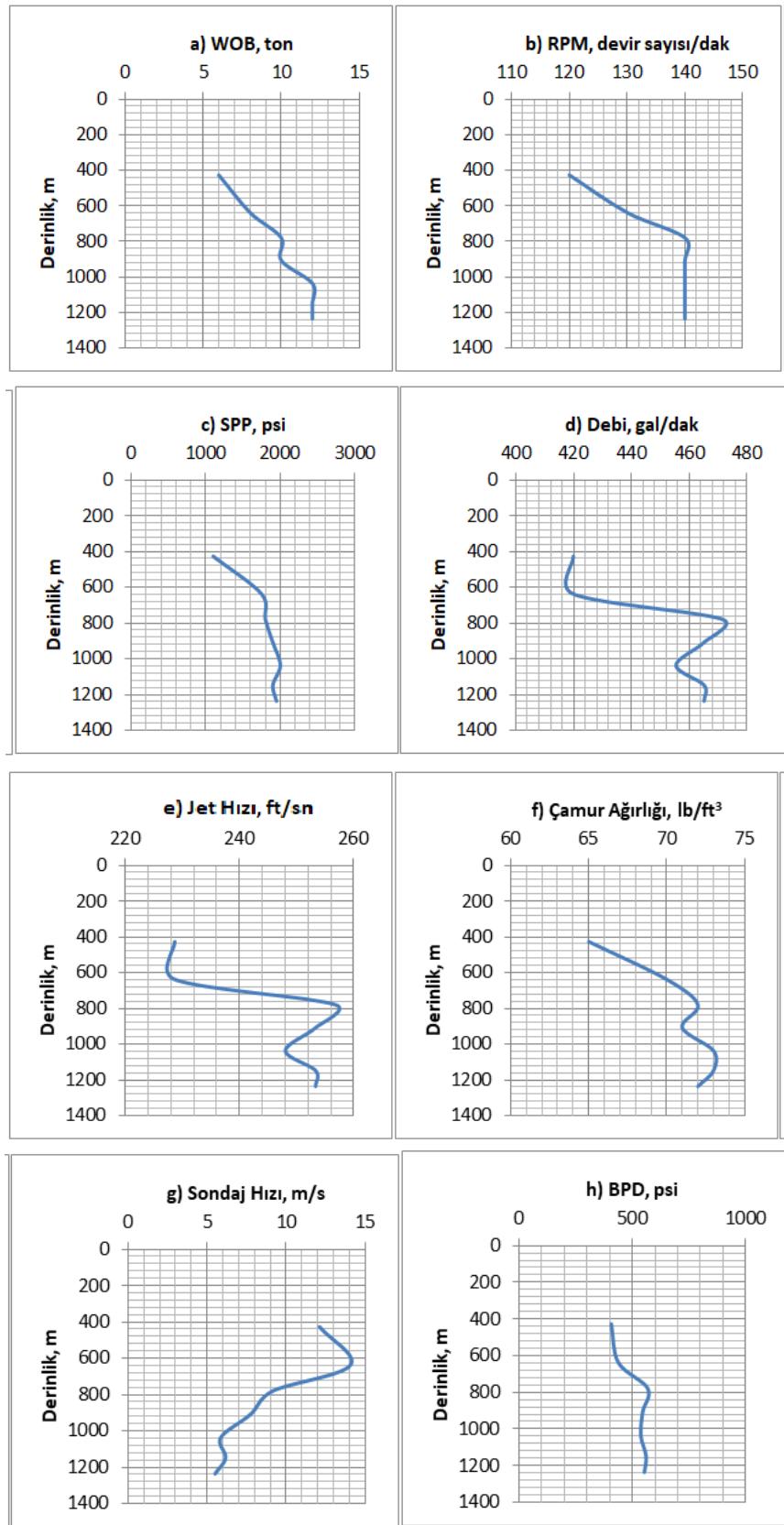
800 m'den sonra jet hızının düşmesi ilerleme hızının düşmesiyle paralel olmuştur. Matkaptaki basınç kaybı (BPD) 800 m'ye kadar artmış daha sonra sabit kalmıştır.

1000 m'den sonra WOB ve RPM sabit tutulmasına rağmen debinin arttırılması sondaj ilerleme hızını olumlu etkilediğini göstermektedir. Debinin arttırılmasıyla jet hızı da artmıştır.

Şekil 5.3'te S1 kuyusunda sondajın ikinci aşamasında derinliğe bağlı yüzeyden harcanan gücün değişimi görülmektedir. Yüzeyden harcanan gücün debi ve jet hızıyla paralel bir şekilde artıp azaldığı gözlemlenmektedir.



Şekil 5.3. S1 kuyusunda sondajın ikinci aşamasında derinliğe bağlı yüzeyden harcanan gücün değişimi



Şekil 5.4. S1 kuyusunda sondajın ikinci aşamasında a) WOB, b) RPM, c) SPP, d) Debi, e) Jet hızı, f) Çamur ağırlığı, g) Sondaj ilerleme hızı, h) BPD

5.1.3. İ1 kuyusunun sondaj ve matkap parametrelerinin değerlendirilmesi

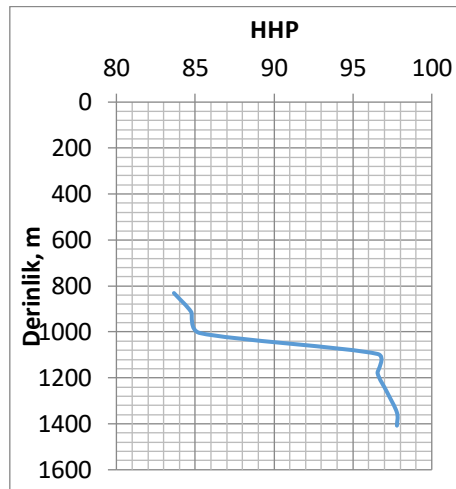
Şekil 5.6'da 1010 m'de RPM ve debi aynı anda arttırılıp daha sonra sabit kalmıştır, WOB sabit kalmış, çamur ağırlığı artmıştır. Buna karşı jet hızı debi paralelinde değişiklik göstermiştir. Ama sondaj ilerleme hızı 1010 m'den 1100 m'ye kadar sabit kalmış ardından tekrar azalma eğilimi göstermiştir.

Şekil 5.6'da sondaj ilerleme hızı 750 m'den 1150 m'ye kadar azalmış olup, 1150 m'den 1410 m'ye kadar artmıştır. RPM ve WOB sabit olmasına rağmen sondaj ilerleme hızının artması formasyon-matkap uyumunun iyi olmasını göstermektedir. Standart matkap Üst Germav ve içeriğinde sert yapıya sahip kireç taşı bulunan Garzan formasyonunda iyi performans gösterdiği görülmektedir. Çizelge 5.2'de 1150 m'den sonra Alt Germav formasyonundan Üst Germav formasyonuna geçiş olduğu görülmektedir.

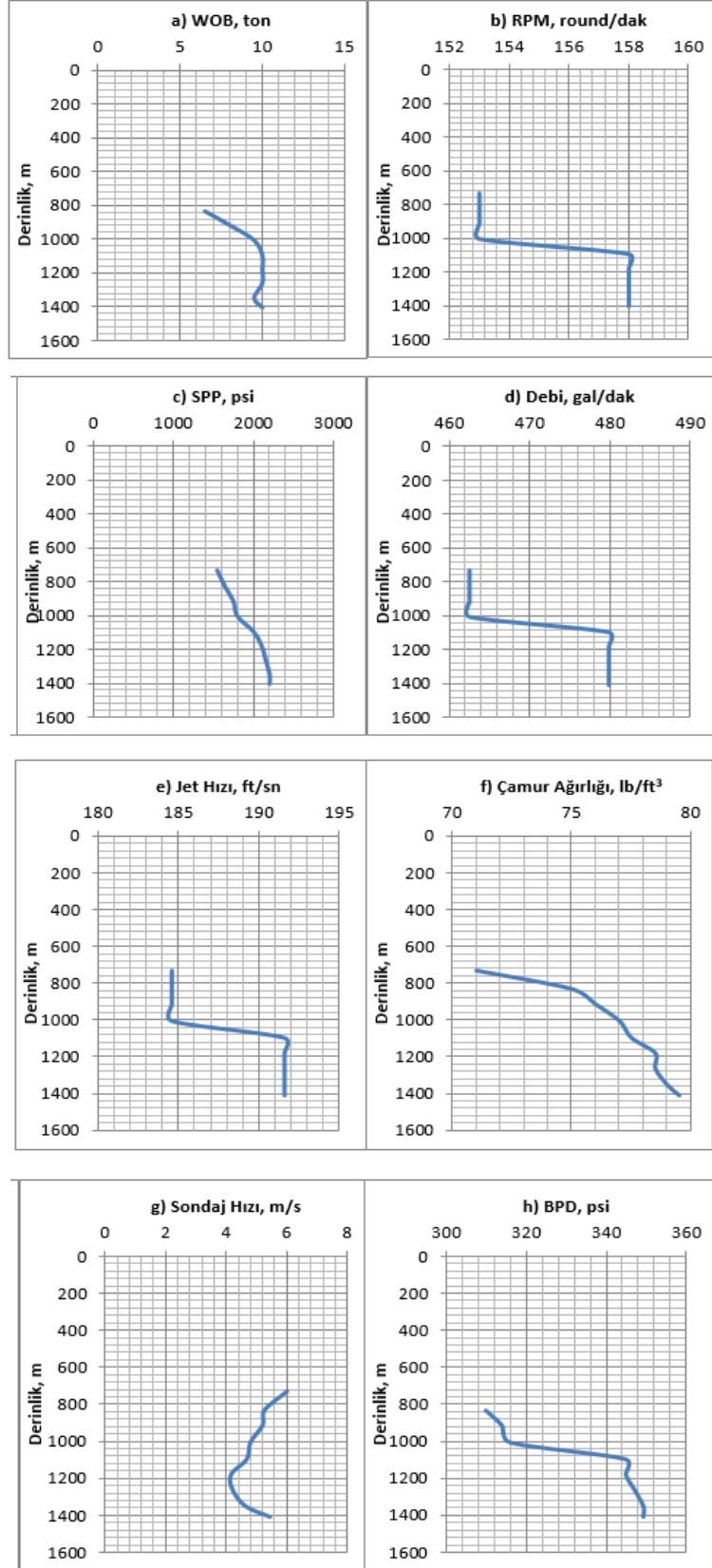
Çizelge 5.2 İ1 kuyusunda sondajın ikinci aşamasında kazılan formasyon kalınlıkları ve litolojileri

Formasyon	Üst	Alt	Kalınlık	Litoloji
Üst Germav	680	1150	620	Marn, katkılı şeyl ve kum taşı
Alt Germav	1150	1324	174	Marn, katkılı şeyl ve kum taşı
Garzan	1324	1410	86	Kireç taşı

Şekil 5.5'te İ1 kuyusunda sondajın ikinci aşamasında derinliğe bağlı yüzeyden harcanan gücün değişimi görülmektedir. Yüzeyden harcanan gücün debi ve jet hızıyla paralel bir şekilde artıp azaldığı görülmektedir.



Şekil 5.5. İ1 kuyusunda sondajın ikinci aşamasında derinliğe bağlı yüzeyden harcanan gücün değişimi



Şekil 5.6. 11 kuyusunda sondajın ikinci aşamasında a) WOB, b) RPM, c) SPP, d) Debi, e) Jet hızı, f) Çamur ağırlığı, g) Sondaj ilerleme hızı, h) BPD

5.1.4. Tüm kuyuların ortalama çamur ağırlıklarının değerlendirilmesi

Batı Raman petrol sahasında kullanılan çamur ağırlığı matkap tipinden bağımsız bir değerdir. Çizelge 5.3'te de görüldüğü üzere, çamur ağırlığı matkap tipine bağlı olmaksızın belirlenmiştir. Çizelge 4.2'de PDC matkapla yapılan sondajların çamur ağırlığı ortalaması 73,17 lb/ft³, standart matkapla yapılan sondajların çamur ağırlığı ortalaması 70,32 lb/ft³ ve İnsert matkapla yapılan sondajların çamur ağırlığı ortalaması 73,30 lb/ft³. Çamur ağırlığı matkap tipinden bağımsız olduğu için Çizelge 5.3'te de üç tip matkapla yapılan sondajların çamur ağırlığı ortalamalarının birbirine çok yakın değerler olduğu tespit edilmiştir. Çizelge 5.3'te PDC matkapla yapılan sondajların ortalaması 9,17 m/s hızla en yüksek ilerleme hızına sahip olduğu görülmektedir. Bunun sebebi olarak matkap-formasyon uyumu olduğu söylenebilir. Daha sonra ortalama 6,88 m/s hızla standart matkap gelmektedir. En yavaş ilerleme hızına sahip insert matkap ise ortalama 5,35 m/s hız ile sondaj yapabilmektedir. Bu durumda inceleme alanında, en iyi performansı gösteren matkap tipinin PDC, daha sonra standart ve en sonda insert matkap olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.3. İncelenen tüm kuyuların sondaj ilerleme hızı ve çamur ağırlıkları ortalamaları (TPAO, 2018)

MATKAP TİPİ: PDC		
KUYU ADI	Sondaj Hızı (ort), m/s	Çamur Ağırlığı (ort), lb/ft ³
P-1	8,7	70,5
P-2	9,0	72,4
P-3	8,2	70,9
P-4	9,4	77,7
P-5	10,7	74,3
ORTALAMA	9,2	73,1
MATKAP TİPİ: STANDART		
KUYU ADI	Sondaj Hızı(ort), m/s	Çamur Ağırlığı(ort), lb/ft ³
S-1	8,7	70,9
S-2	6,9	69,9
S-3	6,2	70,5
S-4	5,3	69,0
S-5	7,3	71,4
ORTALAMA	6,9	70,3
MATKAP TİPİ: İNSERT		
KUYU ADI	Sondaj Hızı(ort), m/s	Çamur Ağırlığı(ort), lb/ft ³
İ-1	4,9	75,3
İ-2	5,5	71,5
İ-3	5,6	75,4
İ-4	5,4	70,9
ORTALAMA	5,4	73,3

5.1.5. Tüm kuyuların ortalama debilerinin değerlendirilmesi

Çizelge 5.4'te PDC matkap ile kazılan kuyuların ortalama debisi 457,28 gal/dak, standart matkap ile kazılan kuyuların ortalama debisi 415,71 gal/dak ve insert matkap ile kazılan kuyuların ortalama debisi 416,26 gal/dak olduğu görülmektedir.

PDC matkap ile yapılan sondajlarda debinin diğer matkap tiplerine göre daha fazla olmasının sebepleri; ilerleme hızının yüksek olması, kuyu temizliği ve matkaptaki basınç kaybını (BPD) yüksek tutmak, diğer matkaplara göre temas yüzeyinin daha fazla olması nedeniyle matkabı daha iyi soğutmak ve kesintileri matkaptan daha kısa sürede uzaklaştırmak içindir. En önemli nedeni ise PDC matkapların toplam jet alanı insert ve standart matkaba göre daha çok olmasıdır. Çünkü genelde Batı Raman sahasında PDC matkaplarda 6 adet 11/32" çapında jet bulunurken standart ve insert matkaplarda ise 3 adet 14/32" çapında jet kullanılmaktadır. Ayrıca Formül (3.16)'dan PDC matkabın toplam jet alanı 0,557 inç², standart ve insert matkabın ise 0,278 inç² olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.4. İncelenen tüm kuyuların debi ortalamaları (TPAO, 2018)

PDC		Standart		İnsert	
KUYU ADI	Debi(ort), gal/dak	KUYU ADI	Debi(ort), gal/dak	KUYU ADI	Debi(ort), gal/dak
P-1	390,2	S-1	451,7	İ-1	473,4
P-2	441,7	S-2	410,2	İ-2	411,8
P-3	439,4	S-3	421,5	İ-3	355,3
P-4	509,4	S-4	424,1	İ-4	424,5
P-5	505,7	S-5	370,9		
ORT.	457,3	ORT.	415,7	ORT.	416,2

5.1.6. Üç matkap tipi için ortalama WOB değerleri

Çizelge 5.5'te de görüldüğü gibi WOB matkap tipine bağlı olarak değişmiştir. Çünkü matkabın çalışma performanslarından ve yapısından dolayı WOB matkap tipine göre değişebilmektedir. Çizelge 5.5'te görüldüğü üzere, PDC matkapla yapılan sondajlarda ortalama 4,5 ton ağırlık ile en düşük WOB'un uygulandığı görülmektedir. Sonrasında ortalama 9,8 ton ağırlıkla standart matkap gelmektedir. En yüksek WOB'a sahip insert matkap ise ortalama 10,9 ton ağırlık ile sondaj yapabilmektedir. Bu durumda

inceleme alanında WOB açısından en iyi performansı gösteren matkap tipi en düşük WOB ile PDC daha sonra standart en sonda insert matkap olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.5. İncelenen tüm kuyuların sondaj ilerleme hızı ve WOB ortalamaları (TPAO, 2018)

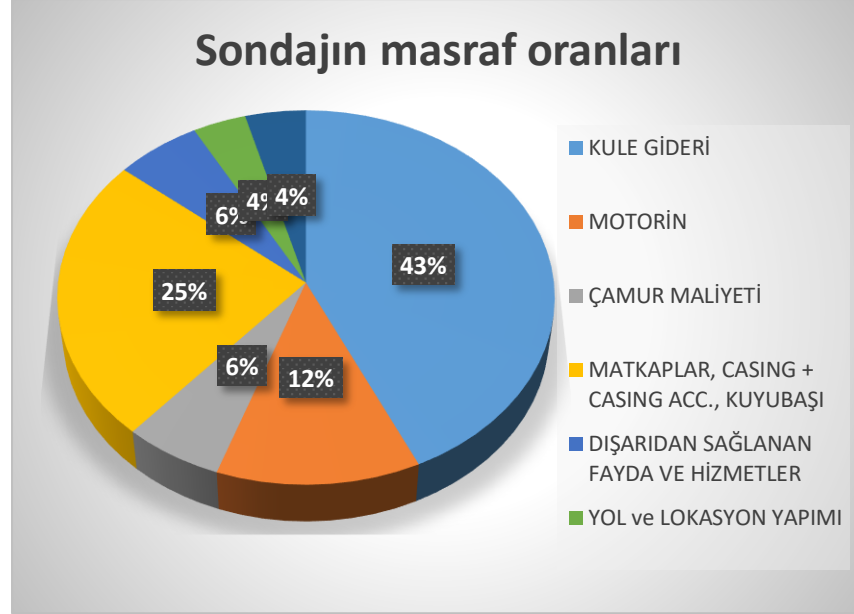
MATKAP TİPİ: PDC		
KUYU ADI	Sondaj Hızı (ort), m/s	WOB (ort), ton
P-1	8,7	5,1
P-2	9,0	3,8
P-3	8,2	4,6
P-4	9,4	3,8
P-5	10,7	5,1
ORTALAMA	9,2	4,5
MATKAP TİPİ: STANDART		
KUYU ADI	Sondaj Hızı (ort), m/s	WOB (ort), ton
S-1	8,7	10,3
S-2	6,9	10,9
S-3	6,2	8,4
S-4	5,3	9
S-5	7,3	10,5
ORTALAMA	6,9	9,8
MATKAP TİPİ: INSERT		
KUYU ADI	Sondaj Hızı (ort), m/s	WOB (ort), ton
İ-1	4,9	9,3
İ-2	5,5	12
İ-3	5,6	11,4
İ-4	5,4	10,8
ORTALAMA	5,4	10,9

5.1.7. Üç matkap tipi için sondaj birim maliyeti

TPAO’da sondaj birim maliyeti; casing operasyonu, lokasyon, nakliyat harcamaları, kule ve ekipmanlarının günlük ücreti, sondaj dizisi, motorin kullanımı, çamur kimyasalları, matkap kullanımı, hasardan dolayı gecikme, log alma, kuyu testi, kuyu başı, çimentolama operasyonu, casing sıkma makinesi (power tong) kullanımı (personel ücreti dahil), vinç ile ekstra ulaşım, tır ve tanker ile ekstra nakliyat ve idari maliyetler (kuyu planlama, operasyon ve sondaj yönetimi, proje yönetimi, seyahat ve binalar, vergiler ve ilgili maliyetler, banka masrafları, sigorta, iletişim, muhasebe ekibi, ofisler, araç kiralama, gümrükleme, vb.) giderleri baz alınarak hesaplanır (TPAO, 2018). Şekil 5.5’te görüldüğü gibi sondajı yapılan bir kuyunun gider oranları verilmiştir.

Bu durumda sondajda en fazla kule gideri, en az da yol ve lokasyon gideri olduğu söylenebilir.

Şekil 5.5. TPAO'nun sondajını yaptığı bir kuyunun gider oranları (TPAO, 2018)



Batı Raman petrol sahasında kule giderleri, personel ve lokasyon masrafları hariç tutularak hesaplanan matkap tipine göre sondaj metre maliyetleri Çizelge 5.6'da verilmiştir. Çizelge 5.6'da sondajın ikinci aşamasının birim maliyeti açısından PDC matkabın insert ve standart matkap tipine göre en az maliyete sahip matkap olduğu görülmektedir. Burada en önemli faktör PDC matkapla yapılan sondajın ilerleme hızının en yüksek olmasıdır. Kuyu kazılırken yapılan toplam fiili sondaj süresine de baktığımızda en az süre sahip matkap yine PDC matkap olduğu görülmektedir (Çizelge 5.7). Ayrıca bu sahada yapılan sondajlarda en yüksek maliyete insert matkabın sahip olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 5.6. Matkap tipine göre sondajın ikinci aşamasındaki birim maliyeti (TPAO, 2018)

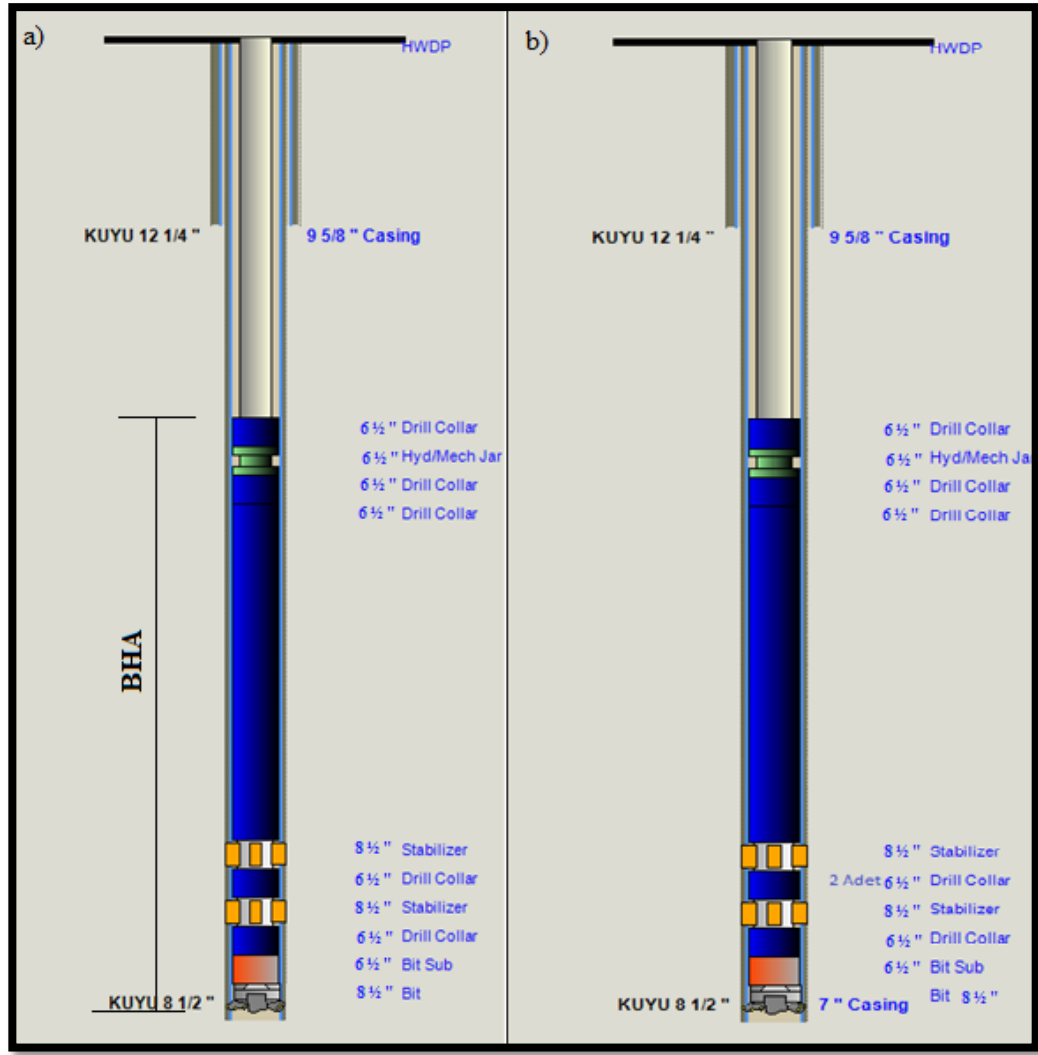
PDC		Standart		İNSERT	
KUYU ADI	Birim maliyeti, USD/m	KUYU ADI	Birim maliyeti, USD/m	KUYU ADI	Birim maliyeti, USD/m
P-1	46,4	S-1	61,9	İ-1	84,1
P-2	47,0	S-2	76,7	İ-2	78,6
P-3	48,4	S-3	77,4	İ-3	79,4
P-4	47,6	S-4	65,9	İ-4	77,3
P-5	38,4	S-5	54,2		
ORT.	45,6	ORT.	67,3	ORT.	79,8

Çizelge 5.7. Matkap tipine göre sondajın ikinci aşamasındaki birim maliyeti (TPAO, 2018)

PDC		Standart		İnsert	
KUYU ADI	Fiili Sondaj süresi, saat	KUYU ADI	Fiili Sondaj süresi, saat	KUYU ADI	Fiili Sondaj süresi, saat
P-1	173,5	S-1	204,5	İ-1	331,5
P-2	181,5	S-2	201	İ-2	182
P-3	191	S-3	245	İ-3	232,5
P-4	179,5	S-4	269	İ-4	240
P-5	171	S-5	220,5		
ORT.	179,3	ORT.	228	ORT.	246,5

5.1.8. Sondaj dizisi dizilimi (BHA) ve sapma kontrolü

Sondajın sağlıklı devam etmesi için BHA (sondaj dizisi dizilimi) dizaynı çok büyük önem arz etmektedir. Bunun birçok nedeni bulunmaktadır. Kuyu sapmaması, nötr noktasının DC'lerin üzerine denk gelmesi, kuyunun çökmemesi, dizinin sıkışmaması ve kopmaması için BHA'nın doğru yapılması gerekiyor. Batı Raman petrol sahasında PDC matkapla kazılan ilk kuyularda sapma sorunu görülmüştür. TPAO'dan alınan verilere göre PDC matkap ile kazılan ilk kuyuların bazılarında 1° , $1 \frac{1}{4}^{\circ}$, $1 \frac{1}{2}^{\circ}$, $1 \frac{3}{4}^{\circ}$ ve $2,3^{\circ}$ sapmalar görülmüştür (TPAO, 2018). İki stabilizer arasına 1 adet 6 ½" lik DC bağlanırken, daha sonra BHA değiştirilerek stabilizerlar arasına 2 adet 6 ½" lik DC bağlanarak iki stabilizer arasındaki mesafe arttırılıp sapma sorunu giderilmiştir. Şekil 5.6'da eski BHA dizilimi ve sapmaya karşı BHA'sı dizayn edilen sondajın ikinci aşamasındaki BHA'nın elemanları görülmektedir. PDC matkaba verilen WOB matkaba yakın stabilizere yön vererek kuyunun sapmasına sebep olmuştur. Yeni BHA dizaynı ile ikinci stabilizer matkaptan uzaklaştırılarak sapma sorunu giderilmiştir.



Şekil 5.6. a) Eski BHA dizilimi b) Sıpmaya karşı BHA'sı dizayn edilen sondajın ikinci aşamasındaki BHA'nın elemanları (TPAO, 2018)

5.2. Batı Raman Sahası Üretim Kuyularında Matkap Jet Çapı Seçme Optimizasyonu

Uygun jet çapı seçimi sondaj ilerleme hızını önemli derecede etkilemektedir. Batı Raman petrol sahasında yapılan sondajlarda kullanılan matkap jet çapı optimizasyonu için on dört referans kuyunun verileri kullanıldı. Bu çalışmada Bingham Plastic modeli ile Batı Raman sahasında maksimum matkap hidrolik güç için en uygun matkap jet çapı hesaplandı. Maksimum jet darbe kuvveti için de elde edilen sonuçlar ya optimum ya da optimuma % 90 yakın çıkmaktadır (Bourgoyne ve ark., 1991). Bu yüzden bu çalışmada sadece maksimum matkap hidrolik güç için en uygun matkap jet çapı hesaplandı. Ayrıca sahadan alınan veriler doğru kabul edilerek hesaplamalar yapıldı.

5.2.1. P1 kuyusu için matkap jet çapı seçme optimizasyonu

P1 kuyusunun aşağıdaki sondaj verileri kullanılarak maksimum hidrolik güç ile optimum jet çapı hesabı yapıldı.

Minumum anülüs hızı (DP'nin anülüsündeki hız) 1,5 ft/s veya 2 ft/s olur. Bu çalışmada 2 ft/s yani 120 ft/dak kullanıldı.

Çizelge 5.8'de yüzey bağlantılarının türbülanslı akış dayanımına göre hazırlanan özel kombinasyonlarından P1 kuyusu ve diğer tüm kuyular için No.3 elemanları kullanılmıştır.

Çizelge 5.8. Yüzey bağlantılarının türbülanslı akış dayanımına göre hazırlanan özel kombinasyonlar

		Özel Kombinasyonlar							
		No.1		No.2		No.3		No.4	
Elemanlar		ID (inç)	L (ft)	ID (inç)	L (ft)	ID (inç)	L (ft)	ID (inç)	L (ft)
Stand Pipe		3	40	3 1/2	40	4	45	4	45
Sondaj hortumu		2	45	2 1/2	55	3	55	3	55
Swivel washpipe ve gooseneck		2	4	2 1/2	5	2 1/2	5	3	6
Kelly		2 1/4	40	3 1/4	40	3 1/4	40	4	40
Sondaj Borusu (DP)									
OD (inç)	Ağırlık (lbm/ft)	Sondaj borusu 1 feet'e eşdeğer uzunluktaki yüzey bağlantıları							
3 1/2	13,3	437		161					
4 1/2	16,6			761		479		340	
5	19,5					816		579	

Çizelge 5.9. P1 kuyusunun sondaj dizisi, pompa özellikleri ve kule tipi

Sondaj Dizisi		Yüzey Ekipmanı, Tipi: No.3		Pompa özellikleri	
DP Dış Çap (inç)	4,5	Stand pipe İç Çap, ID, (inç),	4	Tipi	2 ADET DRILLMEC,9T800
DP İç Çap (inç)	3,826	Stand pipe uzunluk, L (ft)	45	Liner size, inç	6
DP Birim ağırlık (lbm/ft)	16,6	Drilling hose İç Çap, ID, (inç),	3	Max. Basınç, psi	2872
DC Dış Çap (inç)	6,5	Drilling hose uzunluk, L (ft)	55	Max. Güç, hp,	1600
DC İç Çap (inç)	2,25	Swivel washpipe ve gooseneck İç Çap, ID, (inç),	2,5	Verimlilik, E	0,95
DC Uzunluk (ft)	413	Swivel washpipe ve gooseneck uzunluk, L (ft)	5	Kule Tipi	
HWDP Dış Çap (inç)	4,5	Kelly İç Çap, ID, (inç),	3,25	NAT-750	
HWDP İç Çap (inç)	2,75	Kelly uzunluk, L (ft)	40		
HWDP Uzunluk (ft)	303	Kuyu çapı (inç)	8,5		

P1 kuyusunun sondajında kullanılan sondaj dizisi, pompa özellikleri ve kulenin adı Çizelge 5.9’de verilmiştir. Bu kuyunun sondajında 2 adet Drillmec-9T800 pompa kullanılmıştır.

Çizelge 5.10’da derinliğe bağlı çamurun ağırlığı, plastik viskozitesi ve yield point değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.10. P1 kuyusunun derinliğe bağlı çamur özellikleri

Derinlik	Çamur		
	Ağırlığı, lbs/gal	Plastik Viskozite, cP	Yield Point, lbf/100 sq ft
3278	9,6	22	27
4278	9,5	20	25

P1 kuyusunda sondajın ikinci aşamasında kullanılan matkabın jet çapı seçme optimizasyonu için yapılan hesaplamaların;

1.Adımı

Formül (3.13) ile maksimum debi bulunur.

$$q_{max} = \frac{1714 * P_{HP} * E}{p_{max}} = \frac{1714 * 1600 * 0,95}{2872} = 907 \text{ gal/dak}$$

2.Adımı

Basitleştirilmiş bir çözüm tekniği arzu edildiğinden, maksimum matkap beygir gücü için m=1,75 değeri kullanılır.

Formül (3.12) ile parasitik basınç değeri hesaplanır

$$\Delta p_d = \left(\frac{1}{m + 1} \right) * p_{max} = \left(\frac{1}{1,75 + 1} \right) * 2872 = 1044 \text{ psi}$$

3.Adımı

Minumum debi DP’nin anülüsüne karşılık gelir. Formül (3.14) ile minumum debi hesaplanır.

$$q_{min} = 2,448 * (d_2^2 - d_1^2) * v_{min} = 2,448 * (8,5^2 - 4,5^2) * \left(\frac{120}{60} \right) = 255 \text{ gal/dak}$$

Parasitik basınç kayıpları (parasitic pressure losses)

Parasitik basınç kayıpları minumum ve maksimum debi arasında herhangi bir uygun debide hesaplanabilir. P1 kuyusu için 500 gal/dak debisi kullanılacaktır.

Dizi içi ve anülüsün her bölümündeki sürtünme basıncı kaybı, aşağıda verilen Bingham Plastic modelinin denklemleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Sondaj borusundaki (DP) ortalama hız (Bourgoyne, 1991);

$$v_{dp} = \frac{q}{2,448 * d_{dp}^2} = \frac{500}{2,448 * 3,826^2} = 13,95 \text{ ft/s}$$

3278 ft derinlik için;

DP için Reynolds Sayısı (Bourgoyne, 1991);

$$N_{Re} = \frac{757 * \rho * v_{dp} * d}{\mu_p} = \frac{757 * 9,6 * 13,95 * 3,826}{22} = 1663875$$

Bu çalışmada her kısım için hem laminar akış hem de türbülans akış kabul edilerek ayrı ayrı basınç gradyanı hesaplandı. Büyük olan basınç gradyanı seçilip hesaplamalara devam edildi.

DP'deki basınç kaybı gradyanı (Bourgoyne, 1991);

Türbülans akış için;

$$\frac{dp_{dp(tür)}}{dL} = \frac{\rho^{0,75} * v_{dp}^{1,75} * \mu_p^{0,25}}{1800 * d_{dp}^{1,25}} = \frac{9,6^{0,75} * 13,95^{1,75} * 22^{0,25}}{1800 * 3,826^{1,25}}$$

$$= 0,124 \text{ psi/ft}$$

Laminar akış için;

$$\frac{dp_{dp(lam)}}{dL} = \frac{\mu_p * v_{dp}}{1500 * d_{dp}^2} + \frac{\tau_y}{225 * d_{dp}} = \frac{22 * 13,95}{1500 * 3,826^2} + \frac{27}{225 * 3,826}$$

$$= 0,045 \text{ psi/ft}$$

Bu durumda DP'nin içi türbülans akış kabul edilerek hesaplanan basınç gradyanı daha büyük olduğu için DP'de akış türbülanstır diyebiliriz. O halde DP'deki basınç kaybı;

$$\Delta p_{dp} = \frac{dp_{dp(tür)}}{dL} * \Delta L = 0,124 * 2563 = 317 \text{ psi}$$

DP'nin anülüsü için Reynolds Sayısı (Bourgoyne, 1991);

$$N_{Re} = \frac{757 * \rho * v_{dp} * (d_2 - d_1)}{\mu_p} = \frac{757 * 9,6 * 3,93 * (8,5 - 4,5)}{22} = 5193$$

DP'nin anülüsündeki basınç kaybı gradyanı (Bourgoyne, 1991);
Türbülans akış için;

$$\frac{dp_{dpa(tür)}}{dL} = \frac{\rho^{0,75} * v_{dpa}^{1,75} * \mu_p^{0,25}}{1396 * (d_2 - d_1)^{1,25}} = \frac{9,6^{0,75} * 3,93^{1,75} * 18^{0,25}}{1396 * (8,5 - 4,5)^{1,25}} = 0,011 \text{ psi/ft}$$

$$= 0,013 \text{ psi/ft}$$

Laminer akış için;

$$\frac{dp_{dpa(lam)}}{dL} = \frac{\mu_p * v_{dpa}}{1000 * (d_2 - d_1)^2} + \frac{\tau_y}{200 * (d_2 - d_1)}$$

$$= \frac{22 * 3,93}{1500 * (8,5 - 4,5)^2} + \frac{27}{200 * (8,5 - 4,5)}$$

$$= 0,039 \text{ psi/ft}$$

Bu durumda DP'nin anülüsünde laminer akış kabul edilerek hesaplanan basınç gradyanı daha büyük olduğu için akış laminerdir diyebiliriz. O halde DP'nin anülüs basınç kaybı;

$$\Delta p_{dpa} = \frac{dp_{dpa(lam)}}{dL} * \Delta L = 0,039 * 2563 = 100 \text{ psi}$$

Yüzey ekipmanlarındaki basınç kaybı;

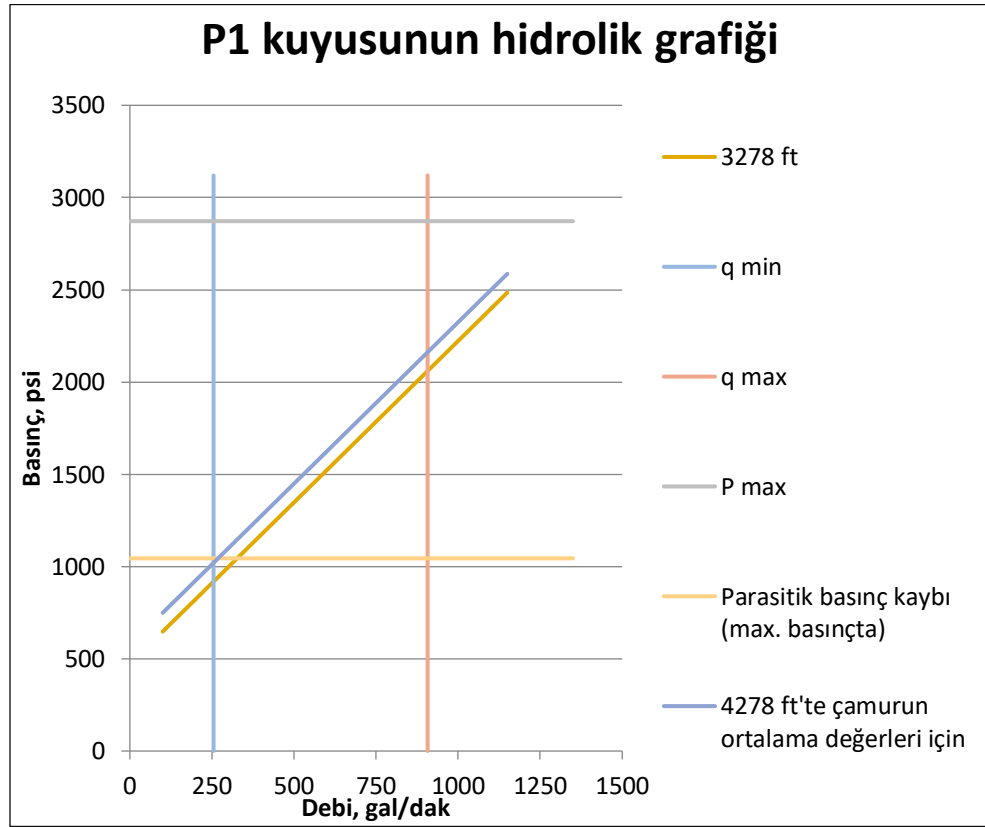
$$\Delta p_s = \Delta p_{dp} * \frac{479}{\Delta L_{dp}} = 317 * \frac{479}{2563} = 59 \text{ psi}$$

Bu prosedür daha sonra kuyunun tüm derinliklerdeki tüm kısımları için toplam parasitik basınç kayıpları hesaplamak için tekrarlandı. Bu hesaplamaların sonuçları Çizelge 5.11'de özetlenmiştir. P1 kuyusunda akışkan dizi içinin tümünde türbülans akış,

anülüsün tümünde ise laminar akış özelliği göstermiştir. Hesaplamalar ona göre yapılmıştır. Çizelge 5.11'in son satırında sondaj boyunca çamurun tüm reolojik özelliklerinin ortalaması alınarak son derinlik için hesaplanmıştır.

Çizelge 5.11. P1 kuyusunun tüm derinlikleri için basınç kayıpları

Derinlik, ft	DP'deki basınç kaybı, psi	Yüzey ekipmanların daki basınç kaybı, psi	HWDP'deki basınç kaybı	DC'deki basınç kaybı, psi	DC'nin anülüs basınç kaybı	HWDP'nin anülüs basınç kaybı	DP'nin anülüs basınç kaybı	Parasitik basınç kaybı
D	$\Delta p_{dp}(tür)$	$\Delta p_s(tür)$	$\Delta p_{hwdp}(tür)$	$\Delta p_{dc}(tür)$	$\Delta p_{dca}(lam)$	$\Delta p_{hwdpa}(lam)$	$\Delta p_{dpa}(lam)$	Δp_d
3278	317	59	180	636	43	12	100	1347
4278	426	57	174	614	39	11	127	1449



Şekil 5.7. P1 kuyusunun hidrolik grafiği

Her iki derinlikte beklenen parasitik basınç kayıpları, varsayılan 500 gal/dak'lık bir debide Şekil 5.7'de gösterilmektedir. Diğer akış hızlarında beklenen parasitik basınç kayıpları, hesaplanan noktalardan 1,75 eğimli bir çizgi çizilerek tahmin edilebilir. Uygun hidrolik koşullar, parasitik basınç kaybı hatlarının ve optimum hidrolik yolunun kesişiminden elde edilir.

Her iki derinlikte de kesişmelerin $\Delta p_d=1044$ psi (2.Adımda bulunmuştu) ve q_{min} - q_{max} aralığında meydana geldiği görülmektedir. Bu durumda 4278 ft için optimum debi q_{min} , optimum Δp_d ise q_{min} 'e karşılık gelen değer olarak bulunur.

Örnek olarak aşağıda 3278 ft derinlik için hesap yapılmıştır.

$$\Delta p_{d(opt)} = 1044 \text{ psi} \quad (\text{Şekil 5.7'den okundu})$$

$$q_{opt} = 327 \text{ gal/dak} \quad (\text{Şekil 5.7'den okundu})$$

$$\Delta p_{p(max)} = 2872 \text{ psi} \quad (\text{Çizelge 5.9'da verilmiştir})$$

$$\Delta p_{p(max)} = \Delta p_{d(opt)} + \Delta p_{b(opt)} \quad (\text{Formül (3.11)})$$

$$\Delta p_{b(opt)} = \Delta p_{p(max)} - \Delta p_{d(opt)} = 2872 - 1044 = 1828 \text{ psi}$$

Toplam jet alanı Formül (3.15) ile bulunur;

$$(A_t)_{opt} = \sqrt{\frac{8,311 * 10^{-5} * \rho * q^2}{C_d^2 * \Delta p_{b(opt)}}} = \sqrt{\frac{8,311 * 10^{-5} * 9,6 * 327^2}{0,98^2 * 1828}} = 0,220 \text{ inç}^2$$

Buradan yola çıkarak bulunan toplam jet alanı ile jet çapları Formül (3.16) ile bulunur. Burada her jetin çapı eşit varsayılırsa bir jetin çapı;

$$(A_t)_{opt} = \frac{\pi}{4} * \left(\left(\frac{d_1}{32} \right)^2 + \left(\frac{d_2}{32} \right)^2 + \left(\frac{d_3}{32} \right)^2 + \left(\frac{d_4}{32} \right)^2 + \left(\frac{d_5}{32} \right)^2 + \left(\frac{d_6}{32} \right)^2 \right) = \frac{\pi}{4} * \left(\left(\frac{d}{32} \right)^2 \right) * 6$$

$d = 6,921 \text{ inç}$ bulunur. Optimum toplam jet alanını elde etmek için;

$\frac{7}{32}$ " çapa sahip altı jet kullanılmalıdır.

5.2.2. Tüm kuyular için matkap jet çapı seçme optimizasyonu

P1 kuyusu için takip edilen prosedür daha sonra bu çalışmada verilerini kullandığımız on dört kuyunun iki farklı derinlikte tüm kısımları için optimum toplam jet alanı ve optimum jet çaplarını hesaplamak için tekrarlandı. Bu hesaplamaların sonuçları Çizelge 5.12’de özetlenmiştir. Çizelge 5.12’de ilk derinlikteki değerlerle ikinci derinlik ise sondaj boyunca çamurun tüm reolojik özelliklerinin ortalaması alınarak son derinlik için hesaplanmıştır. Bu çalışmada son derinlikte çamur reolojik değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanan jet çapı optimum olarak önerilmiştir. Batı Raman sahasında yapılan sondajların ikinci aşamasında PDC matkap kullanımına geçildiği için 6 jet üzerinden hesap yapılmıştır.

Çizelge 5.12’de de görüldüğü gibi yapılan optimizasyon ile on dört kuyunun verisi için bulunan optimum jet çapları ile bu sahada yapılacak sondajlarda daha iyi performans elde edilebileceği ve yapılacak sondajlarda en uygun matkabın kuyunun durumuna göre 6/32", 7/32" ve 8/32" çaplara sahip jetlerden oluşan 6 adet jetin yer aldığı PDC matkaplar olduğu belirlenmiştir.

Derinlik, ft	Çamur ağırlığı, lbs/gal	Optimum Debi, gal/dak	Optimum parasitik basınç kaybı, psi	Matkap takı optimum basınç kaybı, psi	Optimum toplam jet alanı, $squ(in^2)$	3 tane jetten birinin optimum çapı, inç	6 tane jetten birinin optimum çapı, inç	6 jetin çapları (Batı Raman sahasında PDC matkap kullanıldığı için 6 nozul üzerinden hesap yapıldı)						Oluşturulan toplam jet alanı	Optimum ile oluşan toplam jet alanı arasındaki fark
Batı Raman P1															
L	ρ	q_{opt}	$\Delta p_{d(opt)}$	$\Delta p_{b(opt)}$	$(A_t)_{opt}$	d1	d1	1. jet	2. jet	3. jet	4. jet	5. jet	6. jet		
3278	9,6	327	1044	1828	0,220	9,789	6,922	7	7	7	7	7	7	0,225	0,005
4278	9,5	269	1044	1828	0,180	8,845	6,254	7	6	6	6	6	6	0,176	-0,004
Batı Raman P2															
3475	9,8	297	1044	1828	0,202	9,370	6,626	7	7	7	7	6	6	0,206	0,004
4364	9,7	255	1072	1800	0,174	8,698	6,150	7	6	6	6	6	6	0,176	0,002
Batı Raman P3															
3465	9,8	315	1044	1828	0,215	9,658	6,830	7	7	7	7	7	6	0,216	0,001
4567	9,6	255	1070	1802	0,173	8,682	6,139	7	6	6	6	6	6	0,176	0,002
Batı Raman P4															
3425	10,4	255	1129	1206	0,221	9,791	6,923	7	7	7	7	7	7	0,225	0,005
4580	10,3	255	1299	1036	0,236	10,135	7,166	8	7	7	7	7	7	0,237	0,001
Batı Raman P5															
3386	10,3	255	1134	1201	0,220	9,771	6,909	7	7	7	7	7	6	0,216	-0,004
4416	10,0	255	1194	1141	0,222	9,822	6,945	7	7	7	7	7	7	0,225	0,004
Batı Raman İ1															
3596	10,5	255	1029	1074	0,234	10,095	7,138	8	7	7	7	7	7	0,237	0,003

4433	10, 5	255	1175	928	0,252	10,466	7,401	8	8	7	7	7	7	0,249	-0,004
Batı Raman İ2															
3852	10, 5	294	829	1451	0,233	10,062	7,115	8	7	7	7	7	7	0,237	0,004
4426	10, 5	243	829	1451	0,192	9,143	6,465	7	7	7	6	6	6	0,196	0,003
Batı Raman İ3															
3294	9,5	255	1381	899	0,244	10,293	7,278	8	8	7	7	7	7	0,249	0,005
4242	9,5	255	1538	742	0,268	10,795	7,633	8	8	8	8	7	7	0,272	0,003
Batı Raman İ4															
3251	9,5	255	1336	448	0,345	12,248	8,661	9	9	9	9	8	8	0,347	0,001
4242	9,5	255	1509	275	0,441	13,838	9,785	10	10	10	10	10	9	0,446	0,005
Batı Raman S1															
3402	9,8	255	1053	1227	0,212	9,589	6,780	7	7	7	7	7	6	0,216	0,004
3767	9,4	255	1075	1205	0,210	9,554	6,756	7	7	7	7	7	6	0,216	0,005
Batı Raman S2															
2497	9,2	255	1104	1176	0,210	9,556	6,757	7	7	7	7	7	6	0,216	0,005
3521	9,2	255	1257	1023	0,226	9,901	7,001	7	7	7	7	7	7	0,225	0,000
Batı Raman S3															
2585	9,2	255	1088	1192	0,209	9,522	6,733	7	7	7	7	6	6	0,206	-0,003
3609	9,3	255	1272	1008	0,228	9,955	7,039	7	7	7	7	7	7	0,225	-0,003
Batı Raman S4															
2625	9,2	255	1203	1077	0,219	9,767	6,906	7	7	7	7	7	6	0,216	-0,004
3835	9,3	255	1419	861	0,246	10,343	7,314	8	8	7	7	7	7	0,249	0,002

Batı Raman S5															
3593	9,6	255	1418	366	0,383	12,905	9,125	10	9	9	9	9	9	0,387	0,004
4452	9,5	255	1559	225	0,489	14,572	10,304	11	11	10	10	10	10	0,492	0,004

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada Batman ili Batı Raman Petrol sahasında yapılan sondaj çalışmalarında kullanılan standart, insert ve PDC matkapların sondaj performansları değerlendirilmiştir. Çalışmada ulaşılan sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

1. Bu çalışma kapsamında Batı Raman Petrol sahasında sondajı yapılan 14 kuyunun 8 ½" çapında matkap ile yapılan sondajın ikinci aşaması, performans ve sondajı etkileyen parametreler açısından değerlendirilmiştir.
2. Bu sahada sondajı yapılan formasyonlar genellikle şeyl ve marn ağırlıklı olup hedef formasyon olan Garzan formasyonu ise kireçtaşı içeriklidir. Şeyl ve marn içeriği yumuşak özellik göstermesi nedeniyle bu sahada yapılan sondajlarda kullanılan matkaplar çok fazla aşınmaya uğramadığından aynı matkap birçok kuyunun sondajında kullanılabilmektedir.
3. Yapılan optimizasyon ile on dört kuyunun verisi için bulunan optimum jet çapları ile bu sahada yapılacak sondajlarda daha iyi performans elde edilebileceği ve yapılacak sondajlarda en uygun matkabın kuyunun durumuna göre 6/32", 7/32" ve 8/32" çaplara sahip jetlerden oluşan 6 adet jetin yer aldığı PDC matkaplar olduğu belirlenmiştir.
4. Sahada kullanılması planlanan matkapların seçiminde daha önceden kazılmış referans kuyulardan alınan veriler ve formasyon tipi değerlendirilerek uygun matkap seçimi gerçekleştirilmiştir. Daha önceleri bu sahada standart ve insert matkap ile sondaj yapılırken PDC matkapların sektöre girmesiyle birlikte PDC matkaplar Batı Raman petrol sahasında kullanılmaya başlanmış ve yüksek performans alınmıştır. Bunun neticesinde Batı Raman kuyularının sondaj süresi kısalmış ve maliyetlerde azalma görülmüştür.
5. Batı Raman Petrol sahasında kazılan kuyuların sondaj parametreleri ve sondajı etkileyen faktörleri her üç matkap tipi için değerlendirilmiş ve sonuç olarak PDC matkap kullanımı her anlamda daha verimli olduğu ve düşük maliyetli kuyular kazılmasına sebep olmuştur.
6. Batı Raman petrol sahasında yapılan sondajların ikinci aşamasında kullanılan çamurun ağırlığı genellikle 66 Ib/ft³ ile başlanıp 74-76 Ib/ft³ ile bitirilmiştir. Çamur ağırlaştırma işleminin temel amacı kuyu stabilitesini sağlayıp kuyunun

yıkılmasını önlemektir. Sondaj hızına çamur ağırlığının etkisi bu sahada yapılan sondajlarda düşüktür. Aralarında ilişki kurabilmek için çamur ağırlığı farkı yeterli aralıkta olmadığından bu saha özelinde bu ilişki net olarak görülememektedir. Ayrıca bu değer matkap seçiminden bağımsız bir parametredir.

7. Batı Raman petrol sahasında yapılan sondajlarda verilen debi her üç matkap tipi için birbirinden farklı olup PDC matkap kullanılan kuyularda daha fazla debiye ihtiyaç duyulmuştur. Bunun sebebi, ilerleme hızının yüksek olması, kuyu temizliği ve matkaptaki basınç kaybını (BPD) yüksek tutmak, diğer matkaplara göre temas yüzeyinin daha fazla olması nedeniyle matkabı daha iyi soğutmak ve kesintileri matkaptan daha kısa sürede uzaklaştırmaktır.
8. Batı Raman petrol sahasında kazılan kuyularda derinlik arttıkça dizi içi ve anülüs basınç kayıplarının arttığı görülmüştür. Buna sebep olarak debi artışı ve derinlikle birlikte dizi içi ve anülüs hacminin artması gösterilebilir.
9. Her üç matkap için matkaptaki basınç kayıpları (BPD) incelenmiştir. Matkap üzerinde kullanılan jet çapına ve debiye bağlı olarak matkaptaki basınç kaybının değiştiği görülmüştür. Jet çapı küçüldükçe sabit debide matkaptaki basınç kaybının arttığı, büyüdüğü azaldığı görülmüştür. Aynı jet bağlı matkapta yine debinin artmasıyla matkaptaki basınç kaybının arttığı ve debinin azalmasıyla azaldığı görülmüştür.
10. Batı Raman petrol sahasında kazılan kuyuların sondaj maliyeti açısından her üç matkap tipi değerlendirilmiştir. İncert matkabın ortalama birim maliyeti 76,27 USD/m, standart matkabın ortalama birim maliyeti 67,25 USD/m ve PDC matkabın ortalama birim maliyeti 45,56 USD/m'dir. Bu değerlendirme sonucunda PDC matkap ile yapılan sondajın birim maliyetinin en düşük olduğu tespit edilmiştir.
11. Genellikle PDC matkaplar insert ve standart matkaba göre düşük WOB'te daha iyi performans gösterdiği bilinmektedir. Batı Raman petrol sahasında da bu durum görülmüştür. İncelediğimiz on dört kuyuda sondajın ikinci aşamasında her üç tip matkabın WOB ortalaması hesaplanmış ve insert matkapla yapılan sondajın WOB ortalaması 10,85 ton, standart matkapla yapılan sondajın WOB ortalaması 9,80 ton ve PDC matkapla yapılan sondajın WOB ortalaması 4,47 ton olduğu görülmüştür.

12. Jet hızı matkaptan bağımsız bir parametre olup kullanılan jet çapına ve debiye bağlı bir değerdir. Jet çapı küçüldükçe sabit debide jet hızının arttığı, büyüdüğü azaldığı görülmüştür. Aynı jet bağlı matkapta yine debinin artmasıyla jet hızının arttığı ve debinin azalmasıyla azaldığı görülmüştür.
13. Batı Raman petrol sahasında yapılan sondajlarda yüksek tork değerleri görülmemektedir. Bununla birlikte genel olarak yapısı itibariyle PDC matkaplar standart ve insert matkaplara göre daha yüksek torkların görülmesine neden olmaktadır.
14. Batı Raman petrol sahasında yapılan sondajlarda PDC matkapların kullanılması fiili sondaj süreleri hesaplanıp kıyas yapılarak diğer iki matkaba göre sondajların daha kısa sürede tamamlanmasına sebep olduğu ortaya çıkmıştır. Bu da hem kuyuların daha sorunsuz kazılmasına hem de PDC matkabın maliyet açısından insert ve standart matkaba göre daha avantajlı olduğunu gösterir.
15. Kuyu kazılırken sondajın en kısa sürede bitirilmesi hedeflenir. Ancak olması gereken ilerleme hızının yüksek olmasıyla bereaber sondajın sağlıklı bir şekilde yapılmasıdır. Batı Raman petrol sahasında PDC matkap ile sondaja başladıktan sonra kuyuların sondajı kısa sürede bitse de ilk kuyularda sapma sorunu görülmüştür. BHA dizaynı değişikliği ile bu sapma sorunu çözülmüştür.

5.2. Öneriler

1. Üst ve alt germav formasyonlarında şeylin şişme problemleri nedeniyle kuyu stabilitesini korumak için sık sık short trip yapılmasında fayda vardır. Üst germav formasyonunda yıkıntı problemi gözlenmiş, yıkıntının olmaması için su kaybının düşük pH'ın yüksek tutulmasında fayda vardır. Sondaj esnasında çamur özellikleri kontrol altında tutulmalı, özellikle su kaybı 5-6 cc, pH 9-9.5 civarı tutulmasına dikkat edilmelidir. Ayrıca sondaj sırasında sondaj çamurunun viskozitesi artmasına karşı kulede inceltici hazır bulundurulmalıdır.
2. PDC matkap ile ilerleme çok yüksek olduğundan dolayı kelly bitimlerinde hareketli şekilde 20 dk sirkülasyon yapılması kuyu temizliği açısından önemlidir. PDC matkap ile çalışıldığında günlük metraj fazla olduğundan dolayı ton-mil hesaplarına dikkat edilmelidir. PDC matkap ile ilerleme 2 m/saat in altına düşmesi durumunda, matkap zorlanmamalı ve daha sert formasyona uygun matkap ile sondaja devam edilmesinde fayda vardır. Özellikle Gercüş,

Üst Germav ve Alt Germav sondajı yapılırken sıklıkla short trip yapılması operasyonun sağlıklı bir şekilde yürümesini sağlayacaktır.

3. Yüksek ROP değerleriyle sondaj yapılması, kuyuda sapmalara yol açmaktadır, bu sapmalar yönlendirme operasyonu esnasında zaman kaybına sebep olmaktadır. Bu sebeple dik kuyu kazılırken sapmaya dikkat edilmesi gerekmektedir.
4. Yüksek ilerleme hızından dolayı oluşan sapmayı en aza indirmek için çalışılabilen minimum WOB ve yeni dizayn edilmiş BHA ile sondaj yapılması önemlidir.
5. Çamurun uzun süre hareketsiz kaldığı zamanlarda Germav formasyonundan ötürü çamur viskozitesinin çok arttığı gözlenmiştir. Bu problemin önüne geçmek için tam çıkış önceleri çamur ıslah edilmeli ve su kaybı düşürülmelidir.
6. Katı madde kontrolünü sağlamak ve çamura karışan ağır petrolü ayırmak için decander sürekli çalıştırılmalıdır.
7. 8 ½" section kuyu sondajında dikkat edilmesi gereken, çamurun taşıma kapasitesinin maksimum noktada tutulmasıdır. Çünkü birim zamanda yapılan sondaj yüksek olduğundan, çamur değerlerimiz bunu desteklemelidir.
8. 12 ¼ " kuyuda 50 m de anlık olarak 120 bbl/hr başlayan tedrici kaçak miktarı saman müdahalesi sonrasında 10 bbl/hr a kadar düşmüştür. 155 m de tam kaçak sonucu kesilen sirkülasyon saman müdahalesiyle yeniden sağlanabilmiştir. Kaçak tedrici olarak (~ 20 bbl/hr) Hoya formasyonunun bitimine kadar devam etmiştir. Bu sebeple kuyu başlangıcında kaçak ile mücadele malzemelerinin hazır bulundurulmasında fayda vardır. Kaçağı kesmek amacıyla saman müdahalesi gerekli olabileceğinden olabildiğince büyük çapta jet seçilmesi önerilir.

KAYNAKLAR

- Adams, N., 2011, Drilling Problems. In: Fundamentals of Drilling Engineering, Ed.: Mitchell, R.F., Miska, S.Z., 1. Edition, Society of Petroleum Engineers, USA, p.: 640
- Alkinani, H. H., Al-Hameedi, A. T., Flori, R. E., Dunn-Norman, S., Hilgedick, S. A., & Alsaba, M. T. 2018, April 22. Updated Classification of Lost Circulation Treatments and Materials with an Integrated Analysis and their Applications. Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/190118-MS.
- Anonymous-1, 2018, <https://science.howstuffworks.com/environmental/energy/oil-drilling4.htm> [online] [Ziyaret Tarihi: 5 Aralık 2018].
- Anonymous-2, 2016, What is Top Drive System? [online] <http://www.drillingformulas.com/what-is-top-drive-system/> [Ziyaret Tarihi: 5 Aralık 2018].
- Anonymous-3 2018 Mud Circulation System [online] https://www.osha.gov/SLTC/etools/oilandgas/drilling/mud_system.html [Ziyaret Tarihi: 5 Aralık 2018].
- Anonymous-4, 2018, HHP, <https://www.glossary.oilfield.slb.com/en/Terms/h/hhp.aspx> [online] [Ziyaret Tarihi: 5 Aralık 2018].
- Anonymous-5, 2019, Preparing to Drill, [online] <http://shaleintl.com/drilling-for-oil/> [Ziyaret Tarihi: 5 Aralık 2018].
- Anonymous-6, 2018, TCB Cone Geometry Design, [online] <https://drilling-manual.blogspot.com/2017/11/tcb-cone-geometry-design.html> [Ziyaret Tarihi: 5 Aralık 2018].
- Anonymous-7, 2018, Short Trip, [online] https://glossary.oilfield.slb.com/Terms/s/short_trip.aspx [Ziyaret Tarihi: 5 Aralık 2018].
- Araç, M., 1981, Malahermo sahası Alt Sinan-Garzan Formasyonlarının litoloji ve mikrofasiyes incelemesi: TPAO Araştırma Merkezi, Rapor no. 374, 8 s.
- Araç, M. ve Öncü, H.. 1988, Oyuktaş-Bada sahaları ile D. Silivanka-1 ve Hayat-1 kuyuları arasında kalan alanda Kampaniyen-Mestriştiyen yaşlı birimlerin yer altı jeolojisi ve hidrokarbon potansiyeli: TPAO Arama Grubu, Rapor no. 2541, 99 s.
- Babadagli, T., Sahin, S., Kalfa, U., Celebioglu, D., Karabakal, U., & Topguder, N. N. (2009). Evaluation of steam injection potential and improving ongoing CO2 injection of the Bati Raman field, Turkey. Journal of Petroleum Science and Engineering, 68(1-2), 107-117.

- Bahari, A. and Seyed, A.B. 2009, Drilling Cost Optimization in a Hydrocarbon Field by Combination of Comparative and Mathematical Methods. *Petroleum Science*, 6, 451-463.
- Baker Hughes, 2012, Hughes Christensen, Drill Bit Catalog.
- Baker Hughes 2013, Hughes Christensen, Drill Bit Catalog
- Bolgi, T., 1961, V. Petrol Bölgesi seksiyon ölçümleri AR/TPO/261 nolu saha ile Reşan Dodan arası batısındaki sahanın strüktürel etüdleri; TPAO Arama Grubu Rapor No.162, Ankara.
- Bolgi, T. ve Sezgin, M., 1960, İspandika-Kidil ve Kentalan-Garzan arasındaki sahaların strüktürel etüdü: TPAO Arama Grubu, Rapor no. 136, 52 s., Ankara
- Boryczko, P., 2012, Drill bit optimization in exploration well 6507/6-4a in the Nordland ridge area, (Masteroppgave/UIS-TN-IPT/2010;, Master thesis, 2010)
- Botelho, R., Barreto, J., Bello, S., Anato, W., and Uzcategui, G., 2006, Drilling Optimization at the Aloctono Block in Venezuela With the Utilization of Latest Technologies in Impregnated Bits and Turbines. Paper SPE 99602 presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, San Antonio, Texas, USA, 24–27 September. DOI: 10.2118/99602-MS.
- Bourgoyne, A.T., Chenevert, M.E., Millheim, K.K., and Young, F.S. Jr. 1991, *Applied Drilling Engineering*. Textbook Series, SPE, Richardson, Texas 2: 113–189.
- Butts, H.B., 1972, The Effect of Temperature on Pressure Losses During Drilling. MS thesis, Louisiana State University, Baton Rouge, Louisiana)
- Brandon, B.D., Cerkovnik, J., Koskie, E., Bayoud, B.B., Colston, F., Clayton, R.I., Anderson, M.E., Hollister, K.T., Senger, J., and Niemi R. 1992, First Revision to the
- Ciner, M., 2018, Sondaj Kuyularında Sapma [online], https://www.academia.edu/8404157/SONDAJ_KUYULARINDA_SAPMA [Ziyaret Tarihi: 5 Aralık 2018].
- Cunha, J. C., 2010, Technology Focus: Drilling Management (September 2010). *Journal of Petroleum Technology*, 62(09), 72-72.
- Çağlayan, B.K., 2014, Torque And Drag Applications For Deviated And Horizontal Wells: A Case Study, A Thesis Submitted To The Graduate School Of Natural And Applied Sciences Of Middle East Technical University
- Delafon, H. and Bannerman, J. 1989, Extended Jets and Gauge Drilling are Keys to Bit Design in Alwyn 171/2 , The 1989 IADC/SPE Drilling Conf., Febr.28-March 2, New Orleans pp.114-126.

- Duran, O., Şemşir, D., Sezgin, İ. ve Perinçek, D., 1988, Güneydoğu Anadolu'da Midyat ve Silvan Gruplarının stratigrafisi, sedimantolojisi ve petrol potansiyeli; *TPJD Bülteni*, cilt 1/2, 99-126.
- Duran, O., Şemşir, D., Sezgin, İ. Ve Perinçek, D., 1989, Güneydoğu Anadolu'da Midyat ve Silvan Gruplarının stratigrafisi, sedimantolojisi ve paleocoğrafyası, paleontolojisi, jeoloji tarihi, rezervuar ve diyajenez özellikleri ve olası petrol potansiyeli: TPAO Arama Grubu, Rapor no. 2563, 78 s., Ankara.
- Eckel, J.R. 1968. Microbit Studies of the Effect of Fluid Properties and Hydraulics on Drilling Rate, II. Paper SPE 2244 presented at the SPE Annual Meeting, Houston, 29 September–2 October. DOI: 10.2118/2244-MS.
- Ergin H., Acaroğlu Ö., Toker M., Ergener B., Akkriş D., 2016, Rotari Sondaj Matkaplarının Optimum Seçimi Ve İşletilmesi İçin Yeni Bir Yöntem, Madencilik, Cilt 55, Sayı 1, Sayfa 27-34, Mart 2016
- Eren, Y., Nalbantçılar, M.T., Beyaz, T., Dinç, S., Ünal, M., Arslan, Ş. ve Polat, S., 2012, Esentepe (Gültepe/Batman) Çukurunun Oluşum Mekanizması, Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi, 1 (2), 385-394.
- Gent, J., Isenhour, J., Freeman, M., Hale, M., Lyons, N., 2009, Advanced PDC Technologies Deliver Significant Performance Improvements in the Pinedale Anticline Production Interval, Paper SPE 119423 presented at the SPE/IADC Drilling Conference and Exhibition held in Amsterdam, The Netherlands, 17 – 19 March 2009, page 5
- Górski, W., 2007, Dobieranie narzędzi i osprzętu wiertniczego, 311[40].Z1.02.
- Göktekin, A., 1983, Sondaj tekniği. TC İTÜ Kütüphanesi.
- Görür, N. ve Akkök, R., 1982, Güneydoğu Anadolu bindirme kuşağı boyunca Midyat Formasyonu'nun sedimantolojik özellikleri; TPAO Arama Grubu Rapor No. 1698, 72 s., Ankara
- Gümüş, S., Araç. M., Yılmaz, E., Erenler, M., Giirgey, K., Güngör, H. ve Kumsal, K., 1993, Erbin-1 kuyusu değerlendirme raporu: TPAO Arama Grubu, Rapor no. 3180, 66 s.
- Güven, A., D İ Nçer, A., Tuna, M.E., Tezcan, Ü.Ş. Ve Çoruh, T., 1988, Güneydoğu Anadolu'da Mardin ve Midyat Grupları arasında yer alan birimlerin stratigrafisi (ön rapor): TPAO Arama Grubu, Rapor no. 2414, 154 s., Ankara.
- Gopalsing, P.M. 2006, Advanced Drilling Using a Dual-Bit System. Paper SPE 99478 presented at the SPE Western Regional/AAPG Pacific Section/GSA Cordilleran Section Joint Meeting, Anchorage, 8–10 May. DOI: 10.2118/99478-MS.
- Hareland, G., Bratli, R. K., Stene, F., Fagereng, S., & Jorgensen, T. 1996, Safe Mud Weight Window Predictor-Instantaneous, Pre-Planning and Post Analysis

Software. In *SPE Latin America/Caribbean Petroleum Engineering Conference*. Society of Petroleum Engineers.

- Hemphill, T., and Larsen, T. L., 1993, Hole-Cleaning Capabilities of Oil-Based and Water-Based Drilling Fluids: A Comparative and Experimental Study." SPE paper 26328 presented at the 68 th Annual Technical Conference and Exhibition of the Society of Petroleum Engineers held in Houston, Texas. Oct 3-6.
- Hughes Christensen, 1996, IADC Dull Grading System for Fixed Cutter Bits.
- Hossain M. E., ve Al-Majed, A. A., 2015, Fundamentals of Sustainable Drilling Engineering, Scrivener Publishing WILEY, ISBN 978-0-470-87817-0
- İşbilir, M., Yılmaz, E., İztan, H., Kumsal, K., Aydemir, V., Derman, A. S. ve Pilge, N., 1991, Günyayla-1 kuyusu kuyu sonu değerlendirme raporu: TPAO Arama Grubu, Rapor no. 3000, 60 s.
- Jones M. L., 1988, Eastman Christensen Company, Salt Lake City, Utah, Appl. No.: 204,683
- Karadzhova G.N., 2014, Drilling efficiency and stability comparison between Tricone, PDC and Kymera drill bits. (Masteroppgave/UIS-TN-IPT/2014;; Master thesis, 2014)
- Kahraman, S., Balcı, C., Yazıcı, S., Bilgin, N., 2000, Prediction of the penetration rate of rotary blast hole drills using a new drillability index. *Int. J. Rock Mech Min. Sci.* 37:729-743
- Kahraman S., 1995, Konili Matkaplar; Seçim Kriterleri Sınıflandırılması, ÇJJ, Maden Müh. Bölümü, ADANA
- Kaiser, M.J., 2007, A Survey of drilling cost and complexity estimation models. *Int. J. Pet. Sci. Technol.* 1, 1–22.
- Kelessidis, V., C., 2011, Drilling Hydraulics. In: *Fundamentals of Drilling Engineering*, Ed.: Mitchell, R.F., Miska, S.Z., 1. Edition, Society of Petroleum Engineers, USA, p.: 203
- Kendall, W.A. and Goins, W.C. 1960. Design and Operation of Jet Bit Program for Maximum Hydraulic Horsepower, Impact Force, or Jet Velocity. *Trans., AIME* 219: 238–247.
- Lukawski, M. Z., B. J. Anderson, C. Augustine, L. E. Capuano, K. F. Beckers, B. Livesay, & J. W. Tester, 2014, "Cost Analysis of Oil, Gas, and Geothermal Well Drilling." *Journal of Petroleum Science and Engineering*, v. 118
- Maxson, J. H., 1936, Geology and petroleum possibilities of the Hermis dome; *MTA Derleme no. 255*, Ankara.

- Mansure, A.J., Bauer, S.J., Livesay, B.J., Petty, S., 2006, Geothermal well cost analyses 2006. Geotherm Resour Counc Trans 30, 271–276.
- Mensa-Wilmot G., Mikhail B., Al-Saeedi M, et al. 2006, Innovative design process and technologies improve PDC bit performance in harsh drilling environments. Paper SPE 103983-MS presented at IADC/ SPE Asia Pacific Drilling Technology Conference and Exhibition, 13-15 November 2006, Bangkok, Thailand
- McGehee, D.H., Dahlem, J.S., Gieck, J.C., Kost, B., Lafuze, D., Reinsvold, C.H., and Steinke, S.C. 1992, The IADC Roller Bit Classification System. Paper SPE 23937 presented at the IADC/SPE Drilling Conference, New Orleans, 18–21 February. DOI: 10.2118/23937-MS.
- McLean, R.H. 1965. Velocities, Kinetic Energies, and Shear on Crossflow Under Three-Cone Jet Bits. JPT 17 (12): 1443–1448; Trans, AIME, 234. SPE-1306-PA. DOI: 10.2118/1306-PA.
- Moore, P.L. 1986, Drilling Practices Manuel, Second Edition, Oklahoma.
- Naz, H., 1986, X. Bölge Mağrip petrol sahasında maastriyen yaşlı Garzan Formasyonu sedimentolojik, diyajenetik ve rezervuar özellikleri, T.P.A.O. Arama. Grubu Rap. No:2323, 35p.
- Nicora, L.F., 2001, Hig-Density Invert-Emulsion System with Very Low Solids Content to Drill ERD and HPHT Wells. Paper SPE 65000 Presented at the SPE International Symposium on Oilfield Chemistry, held in Houston, Texas.
- Nygaard, R., Hartmann, R. A., Hareland, G., & Hellvik, S. (2008, January). Steering Response for Directional Wells in Soft Formations in Deepwater Developments. In Offshore Technology Conference. Offshore Technology Conference.
- Pgnig, 2005 Zespół Szkół Zawodowych PGNIG w Krakowie, Omówienie świdrów wiertniczych, prezentacja.
- Osgouei, R.E., 2007, Rate Of Penetration Estimation Model For Directional And Horizontal Wells. M.Sc., Ortadoğu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 83, Ankara.
- Oteri, V.A., 2010, Drilling optimization : drill bit performance optimization using DROPS simulator (Ekofisk/Eldfisk Field) (Masteroppgave/UIS-TN-IPT/2010;, Master thesis, 2010)
- Önem, Y., 1968, Derik-Mardin ve Gercüş-Germav sahalarına ait jeoloji raporu: TPAO Arama Grubu, Rapor no. 423, 30 s., Ankara.
- Ozbayoglu Y, 1979, Elmaslı Sondajlarda Kuyu Sapmaları. Bilimsel Madencilik Dergisi,18(2),33-40.

- Ozbayoglu, E., 2011, Rotary Drilling Bits. In: Fundamentals of Drilling Engineering, Ed.: Mitchell, R.F., Miska, S.Z., 1. Edition, Society of Petroleum Engineers, USA, p.: 311
- Özkara, H., Derman, Ş.O., TPAO Sondaj Daire Başkanlığı, Sondaj Uygulamaları Eğitimi, Sondaj Matkapları (15-20 Nisan 2013), Belek, Antalya
- Özüdoğru, S, Babür,E., 2001, Jeotermal Enerji Doğrudan Isıtma Sistemleri : Temelleri Ve Tasarımı Seminer Kitabı, Editör Prof. Dr. Macit TOKSOY, mmo yayın no : MMO/2001/270, ISBN 975 - 395 - 456 – 5,Ekim,2001,İzmir, Jeotermal Akışkan Üretim Ve Re-Enjeksiyon Kuyuları
- Page, S., 1946, The geology of a portion of Southeastern Anatolia between Mardin and Diyarbakır, Siirt and Cizre: MTA Derleme no. 217, 36 s., Ankara.
- Pessier, R., and Damschen, M. 2010, Hybrid Bits Offer Distinct Advantages in Selected Roller Cone and PDC Bit Applications. Paper SPE 128741 presented at the IADC/SPE Drilling Conference and Exhibition, New Orleans, 2–4 February. DOI: 10.2118/128741-MS.
- Prassl, F.W., 2007, Dipl.Ing Drilling Engineering, Curtin University of Technology
- Rabia, H. 1985, Oil Well Drilling Engineering, London.
- Rabia H 2002, Well Engineering and Construction, ISBN 0954108701.
- Sahin, S., Kalfa, U., Celebioglu, D., Duygu, E., & Lahna, H. (2012, January). A quarter century of progress in the application of CO2 immiscible EOR project in Bati Raman heavy oil field in Turkey. In SPE Heavy Oil Conference Canada. Society of Petroleum Engineers.
- Salem, R.; Eren, A., Özbahçeci, H., Araç, M., Öncü, H., İşbilir, M., Üngör, A., Yılmaz, Z., ve Yılmaz, E., 1986, Geologic and hydrocarbon evaluation of Maastrichtian sediments in central district X. Southeast Turkey, T.P.A.O. Merkezi Rapor no:1009, 53p.
- Sifferman, T.R. and Becker, T.E. 1992, Hole Cleaning in Full-Scale Inclined Wellbores, SPEDE 7 (2): 115–120. SPE-20422-PA. DOI: 10.2118/20422-PA.
- Smith Technologies, 2008 Smith Tool, “Dull Grading Manual”
- Sivagnanam, M., 2014, PDC Drill Bit Redesign and Simulation for Optimized Performance. M.Sc., University Of Calgary, Institute Of Science, 163, Alberta.
- Speer, J.W. 1958. A Method for Determining Optimum Drilling Techniques. API Drilling & Production Practice:130–147. API paper 58-130.
- Sunkar, M ve Tonbul, S., 2013, İluh Deresi Batman Havzası’nın Jeomorfolojisi, İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü Coğrafya Dergisi, 24, 38-60, İstanbul

- Super Drilling Products, 2014, Amendment No. 3 To Form S-1registration Statement Under The Securities Act Of 1933 and Superior Drilling Products, Inc., Securities And Exchange Commission Washington, D.C. 20549, Usa. https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/1600422/000114420414029260/v377937_s1a
- Tester, J.W., Anderson, B.J., Batchelor, A.S., Blackwell, D.D., DiPippo, R., Drake, E.M., Garnish, J., Livesay, B.J., Moore, M.C., Nichols, K., Petty, S., Taksoz, M.N., Veatch, R.W.J., 2006, The Future of Geothermal Energy: Impact of Enhanced Geothermal Systems (EGS) on the United States in the 21st Century, Boston, USA.
- TPAO, 2005, Sondaj Daire Başkanlığı, “Operasyon El Kitabı”, Temmuz 2005, Ankara
- TPAO, 2007, Araştırma Merkez Daire Başkanlığı Sondaj Teknolojisi Müdürlüğü, Sondaj Akışkanları Teknolojisi (Lignosülfonat Çamuru), 7.Baskı, 2012
- TPAO, 2018, TP Batman Sondaj Müdürlüğü, 11554511-622.03-E.64438 sayı 25.09.2017 tarihli Bilgi ve Belge Talepleri konulu resmi yazı ile alınan veriler, Batman
- Tomren, P.H., Iyoho, A.W., and Azar, J.J. 1986, Experimental Study of Cuttings Transport in Directional Wells. SPEDE 1 (1): 43–56. SPE-12123-PA. DOI: 10.2118/12123-PA.
- Uyar, T.T., Tekdal, G., 2013, TPAO Programlama ve Optimizasyon Müdürlüğü, Formasyonların Özellikleri ve Yaşanan Problemler (2013), Ankara
- Wang, C., Liu, G., Li, J., Zhang, T., Jiang, H., Ling, X., & Ren, K. (2018). New methods of eliminating downhole WOB measurement error owing to temperature variation and well pressure differential. Journal of Petroleum Science and Engineering, 171, 1420-1432.
- Warren, T.M., 1987, Penetration rate performance of roller cone bits, In the Proceedings of the 59th Annual Technical Conference and Exhibition Houston Texas, September 16-19
- Winters, W.J., Warren, T.M., Onyia, E.C., 1987, Roller Bit Model with Rock Ductility and Cone Offset, Paper SPE No.16696, Presented at the SPE Annual Technical Conference, Dallas, September 27-30
- Winters, W.J., and Doiron, H.H. 1987, The 1987 IADC Fixed Cutter Bit Classification System. Paper SPE/IADC 16142 presented at the SPE/IADC Drilling Conference, New Orleans, 15–18 March. DOI: 10.2118/16142-MS.
- Yalçın, A., 2000, Sondaj Yöntemleri ve Uygulamaları, TMMOB, Maden Mühendisleri Odası Yayınları, <http://yunus.hacettepe.edu.tr/odelibas>

- Yeşilova, Ç. ve Helvacı, C., 2012, Batman-Siirt Kuzeyi Stratigrafisi Ve Sedimentolojisi, TPJD Bülteni, Cilt 23, Sayı 2, Sayfa 7-49, 2012 TAPG Bulletin, Volume 23, No 2, Page 13-16, 2012
- Yılmaz, E., Duran, O. 1997, Güneydogu Anadolu Bölgesi Otokton ve Allohton Birimler Stratigrafi Adlama Sözlüğü, syf. 241, T.P.A.O. Ars. Merk. Grubu Başkanlığı Eğitim Yay. No: 31, Ankara.
- Yünsel, T.Y. "Rotary (Döner) Sondajlarda Matkap Çalışma ve Kaya Parametrelerinin İlerleme Hızı Üzerine Etkileri." Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Adana, 2001.
- Yibudongha Y., and Izuwa N., C., 2017, Bit Performance Evaluation: A Case Study Of Field A, Niger Delta, Nigeria, 1,2 Department of Petroleum Engineering, Federal University of Technology, Owerri, Nigeria 1 Drilling Engineer, NPDC, Benin, Nigeria
- Young, T.L. and Durkee, D.L. 1990, The Effect of Extended Jets and Crossflow Hydraulics with 17I/2 in. In Northern Germany, The 1990 IADC/SPE Drilling Conf., Febr.27-March 2, Houston, Texas, pp.67-75.
- Zaburunov, S, A., 1991, "Production Drilling Technologies", E & MJ, Febr., pp, 29 - 36,

ÖZ GEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ömer İMİR
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : BATMAN, 01.01.1988
Telefon : 0 534 815 06 48
e-mail : omeritu@gmail.com

EĞİTİM

Bitirme Yılı

Üniversite : İstanbul Teknik Üniversitesi, Petrol ve Doğalgaz
Mühendisliği 2012

Yüksek Lisans: Batman Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği ABD 2019

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2013-Devam ediyor	Batman Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Bölümü	Araştırma Görevlisi

UZMANLIK ALANI: Sondaj, matkap.

YABANCI DİLLER: İngilizce