

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ŞEKİL FAKTÖRÜ, KARAKTERİSTİK UZUNLUK VE
SINIR KOŞULLARININ DOĞAL SU İMBİBİSYONUNA
ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Melih GÖKMEN

Anabilim Dalı: PETROL VE DOĞAL GAZ MÜHENDİSLİĞİ

Programı: PETROL VE DOĞAL GAZ MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. H. Özgür YILDIZ

AĞUSTOS 2003

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ŞEKİL FAKTÖRÜ, KARAKTERİSTİK UZUNLUK VE
SINIR KOŞULLARININ DOĞAL SU İMBİBİSYONUNA
ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Melih GÖKMEN

505991054

Anabilim Dalı: PETROL VE DOĞAL GAZ MÜHENDİSLİĞİ

Programı: PETROL VE DOĞAL GAZ MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. H. Özgür YILDIZ

AĞUSTOS 2003

ÖNSÖZ

Dünyanın birçok ülkesinde ve özellikle ülkemizde petrol üretimi yapılan rezervuarlar doğal çatlaklı rezervuarlardır. Doğal çatlaklı rezervuarlarda ise karşımıza çıkan en baskın üretim mekanizması doğal su imbibisyonudur. İmbibisyon tanım olarak rezervuar kayacını ıslatan fazın ıslatmayan fazı ötelemesi olarak açıklanabilir. Doğal imbibisyon ise, ıslatan fazın ıslatmayan fazı sadece kılcal kuvvetler etkisiyle ötelemesi olayıdır. Bu durumda, rezervuarın çatlaklı yapılardan oluştuğunu ve bu çatlakların ise rezervuar kayacını ıslatan su fazı ile dolu olduğunu düşünürsek, doğal imbibisyon olayının petrol üretiminde önemli bir yere sahip olduğunu söyleyebiliriz.

Bu Yüksek Lisans tezinde, Berea kumtaşı karotları üzerinde yapılan doğal imbibisyon deneyleri ve doğal imbibisyona etki eden faktörlerden şekil faktörü, karakteristik uzunluk ve sınır koşullarının gazyağı/tuzlu su/Berea sistemi üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Bu tez çalışmasında araştırılan konuyu öneren ve çalışma süresince beni yönlendiren ayrıca yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen değerli danışmanım Yrd. Doç. Dr. H. Özgür Yıldız'a teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Çalışmalarım sırasında bilgi alışverişinde bulunduğum ve görüşlerini aldığım sayın jüri üyelerim Prof. Dr. Abdurrahman Satman ve Öğr. Grv. Dr. Yusuf Cesur'a yardımlarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Tüm üniversite hayatım boyunca bilgilerini aktaran ve yardımlarını sunan değerli hocalarıma, çalışmalarım sırasında sağladığı yardımlardan dolayı Arş. Grv. arkadaşım Erdem Çatak'a ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen araştırma görevlisi arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen ve yüksek lisans yapmam için beni teşvik eden sevgili aileme, üzerimdeki emeklerinden dolayı en içten saygılarımı sunar ve teşekkürlerimi iletirim.

Ağustos 2003

Melih Gökmen

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖZET	x
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. İslatımlılık	1
1.1.1. Tanım ve Belirleme	2
1.2. Doğal İmbibisyon	6
2. TEMEL TANIMLAR VE İMBİBİSYONA ETKİ EDEN FAKTÖRLER	17
2.1. Temel Tanımlar	17
2.1.1. Şekil Faktörü	17
2.1.2. Karakteristik Uzunluk	17
2.1.3. Şekil Faktörü ve Karakteristik Uzunluğun Matematiksel İfadesi	18
2.1.4. Sınır Koşulları	20
2.1.4.1. Tüm Yüzeyleri Açık Sistemler (AFO)	21
2.1.4.2. İki Ucu Kapalı Sistemler (TEC)	22
2.1.4.3. İki Ucu Açık Sistemler (TEO)	22
2.1.4.4. Bir Ucu Açık Sistemler (OEO)	23
2.1.5. Boyutsuz Zaman Kavramı	23
2.2. İmbibisyona Etki Eden Temel Faktörler	25
2.2.1. Kılcal Basıncın Etkisi	25
2.2.2. İslatımlılığın Etkisi	27
2.2.3. Akışkan Özelliklerinin Etkisi	28
3. DENEYSEL YÖNTEM	29
3.1. Yapılan Ön Çalışmalar	29
3.1.1. Karotların Kesilmesi	29
3.1.2. Karotların Boyutlandırılması	29
3.1.3. Karotların Kurutulması	30
3.1.4. Karotların Doyurulması	30
3.1.5. Gözeneklilik	30
3.1.6. Sıvı Geçirgenliği	30
3.1.6.1. EPS-DLP 100 Donanımı Tanıtımı	31
3.1.6.2. Deneyin Yapılışı	31
3.2. Akışkan Özellikleri	32
3.2.1. Çözeltilerin Hazırlanması	32
3.2.1.1. Kütle/Hacim Oranı	32
3.2.1.2. Kütle/Kütle Oranı	32
3.2.2. Gazyağı	33
3.3. Kayaç Özellikleri	33

3.4. Örneklerin Deneye Hazırlanması	34
3.5. Doğal İmbibisyon Deneysel Çalışması	34
3.5.1. Yöntemin Tanıtılması	34
3.5.1.1. Üretim Hacmi Yöntemi	35
3.5.1.2. Kütle Değişimi Yöntemi	35
3.5.2. Deneyin Yapılışı	35
4. DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	37
4.1. Geometrik Şekilin İmbibisyon Üzerindeki Etkileri	37
4.1.1. Şekil Faktörlerinin Hesaplanması	37
4.1.2. Geometrik Şekil Etkisinin Değerlendirilmesi	41
4.2. Karot Uzunluğunun İmbibisyon Üzerindeki Etkileri	45
4.3. Karakteristik Uzunluğun İmbibisyon Üzerindeki Etkileri	47
4.3.1. Karakteristik Uzunlukların Hesaplanması	47
4.3.2. Karakteristik Uzunluğun Etkisi	50
4.4. Sınır Koşullarının Doğal İmbibisyon Hızı Üzerindeki Etkileri	56
4.5. Ölçeklendirme Çalışmasının Değerlendirilmesi	59
5. SONUÇLAR	63
6. ÖNERİLER	64
7. KAYNAKLAR	65
EK-A. DOĞAL İMBİBİSYON DENEY VERİLERİ	71
ÖZGEÇMİŞ	87

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1.	Kullanılan akışkanların fiziksel özellikleri	33
Tablo 3.2.	Tuzlu su ve gazyağının yüzey ve arayüzey gerilimleri	33
Tablo 3.3.	Karotların fiziksel özellikleri	34
Tablo 4.1.	Karotların şekil faktörü değerleri	41
Tablo 4.2.	Karotların karakteristik uzunlukları	50
Tablo 4.3.	Karotların sınır koşulları	56
Tablo A.1.	BE-3 karotuna ait doğal imbibisyon deney verileri	70
Tablo A.2.	BE-92 karotuna ait doğal imbibisyon deney verileri	71
Tablo A.3.	BE-2B karotuna ait doğal imbibisyon deney verileri	72
Tablo A.4.	BE-93A karotuna ait doğal imbibisyon deney verileri	73
Tablo A.5.	BE-2A karotuna ait doğal imbibisyon deney verileri	74
Tablo A.6.	BE-1 (TEO) karotuna ait doğal imbibisyon deney verileri	75
Tablo A.7.	BE-1A (OEO) karotuna ait doğal imbibisyon deney verileri	76
Tablo A.8.	BE-81 (TEC) karotuna ait doğal imbibisyon deney verileri	77
Tablo A.9.	BE-91 karotuna ait doğal imbibisyon deney verileri	78
Tablo A.10.	BE-10 karotuna ait doğal imbibisyon deney verileri	79
Tablo A.11.	I-2 karotuna ait doğal imbibisyon deney verileri	80
Tablo A.12.	BE-91A karotuna ait doğal imbibisyon deney verileri	81
Tablo A.13.	BE-89 karotuna ait doğal imbibisyon deney verileri	82
Tablo A.14.	BE-90A karotuna ait doğal imbibisyon deney verileri	83
Tablo A.15.	I-1 karotuna ait doğal imbibisyon deney verileri	84

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1.	Petrol ve su ıslatımlı kayaçların şematik gösterimi	3
Şekil 1.2.	Islatımlılığın dereceleri	4
Şekil 1.3.	S_w - P_c grafiği şematik gösterimi	5
Şekil 2.1.	Şekil faktörü ve karakteristik uzunluğun matematiksel ifadesi	19
Şekil 2.2.	Tüm yüzeyleri akışa açık sistem	21
Şekil 2.3.	İki ucu kapalı sistem	22
Şekil 2.4.	İki ucu açık sistem	22
Şekil 2.5.	Bir ucu açık sistem	23
Şekil 2.6.	Gözenekli ortamda/kılcal tüpte kuvvetler dengesinin şematik gösterimi	25
Şekil 2.7.	Kılcal yükselmenin şematik gösterimi	26
Şekil 3.1.	Doğal imbibisyon deneyi şematik görünümü	36
Şekil 4.1.	Karot geometrileri ve deney yapılış düzeni	37
Şekil 4.2.	Silindirik karotlarda gözönüne alınan boyutlar	38
Şekil 4.3.	Kare prizma karotlarda gözönüne alınan boyutlar	39
Şekil 4.4.	Üçgen prizma karotlarda gözönüne alınan boyutlar	40
Şekil 4.5.	Uzun karotlarda geometrik şeklin imbibisyon üzerindeki etkisi	42
Şekil 4.6.	Kısa karotlarda geometrik şeklin imbibisyon üzerindeki etkisi	43
Şekil 4.7.	Aynı kaba hacime sahip farklı şekillerde karotların üretim zaman ilişkisi.	44
Şekil 4.8.	Silindirik karotlarda uzunluğun imbibisyon üzerindeki etkisi	45
Şekil 4.9.	Kare prizma karotlarda uzunluğun imbibisyon üzerindeki etkisi	46
Şekil 4.10.	Üçgen prizma karotlarda uzunluğun imbibisyon üzerindeki etkisi	47
Şekil 4.11.	Silindirik karotlarda karakteristik uzunluğun imbibisyona olan Etkisi	51
Şekil 4.12.	Kare prizma karotlarda karakteristik uzunluğun imbibisyona olan Etkisi	52
Şekil 4.13.	Üçgen prizma karotlarda karakteristik uzunluğun imbibisyona olan Etkisi	53
Şekil 4.14.	Doğal su imbibisyonu ile petrol üretiminin tekrarlanabilirliği	54

Şekil 4.15.	Aynı karakteristik uzunluğa sahip farklı şekillerde karotların üretim zaman ilişkisi	55
Şekil 4.16.	Tüm yüzeyleri akışa açık sistemler	57
Şekil 4.17.	İki ucu açık ve bir ucu açık iki sistemin imbibisyon hızı karşılaştırılması	58
Şekil 4.18.	Sınır koşullarının doğal imbibisyon hızına etkisi	59
Şekil 4.19	Silindirik karotlar için doğal imbibisyon üretim-zaman eğrileri	60
Şekil 4.20	Boyutsuz zaman-üretim ilişkisi (Mattax ve Kyte, 1962)	61
Şekil 4.21	Düzeltilmiş boyutsuz zaman-üretim ilişkisi (Zhang ve diğ., 1995)	62

SEMBOL LİSTESİ

Semboller

A	: kesit alanı, cm^2
Alan_1	: drenaj için gereken iş
Alan_2	: imbibisyon için gereken iş
A_i	: imbibisyona açık i numaralı yüzey alanı, cm^2
A_{l_i}	: i nci parçanın sol taban alanı, cm^2
A_{r_i}	: i nci parçanın sağ taban alanı, cm^2
d_{lr_i}	: sağ ve sol taban alanlarından akışa kapalı sınıra uzaklık, cm
A_T	: adhezyon gerilimi, din/cm
a	: kenar uzunluğu, cm
D	: numune çapı, cm
d_{A_i}	: A_i yüzeyinden matrix merkezine uzaklık, cm
F_s	: şekil faktörü, cm^{-2}
h	: sıvı kolonu yükselmesi, cm
I_w	: ıslatımlılık indeksi
k	: geçirgenlik, D
k_b	: tuzlu suya olan geçirgenlik, md
L	: numune uzunluğu, cm
L_c	: düzeltilmiş karakteristik uzunluk, cm
L_s	: karakteristik uzunluk, cm
m_d	: kuru karot kütlesi, g
m_{sat}	: doymuş karot kütlesi, g
n	: imbibisyona açık yüzey sayısı
PV	: gözenek hacmi, cm^3
P_c	: kılcal basınç, atm
P_w	: ıslatan faz tarafındaki basınç, atm
P_{nw}	: ıslatmayan faz tarafındaki basınç, atm
q	: akış debisi, ml/dk
R	: kümülatif petrol üretimi, %OOIP
r	: kılcal tüp yarıçapı, cm
S_{oi}	: başlangıç petrol doymuşluğu
S_{wi}	: başlangıç su doymuşluğu
S_{wim}	: imbibisyon sonrası su doymuşluğu
S_{wf}	: son su doymuşluğu

t	: imbibisyon süresi, dk
t_D	: düzeltilmiş boyutsuz zaman,
$t_{D,MK}$	: boyutsuz zaman
V	: hacim, cm^3
V_b	: kaba hacim, cm^3
V_{do}	: petrol ötelemesinden elde edilen üretim, cm^3
V_{dw}	: su ötelemesinden elde edilen üretim, cm^3
V_{io}	: petrol imbibisyonundan elde edilen üretim, cm^3
V_{iw}	: su imbibisyonundan elde edilen üretim, cm^3
V_{oi}	: $t=0$ anında karot içindeki petrol hacmi, cm^3
W_i	: $t=t_i$ anında terazide okunan değer, g
W_o	: $t=0$ anında terazide okunan değer, g
WI	: ıslatımlılık indeksi
X_{A_i}	: A_i yüzeyinden akış olmayan sınıra uzaklık, cm

Grek Semboller

Δp	: basınç farkı, atm
Φ	: gözeneklilik
ϕ	: gözeneklilik
μ	: akmaçlık, cP
μ_{gm}	: petrol akmaçlığı ve su akmaçlığının geometrik ortalaması, cP
μ_o	: petrol akmaçlığı, cP
μ_w	: su akmaçlığı, cP
θ_A	: temas açısı, derece
ρ_f	: doyurma sıvısı yoğunluğu, g/cm^3
ρ_o	: gaz yağı yoğunluğu, g/cm^3
ρ_b	: tuzlu su çözeltisinin yoğunluğu, g/cm^3
σ	: arayüzey gerilimi, din/cm
σ_{os}	: petrol ve kayaç arasındaki yüzey gerilimi, din/cm
σ_{ow}	: petrol ve su arasındaki arayüzey gerilimi, din/cm
σ_{ws}	: su ve kayaç arasındaki yüzey gerilimi, din/cm

ŞEKİL FAKTÖRÜ, KARAKTERİSTİK UZUNLUK VE SINIR KOŞULLARININ DOĞAL SU İMBİBİSYONUNA ETKİLERİ

ÖZET

Bu laboratuvar çalışmasında şekil faktörü, karakteristik uzunluk ve sınır koşulları gözönüne alınarak doğal su imbibisyonunun petrol üretimine olan etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmanın temel amacı sadece şekil faktörü, karakteristik uzunluk ve sınır koşullarının doğal imbibisyona etkilerini göstermek değil aynı zamanda da diğer ıslatımlılık çalışmalarına referans bir durum oluşturmaktır.

Ayrıca, şekil faktörü ve karakteristik uzunluk ifadeleri için genel bir matematiksel ifade geliştirilmiştir. Geliştirilen bu ifade ile düzgün olmayan geometrik şekillerdeki örneklerin şekil faktörü ve karakteristik uzunluk değerlerindeki hesaplamak mümkün olacaktır.

Bu çalışmada, doğal imbibisyon hızı (rate of spontaneous imbibition) deneyleri gazyağı/tuzlu su/Berea sistemlerinde şekil faktörü, karakteristik uzunluk ve sınır koşullarının etkilerini incelemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada esas olarak, üç farklı geometrik şekildeki silindirik, kare prizma ve üçgen prizma karotlar kullanılmıştır. Deneysel çalışmanın başlangıcında boyları aynı fakat farklı geometrik şekildeki karotlar kullanılmıştır. En yüksek imbibisyon hızı silindirik şekilli karotlardan elde edilmiştir. En düşük imbibisyon hızı ise üçgen prizma karotlardan elde edilmiştir. Karakteristik uzunluk doğal imbibisyon hızı üzerinde ters etki oluşturmaktadır. Aynı geometrik şekle sahip karotlarda, karakteristik uzunluğun düşmesiyle birlikte doğal emme hızı artmaktadır.

Çalışmanın ikinci kısmında, silindirik karotlar üzerinde sınır koşulları deneyleri yapılmış ve doğal imbibisyon hızına etkileri araştırılmıştır. Çalışmada dört farklı sınır koşulu uygulanmıştır (tüm yüzeyler açık (AFO), iki uç kapalı (TEC), iki uç açık (TEO) ve bir uç açık (OEO)). Sınır koşulu deneyleri imbibisyona açık toplam yüzey alanı arttıkça doğal imbibisyon hızının arttığını göstermektedir.

Çalışmada, gazyağı/tuzlu su/Berea sistemleri, doğal imbibisyon ile petrol üretim hızının şekil faktöründeki büyümeyle ve karakteristik uzunluktaki azalmayla arttığını göstermiştir.

EFFECT OF SHAPE FACTOR, CHARACTERISTIC LENGTH AND BOUNDARY CONDITIONS ON SPONTANEOUS IMBIBITION

SUMMARY

This study presents a laboratory work of effect of spontaneous water imbibition on oil recovery by investigating of shape factor (SF), characteristic length (CL), and boundary conditions (BC). The main objective of this study is not only to show the effect of SF, CL, and BC on spontaneous imbibition, but also to achieve a reference state for other related wettability studies.

In this study, rate of spontaneous imbibition experiments were conducted to investigate the effect of SF, CL, and BC on kerosene/brine/Berea systems. Cylindrical, square prism, and triangular prism shape of core samples were used in this work. Experiments were also conducted on the different sized core samples. Cylindrical shape of core samples showed the highest imbibition rates throughout the experiments among them. The lowest imbibition rates were obtained from triangular prism shape of core samples. Characteristic length had an inverse effect on the rate of spontaneous imbibition results. In the same shape of core samples, as the characteristic length was decreasing, the rate of spontaneous imbibition was increasing.

In the second part of the study, boundary condition experiments were performed to investigate the effect on the rate of spontaneous imbibition. Four different boundary conditions, which were all faces open (AFO), two ends closed (TEC), two ends open (TEO), and one end open (OEO) systems were applied to the samples. BC experiments showed that the increasing in the total surface area open to the imbibition increased the rate of spontaneous imbibition.

In this study, kerosene/brine/Berea systems showed that imbibition recovery rates increased with increase in shape factor and decrease in characteristic length in the same shape of core samples.

1. GİRİŞ

Doğal imbibisyon, petrol üretiminin kayaç matriks ve çatlaklar arasındaki kütle transferi ile sınırlandırıldığı çatlaklı rezervuarlarda, petrol üretimi ve üretim artırma teknikleri açısından önemli bir olaydır. Ayrıca petrol/su/kayaç sisteminin ıslatımlılığı hakkında da önemli bilgiler verir. Doğal imbibisyonun miktarı öncelikle gözenekli ortamın özellikleri, akışkanlar ve bunların arasındaki etkileşimlerle doğrudan ilişkilidir. Matriks geçirgenliği, görelî geçirgenlikler, matriks şekli ve sınır koşulları, akışkan akmazlıkları, arayüzey gerilimi ve ıslatımlılık imbibisyonu etkileyen unsurlar arasında sayılabilir. Bu tezin herhangi bir bölümünde kullanılacak olan imbibisyon sözcüğü doğal imbibisyon anlamına gelecektir.

Laboratuvarlarda üretim tahminleri için genel olarak silindirik karot tapalar üzerinde deneyler yapılır. Ancak rezervuarda, çatlağın gelişimine göre farklı geometrik şekillerde irili ufaklı bir çok parçacık bir aradadır. Şekilleri, boyutları ve sınır koşulları laboratuvarlarda kullanılan karot tapalarından çok farklı olan rezervuar kayaçlarından yapılacak üretim tahminleri için imbibisyon deney sonuçları kullanılır. Laboratuvar deney sonuçlarını rezervuar koşullarına benzeştirmek için verinin düzeltilmesi ve yorumlanması gerekir.

1.1 Islatımlılık

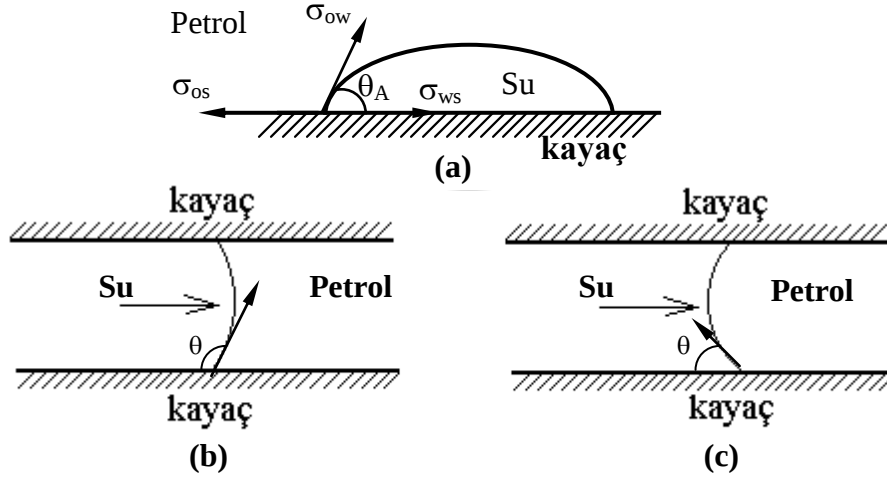
Islatımlılık terimi genel anlamda bir akışkanın ortamda bulunan bir diğer akışkana göre katı yüzeyini ıslatabilme ve yüzeye yapışabilme özelliği olarak tanımlanır. Petrol endüstrisinde ıslatımlılık terimi, rezervuar kayaç örneğinin ıslatımlılık özelliğini karakterize edebilmek amacıyla kullanılır. Rezervuar kayaçları tipik olarak karmaşık gözenek yapısı ve mineral kompozisyonları içerir. Ele alınan bir kayaç örneğinin ölçülen ıslatımlılığı, kayaç yüzeyinde bulunan çeşitli minerallerin ıslatma kabiliyetlerinin ortalaması olarak elde edilir. Rezervuar kayaçlarının ıslatımlılıklarını belirlemede sıkça kullanılan metodlar aşağıda tartışılacaktır.

1.1.1 Tanım ve Belirleme

On yıllardır, birçok petrol rezervuarının kuvvetli su ıslatımlı olduğu kanısı yaygındı. Bunun nedeni rezervuara petrol göç edip gözeneklerin bir kısmını işgal etmeden önce rezervuarın sulu ortamda oluşması veya suyla dolu olması ve çok uzun jeolojik zaman içinde yeraltına gömülmesi düşüncesinden hareket ediliyordu. Bu görüşe 1940'ların başlarında karşı çıkıldı çünkü bazı ham petrol örneklerinin kum tanelerini (Bartell ve Miller, 1928) ve silika yüzeyini (Benner ve Bartell, 1942) ıslatabilme yeteneği olduğu görülmüştü.

Daha sonraları, orta (Marsden ve Nikias, 1962), kesirsel (fractional) (Fatt ve Klikoff, 1959; Iwankow, 1960) veya heterojen (Browns ve Fatt, 1956), karışık (mixed) ıslatımlılık (Salathiel, 1973) ve benekli (speckled) (Morrow ve diğ., 1986) ıslatımlılık tanımları yapıldı. Böylelikle ıslatımlılık kuvvetli su veya petrol ıslatımlılığı haricinde sınıflandırılmış oldu. Genel olarak, ıslatımlılığın belirlenmesi değerlendirmede kullanılan yöntemle bağlıdır. Günümüzde en sık kullanılan yöntemler, kontak açısı (Treiber ve diğ., 1972; Morrow, 1976), doğal imbibisyon ve enjeksiyon (viskoz öteleme) (Amott, 1959; Boneau ve Clampitt, 1977; Cuiec, 1984) ve kılcal basınç eğrileri (Donaldson ve diğ., 1969) yöntemleridir.

Kontak açısı metodunda, ilerleme açısı, θ_A , genellikle düz mineral yüzeyinde (kumtaşları için kuartz, karbonatlı kayalar için kalsit veya dolomit) petrol/su fazlarının birarada olması durumunda genellikle yoğun faza, su fazı, doğru ölçülür (Şekil 1.1). İlerleme açısı, θ_A , petrol damlasının mineral yüzeyinden çekilip suyun yüzeye yayıldığı durumda oluşan açı olarak tanımlanır. Genellikle, su ıslatımlı, orta ıslatımlı ve petrol ıslatımlı terimleri kullanılır (Treiber ve diğ., 1972; Morrow, 1976) (Şekil 1.2). Kontak açısı metodu sınırlı değerler verebilmektedir; çünkü bu yöntemde kullanılan yüzeyin düz, pürüzsüz ve parlak olması birden fazla mineralden oluşan veya kısmen farklı minerallerin bulunduğu doğal pürüzlü kumtaşı yüzeyini tam olarak temsil edememektedir. Buna rağmen, bu metod rezervuar ıslatımlılığını değerlendirmede hala yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Yıldız, 1998).



Şekil 1.1 Petrol ve su ıslatımlı kayaçların şematik gösterimi.

(a) İslatımlılığın şematik gösterimi (b) Petrol ıslatımlı (c) Su ıslatımlı

Temas açısı θ_A , kuvvetler dengesinden aşağıdaki şekilde bulunabilir.

$$A_T = \sigma_{os} - \sigma_{ws} = \sigma_{ow} \cos \theta_A \quad (1.1)$$

Burada;

A_T : Adhezyon gerilimi.

σ_{ws} : Su / Kayaç arasındaki yüzey gerilimi.

σ_{os} : Petrol / Kayaç arasındaki yüzey gerilimi.

σ_{ow} : Petrol / Su ara yüzey gerilimi.

θ_A : Temas açısı.

olarak tanımlanırlar. Buna göre ıslatımlılık,

$A_T > 0 \Rightarrow$ su kayacı ıslatır.

$A_T < 0 \Rightarrow$ petrol kayacı ıslatır.

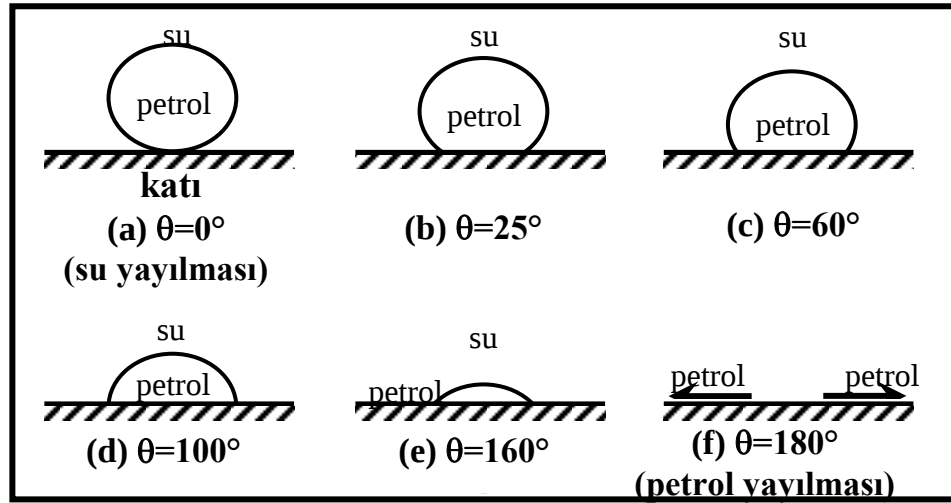
$A_T = 0 \Rightarrow$ nötr ıslatımlı.

olarak ifade edilir.

Amott yöntemi 1959 yılında geliştirilmiştir. Test başlangıç su doymuşluğu oluşturulduktan sonra iki kısım halinde gerçekleştirilir. İlk kısım doğal su imbibisyonu ve onu takiben su ötelemesidir. Testin ikinci kısmı ise kalıcı petrol doymuşluğu durumunda doğal petrol imbibisyonudur ve bunu takiben petrol enjeksiyonudur. Yapılan tüm testlerde doğal imbibisyon yöntemiyle (V_{iw} , doğal su imbibisyonunu ve V_{io} , doğal petrol imbibisyonunu gösterir) ve öteleme yöntemiyle

(V_{dw} , su ötelemesini ve V_{do} , petrol ötelemesini gösterir) üretilen akışkan miktarları kaydedilir. $V_{iw} / (V_{iw} + V_{dw}) = I_w$ 'nin sayısal değeri suyla yapılan petrol üretiminin oranı veya daha uygun bir deyimle suya olan indekstir ve 0 (sıfır)'la 1 (bir) arasında bir değer olup su ıslatımlılığının derecesini gösterir. $V_{io} / (V_{io} + V_{do}) = I_o$ 'nin sayısal değeri ise petrolle yapılan üretimin oranı veya daha uygun bir deyimle petrole olan indekstir ve buda yine 0 (sıfır)'la 1 (bir) arasında bir değer olup petrol ıslatımlılığının derecesini gösterir. Kayacın ortalama ıslatımlılığы genellikle Amott-Harvey ıslatımlılık indeksiyle, WI, belirtilir ve aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$WI = \frac{V_{iw}}{(V_{iw} + V_{dw})} - \frac{V_{io}}{(V_{io} + V_{do})} \quad (1.2)$$



Şekil 1.2 Islatımlılığın dereceleri (Morrow, 1990)

- (a) Tamamen su ıslatımlı (b) Kuvvetli su ıslatımlı (c) Su ıslatımlı
(d) Petrol ıslatımlı (e) Kuvvetli petrol ıslatımlı (f) Tamamen petrol ıslatımlı

Çeşitli ıslatımlılık durumlarını, kuvvetli su ıslatımlı, zayıf su ıslatımlı, orta ıslatımlı, zayıf petrol ıslatımlı ve kuvvetli petrol ıslatımlı şeklinde kategorize etmek mümkündür. Bazen hem suyun hemde petrolün kayaç yüzeyine yayılamadıkları sistemleri tanımlayabilmek için nötr ıslatımlılık terimi de kullanılır. Islatımlılığın karakterize edilmesinde, $WI = 0.3$ 'ten 1.0 'a kadar su ıslatımlı, $WI = -0.3$ 'ten $+0.3$ 'e kadar orta ıslatımlı ve $WI = -0.3$ 'ten -1.0 'a kadarda petrol ıslatımlı sistemler olarak benimsenmiştir (Cuiec, 1984).

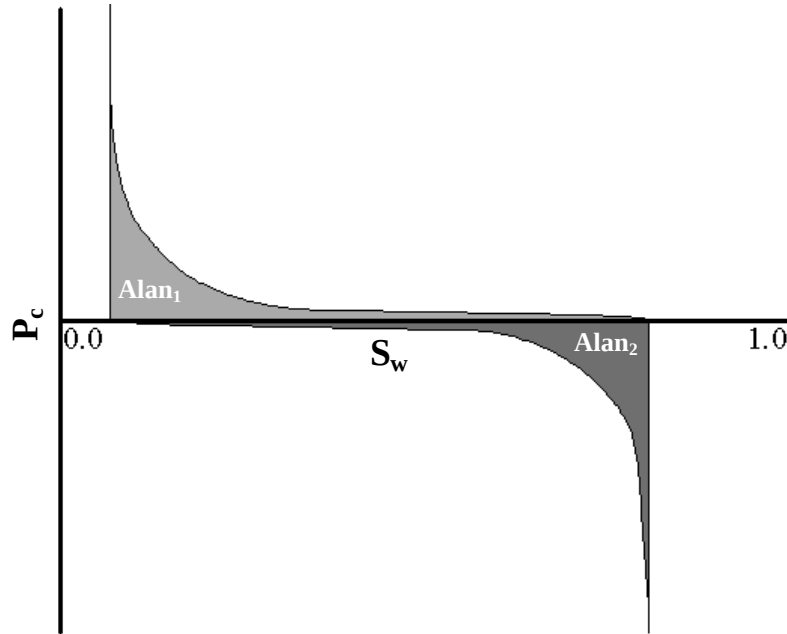
Kılcal basınç eğrileri metodu veya daha yaygın kullanımıyla USBM (United States Bureau of Mines) metodu (Donaldson ve diğ., 1969), imbibisyon ve drenaj kılcal basınç verilerinin su doymuşluğunun bir fonksiyonu olarak kullanılmasıyla kayaç ıslatımlılığının tayin edilmesinde kullanılan bir yöntemdir. Kılcal basınç eğrisi altında kalan alan bir akışkanın bir diğer akışkanı gözenekli ortam içinde ötelemesi için gereken işi ifade eder (Morrow, 1970). İmbibisyon olayında, ıslatan fazın ıslatmayan fazı ötelemesi için gerekli iş miktarı, drenaj (ıslatmayan fazın ıslatan fazı ötelemesi) olayında gereken iş miktarından daha azdır. Islatımlılık indeksi, drenaj eğrisi alt alanının imbibisyon eğrisi alt alanına oranının logaritması şeklinde tanımlanır (Şekil 1.3).

$$I_w = \log \left(\frac{Alan_1}{Alan_2} \right) \quad (1.3)$$

Burada,

Alan₁ : Drenaj için gereken iş

Alan₂ : İmbibisyon için gereken iş



Şekil 1.3 S_w-P_c grafiği şematik gösterimi.

Su ıslatımlı sistemler için, drenaj eğrisi altında kalan alan imbibisyon eğrisi altında kalan alandan daha büyüktür. Bu özelliğin tersi petrol ıslatımlı sistemler için

geçerlidir. Denklem 1.3'ten elde edilen pozitif ve negatif değerler sırasıyla su ve petrol ıslatımlı sistemleri ifade ederler. Islatımlılık indeksinin pozitif değeri sonsuz olabilir (Wang ve Guidry, 1990). Orta ıslatımlı sistemler içinse ıslatımlılık indeksi 0 (sıfır)'dır.

1.2 Doğal İmbibisyon

Doğal imbibisyon, özellikle çatlaklı rezervuarlarda oldukça sık görülen bir üretim mekanizmasıdır. Kılcal kuvvetler doğal imbibisyon mekanizması üzerindeki baskın kuvvetlerdir.

Kılcal kuvvetlerin büyüklüğü gözenek geometrisine ve yapısına, arayüzey gerilimine ve ıslatımlılığa yada temas açısına bağlıdır. Gözönüne alınan gözenekli ortam ve akışkan çifti için ıslatımlılık derecesi imbibisyon deneylerinden tahmin edilebilir. Islatan fazın kayaç tarafından emilme hızı niteliksel anlamda ıslatımlılığı karakterize etmekte kullanılabilir (Richardson ve diğ., 1955; Bobek ve diğ., 1958; Denekas ve diğ., 1959; Rathmell ve diğ., 1973; Morrow ve diğ., 1986).

Birçok araştırmacı doğal imbibisyon olayını çalışmışlardır (Richardson ve diğ., 1955; Amott, 1959; Graham and Richardson, 1959; Kyte ve diğ., 1961; Mattax and Kyte, 1962; Parsons and Chaney, 1966; Iffly ve diğ., 1972; Du Prey, 1978; Morrow and McCaffery, 1978; Torsæter, 1984; Torsæter and Silseth, 1985; Hamon and Vidal, 1986; Bourbiaux and Kalaydjian, 1990; Keijzer and de Vries, 1990; Cuiec ve diğ., 1990; Ghedan and Poettmann, 1990; Jadhunandan and Morrow, 1991; Schechter ve diğ., 1991; Toklu, 1991; Satman ve diğ., 1992; Ma ve diğ., 1994; Zhou ve diğ., 1995; Dönmez, 1995; Gökmen, 1999; Yıldırım, 1999; Çatak, 2001).

Richardson ve diğ. (1955), su imbibisyonu davranışını Doğu Texas sahası karotları üzerinde incelemiştir. Deneylerde kullanılan karotlar 2.125 inç çaplarında ve 3 inç uzunluklarındaydı. Richardson ve diğ.'leri deneylerinde şu prosedürü izlemişlerdir: petrollü karot gazyağı içine daldırılıyor ve vakum altında doyuruluyor. Daha sonra birkaç yüz gözenek hacmi gazyağı başlangıç su doymuşluğuna ulaşıncaya kadar karot boyunca öteleniyor ve başlangıç su doymuşluğuna ulaştırılmış karot yan yüzeyleri ve bir ucu kapanacak şekilde bir düzeneğe yerleştiriliyor. Açık olan ucu suyla temasa geçiriliyor ve su karot içine emilirken petrol üretimi yapılıyor. Bu aşama tamamlandıktan sonra karot benzen ve metanol ile temizleniyor, kurutuluyor

ve %3'lük NaCl çözeltisiyle tekrar doyuruluyor. Karota çözeltiyle doyurma işleminden sonra gazyağı enjekte ediliyor ve ilk imbibisyon deneyinin başlangıç su doymuşluğu değerine ulaşıncaya kadar ötelemeye devam ediliyor. Temizlenmiş ve başlangıç su doymuşluğu durumuna getirilmiş karot yeniden imbibisyon deneyine tabi tutuluyor. Bu iki imbibisyon deneyinin sonuçları karşılaştırıldığında temizlenmiş karottan elde edilen imbibisyon hızının petrollü karottan elde edilen imbibisyon hızından yüksek olduğu görülmüştür.

Amott (1959), kayaç/su/petrol sistemlerinin ıslatımlılıklarını ölçmede kullanılan metodu geliştirmiştir. Amott, ıslatımlılığın davranışını incelemek için değişik koşullarda, yakılmış Ohio kumtaşı, epoksi ile birleştirilmiş kum paketleri ve silikonla kimyasal işleme sokulmuş Ohio kumtaşı, sekiz adet yüzeyden alınmış kumtaşı karotları, yirmibeş petrol içeren karot ve yirmiüç kurutulmuş karot kullanmıştır. Birinci grup karotlarda suya göre pozitif bir öteleme oranı görülürken petrole göre öteleme oranı sıfır değerini vermiştir. Böylelikle birinci grup karotlar su ıslatımlı olarak ayrılmışlardır. İkinci grup karotlar ise test edilmeden önce 500 °C'de yakılarak temizlenmişlerdir. Bu karotlar kuvvetli su ıslatımlı karotlar olarak karakterize edilmişlerdir (suya göre öteleme oranı aralığı, 0.78-1.0). Bu gruptaki karotların gaz geçirgenliği değerleri ise 27 md ile 2494 md arasında değişim göstermişlerdir. Amott imbibisyon davranışındaki farklılığın ıslatımlılıktan ziyade kayaç özelliklerindeki farklılıktan dolayı kaynaklandığı yorumunu yapmıştır. Bu gruba giren karotlar kuvvetli su ıslatımlı olmalarına rağmen, elde edilen veriler imbibisyon hızlarında farklılıklar göstermiştir. Bu kayaçların geçirgenlikleri arasındaki farklılıklardandır. Üçüncü grup ise petrollü karotları içermektedir. Bu gruptaki karotların ıslatımlılıkları ise kuvvetli su ıslatımlıdan kuvvetli petrol ıslatımlıya kadar olan aralıkta değişmektedir. Kaliforniya sahasından gelen karotların çoğunluğunun ıslatımlılığı çok düşük su ıslatımlı olarak bulunmuştur. Bu gruptaki karotlar, kısmi yada tamamen kurumanın ıslatımlılık üzerinde etkili olduğunu göstermişlerdir. Petrol içeren karotların (su ıslatımlı karotlar) ıslatımlılıklarında atmosferik sıcaklıkta açık hava etkisinde bırakıldıktan sonra azalma görülmüştür. Bu karotların ıslatımlılıkları 225 °F sıcaklıkta açık hava etkisinde bırakıldıktan sonra ise daha da azalmıştır. Amott, aynı zamanda çözücüyle temizlemenin ve karotları ham petrol veya asfalt ile ve sondaj çamuru filtrasyonu ile etkileşmesinin ıslatımlılık üzerindeki etkilerini de araştırmıştır. Çözücüyle temizleme deneylerinde (23 karot)

toluen ve dioksen kullanılmıştır. Toluenle temizlemeden elde edilen sonuçlar göstermiştir ki karot yüzeyine adsorbe olmuş organik film tabakası ya kısmen kaldırılabilmiştir ya da kaldırılamamıştır. Karotlar daha fazla su ıslatımlı hale getirilmek için dioksen ile işleminden geçmişlerdir. Bazı karotların ıslatımlılıkları, kuru ve yakılmış karotların ham petrol veya asfalt çözeltileri ile temasıyla değişmiştir. Karotların 24 adedi sondaj çamuru filtrasyonu ile temas ettirilmesi için altı tip sondaj çamuru hazırlanmıştır (12 karot, yakılmış Ohio kumtaşı – kuvvetli su ıslatımlı, 12 karot, petrollü Kaliforniya karotu – düşük su ıslatımlı). Sonuçlar, yakılmış Ohio kumtaşının üç tip su-bazlı çamur filtrasyonu ile temas etmesinin su ıslatımlılığını çok az düşürdüğünü göstermiştir. Petrol-bazlı çamur filtrasyonlarından bir tanesinin karotun ıslatımlılığını kuvvetli su ıslatımlıdan orta su ıslatımlıya değiştirdiği görülmüştür. Petrol içeren Kaliforniya karotları için ıslatımlılıklar orjinal karotlarda neredeyse nötrdür. Bu karotların çok kireçli su-bazlı çamurlarla ve çok killi su-bazlı çamurlarla teması sonucunda ıslatımlılıklarının çok fazla değişmediği gözlenmiştir. Karot, petrol-bazlı ve yüzey aktifleyici içeren su-bazlı çamurlarla temas ettiğinde ıslatımlılığı zayıf petrol ıslatımlı olmuştur.

Graham ve Richardson (1959) ıslatımlılık davranışını araştırmak için değişik uzunluklarda Berea kumtaşı örnekleri kullanmışlardır. Çalışmalarında, imbibisyonun başlangıç hızının ve üretilebilir petrol yüzdesinin karot uzunluğundan bağımsız olduğunu bulmuşlardır. Serbest gaz doymuşluğu varlığı su imbibisyonu hızını düşürmüştür.

Kyte ve diğ. (1961) su imbibisyonunu rezervuar ve oda koşullarında incelemişlerdir. Bu çalışmada kullanılmış olan karot örnekleri üç farklı rezervuardan gelmiştir. Bu rezervuarların sıcaklıkları sırasıyla 206, 160 ve 194 °F'tır. İmbibisyon verileri göstermiştir ki bu üç rezervuardan ikisinden gelen kayaç örnekleri oda koşullarında orta ıslatımlı karakteristiğe sahipken rezervuar koşullarında kuvvetli su ıslatımlı olmuşlardır. Oda koşullarında, bu üç rezervuara ait örnekler gözenek hacminin sırasıyla % 8, % 7 ve % 3'lük kısımlarına suyu emebilmişlerdir. Bu bağlamda, rezervuarlar zayıf su ıslatımlı olarak sınıflandırılabilirler. Rezervuar koşullarında, bu üç rezervuardan ikisine ait örnekler gözenek hacminin sırasıyla % 50 ve % 67'lik kısımlarına suyu emmişlerdir. Bu iki rezervuar, kuvvetli su ıslatımlı olarak sınıflandırılmıştır. Diğer rezervuar için, rezervuar koşullarındaki su imbibisyonu diğerlerine göre çok küçük bir artış göstermiştir.

Parsons ve Chaney (1966) imbibisyon model çalışması için iki çeşit su ıslatımlı karbonatlı kayaç üzerinde imbibisyon çalışmaları gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada kullanılan kayaçlar Big Horn Baseninin (Wyoming) Madison formasyonundan hem yüzeyden hemde yeraltından alınmıştır. Bu örnekler kuvvetli su ıslatımlı sistem oluşturmak amacıyla 400 °C sıcaklıkta yakılmışlardır. Kullanılan karotlar 2x2x1 in boyutlarında dikdörtgenler prizması şekline sahipti ve her karotun büyük olan yan yüzeyleri epoxy reçine ile kapatılmıştı. Yani akış karotların iki ucundan iki boyutlu olarak gerçekleştirildi. İmbibisyon deneylerinden sonra bu karotlar 1 inç'lik küpler oluşturulacak şekilde diğer imbibisyon deneyleri için kesildi. Deneylerde kullanılan petrol ve suyun akma viskoziteleri laboratuvar koşullarında sırasıyla 110 cP ve 0.860 cP'dır. Suyun ve petrolün yoğunluk farkları yaklaşık olarak 0.124 g/cm³'tü. Elde edilen sonuçlar karot boyutlarının (2x2x1 inç ve 1 inç küp) imbibisyon davranışını etkilemediğini göstermiştir.

Iffly ve diğ. (1972) Fissured petrol sahası için temel imbibisyon çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Bu araştırmacılar, matriksin yüksekliğinin, kayaç kompozisyonunun, kayaç geçirgenliğinin ve akışkanların su imbibisyonu üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Ayrıca, gravite ve kılcallığın su imbibisyonu üzerindeki etkilerini de araştırmışlardır. Yapılan çalışmalardan bulunan sonuçların kullanılan akışkanların ve karotların çalışılan sahadakinden farklı olmasından dolayı anlamsız olduğu belirtilmiştir (çok özel durumlar hariç). İmbibisyon testlerinden elde edilen veriler petrol üretiminin artan karbonat ve organik madde miktarıyla birlikte düştüğünü göstermişlerdir. Iffly ve diğ. farklı boyutlarda ve özelliklerde karotlardan elde ettikleri imbibisyon sonuçlarına dayanarak kılcallık/gravite oranının ($p_c/\Delta\rho gh$) rolü üzerinde tartışmışlardır. Buradan çıkan temel sonuç, kılcallık / gravite oranının düşmesiyle üretim zamanının düşmesidir. Du Prey (1978) bu sonucu doğrulamıştır. Du Prey santrifuj kullanmış ve kılcal ve gravite kuvvetlerinin çeşitli oranları için imbibisyon sonuçlarını karşılaştırmıştır. Sonuçlar, küçük örnekler üzerinde yapılan santrifuj deneylerinin matriks bloklarda üretim eğrilerinin tekrarlanabilirliği için güvenilir olmadığını göstermiştir.

Morrow ve McCaffery (1978) ıslatımlılığın göreceli geçirgenlik, kılcal basınç ve doğal imbibisyon üzerindeki etkilerini geniş bir ıslatımlılık aralığında göstermişlerdir. Bu çalışmada kullanılan karotlar, PTFE tozlarının metal bir boru içinde sıkıştırılarak ve daha sonrada yaklaşık 370 °C sıcaklıkta kalıplanmasıyla hazırlanmıştır. Karot

özelliklerindeki farklılıklar ise kapatma basıncında, partikül boyutlarında ve kalıplama prosedüründe yapılan değişikliklerle oluşturulmuştur. İmbibisyon deneylerinde heptan, dekan, dodekan, dioktil eter ve α - bromonaftalin sıvı faz olarak kullanılmıştır. Bütün imbibisyon deneylerinde ötelenen faz gaz fazıdır. Sonuçlar, dioktil eter, dodekan, dekan ve heptanın, karotların başlangıç sıvı doymuşlukları gözenek hacimlerinin %30'u kadar olduğu zaman emildiğini göstermiştir, fakat α -bromonaftalin ($\theta_E=73^\circ$) emilmemiştir. Bununla beraber, dioktil eter ($\theta_E=49^\circ$) başlangıçta kuru olan karotlara doğal olarak emilememiştir. Karotlar üzerinde yapılan imbibisyon deneylerinden görülmüştürki, heptan dışındaki sıvıların imbibisyon hızları karotlar başlangıç sıvı doymuşluğu durumundayken yüksektir.

Torsæter (1984) Kuzey Denizi Ekofisk Sahasının Ekofisk ve Tor formasyonlarından aldığı tebeşir karotları üzerinde su imbibisyonu çalışmaları yapmıştır. Bu çalışmadaki başlıca amaç imbibisyon su doymuşluğu ve tebeşir karotların kayaç özellikleri arasında bir korelasyon kurmak ve Ekofisk formasyonu ile Tor formasyonu arasındaki su imbibisyonu davranışlarının farklılıklarının nedenlerini tanımlamaktır. Karotların tetrahidrofuran (THF) ile temizlenmesinden öncesindeki ve sonrasındaki ıslatımlılık davranışları bu iki formasyon için tamamiyle farklılık göstermiştir. Torsæter, Ekofisk ve Tor formasyonlarının imbibisyon davranışlarındaki farklılığın formasyonların yüzey kimyası farklılıklarına bağlı olduğunu belirtmiştir. Tor formasyonu için başlangıç su doymuşluğu (S_{wi}), su imbibisyonu sonrası doymuşluk (S_{wim}) ve son su doymuşluğu (S_{wf}) sonuçları ile gözeneklilik sonuçları sadece deneysel olarak elde edilmiştir, fakat herhangi bir korelasyon verilmemiştir.

Torsæter ve Silseth (1985) imbibisyon olayının değerlendirilmesinde matriks blok geometrisinin etkisini belirtmişlerdir. Çalışmada örnekler üç set (iki set Berea kumtaşı ve bir set Danimarka tebeşir mostrası karotları) halinde kullanılmıştır. Berea karotlarının sıvı geçirgenlikleri ve gözeneklilikleri sırasıyla 300 md ve %21.1'dir. Tebeşir karotlarının sıvı geçirgenlikleri ise 5 md ve gözeneklilikleri %46.9'dur. Deneylerde, tebeşir karotları için, silindir, üçgen prizma, küp ve paralelyüz olmak üzere dört farklı geometrik şekil kullanılmıştır. Ek olarak iki adet şekilsiz Berea karotu kullanılmıştır. Deneylerde akışkan olarak, 3500 ppm'lik NaCl çözeltisi ile hafif ve ağır parafin karışımı kullanılmıştır. Tuzlu su çözeltisinin yoğunluğu ve akma hızı sırasıyla 1.0237 g/cm³ ve 1.06 cP ve petrol fazının yoğunluğu ve

akmazlığı ise 0.801 g/cm^3 ve 0.31 cP 'dir. İlk setteki 6 Berea kumtaşı karotları ve ikinci setteki 6 Berea kumtaşı karotlarından elde edilen sonuçlar göstermiştir ki sabit hacimde elde edilen imbibisyon hızı büyük ölçüde karot geometrisine bağlıdır. Fakat, karot geometrisi imbibisyon ile elde edilen son petrol üretimi üzerinde çok düşük ölçüde etkilidir. Tebeşir karotları için farklı şekiller ise hem imbibisyon hızını hemde nihayi üretimi etkilemişlerdir.

Hamon ve Vidal (1986) kılcal imbibisyon olayını ölçeklendirmek için homojen ve heterojen sistemler üzerinde imbibisyon deneyleri yapmışlardır. Bu çalışmada yüksekliğin ve sınır koşullarının zamana karşı petrol üretimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Aliminyum silikattan yapılmış iki suni örnek homojen sistemler olarak kullanılmıştır. Heterojen örnekler ise yüzey mostralarından alınmış karotlardır. Tüm sistemler su ıslatımlıdır. Beş değişik tipte sınır koşulu kullanılmıştır. İmbibisyon deney örnekleri 7.6 cm çapında ve 10 cm ile 85 cm arası uzunluklardadır. Akışkan olarak, saflaştırılmış rafine petrol ve filtre edilmiş vakumlanmış su kullanılmıştır. Üç farklı imbibisyon deneylerinin sonuçları % yerinde petrol cinsinden, kısa örneklerin petrol üretiminin daha hızlı olduğunu göstermiştir. Sınır koşullarının etkisi açısından ise aynı gözenek hacmine sahip sistemlerden büyük yüzey alanına sahip olanların imbibisyon hızlarında yüksek olduğu söylenmiştir. Hamon ve Vidal ayrıca, sınır koşullarının imbibisyon petrol üretim hızında çok fazla etkisi olduğunu fakat nihayi petrol üretimini kuvvetli su ıslatımlı sistemler için etkilemediğini bulmuşlardır.

Bourbiaux ve Kalaydjian (1990) yüzeyleri kapatılmış doğal gözenekli ortamlarda (farklı sınır koşulları uygulayarak) γ -ray yöntemiyle lokal doymuşluk ölçümleri yaparak aynı yönlü (cocurrent) ve zıt yönlü (countercurrent) doğal su imbibisyon deneyleri yapmışlardır. Deneylerde petrol fazı olarak 1.5 cP akmaazlıklı ve 0.76 g/cm^3 yoğunluklu Soltrol 130 kullanılmıştır. Su fazı olarak ise iki faz arasındaki absorbsiyon kontrastını arttırmak amacıyla yüksek derişimli baryum klorür çözeltisi kullanılmıştır. Su fazının akmaazlığı ve yoğunluğu sırasıyla 1.2 cP ve 1.09 g/cm^3 'tür (20°C). Deneysel çalışmalarından, zıt yönlü (countercurrent) imbibisyondan elde edilen petrol üretim hızının aynı yönlü (cocurrent) imbibisyondan elde edilen üretim hızından daha düşük olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Keijzer ve de Vries (1990) yüzey aktifleyici çözeltilerin Berea kumtaşı üzerindeki imbibisyonunu çalışmışlardır. Kullanılan karot tapaları 37 mm uzunluğa ve 480 mm^2 kesit alanına sahiplerdir. Geçirgenlik ve gözeneklilikleri ise sırasıyla 0.8-0.9 D ve

%21'dir. Karotların başlangıç su doymuşlukları yaklaşık olarak %24'tür. Çalışmada iki tip akışkan sistemi kullanılmıştır. Bu sistemlerde petrol ve su arayüzey gerilimleri 37 ve 38 din/cm (mN/m)'dir. Deneysel sonuçlar petrol ve yüzey aktifleyici çözeltiler arasındaki arayüzey geriliminin imbibisyon üzerinde etkin rol oynamadığını göstermiştir. Düşük arayüzey geriliminin imbibisyon hızı üzerinde biraz etkisinin olduğu fakat nihayi petrol üretimini etkilemediği görülmüştür.

Cuiec ve diğ. (1990) düşük geçirgenlikli gözenekli ortamlar kullanarak (sıvı geçirgenlikleri 1.2-2.7 md aralığında) uzunluğun, değişik sınır koşullarının ve çeşitli arayüzey gerilimlerinin imbibisyon davranışı üzerindeki etkilerini farklı kayaç/çözelti/petrol sistemleri için araştırmışlardır. Çalışmada petrol fazı olarak Soltrol 130 ve n-hekzan, su fazı olarak ise iki çeşit çözelti kullanılmıştır. Yüzey mostrasından alınmış değişik boyutlarda ve şekillerde tebeşir karotları kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar sonunda şu sonuçlara ulaşılmıştır: (1) doğal imbibisyon zıt yönlü (countercurrent) akış mekanizmasıyla kontrol edilmektedir ve kılcal kuvvetler ana öteleme kuvvetleridir; (2) karot örneği uzunlukları imbibisyon üretim hızını oldukça etkilemiştir fakat nihayi petrol üretimini değiştirmemiştir; (3) yan yüzeyleri kapatılmış karotlar düşey yerine yatay olarak deneye tabi tutulduğunda imbibisyon hızında çok az miktarda düşme olmuştur ve nihayi petrol üretimi sınır koşulları uygulanmış tüm deneylerde aynı kalmıştır; ve (4) düşük arayüzey gerilimli sistemlerde nihayi petrol üretimi daha yüksektir ve imbibisyon hızı arayüzey geriliminden oldukça etkilenmektedir.

Ghedan ve Poettmann (1990) su ıslatımlı çatlaklı rezervuarlarda polimerlerin imbibisyon üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada dört sentetik tuzlu su çözeltisi, dört tip petrol ve üç polimer kullanılmıştır. Kayaç olarak 5 cm çapında ve 14 cm uzunluğunda Berea kumtaşı karotları kullanılmıştır. Statik ve dinamik imbibisyon deneyleri uygulanmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki tuzlu su ve polimer imbibisyonlarından elde edilen nihayi petrol üretimleri aynıdır fakat polimer çözeltilerinden elde edilen petrol üretim hızı tuzlu sudan elde edilen hıza göre her zaman için daha düşük olmuştur.

Jadhunandan ve Morrow (1991) tuzlu su çözelti kompozisyonunun, ham petrol tipinin ve yaşlandırmanın (oda sıcaklığı, 25 °C, 50 °C ve 80 °C) doğal su imbibisyonu üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada on farklı tuzlu su çözeltisi, iki farklı ham petrol ve üç farklı rafine petrol kullanılmıştır. Çalışmada

kullanılan kayaçlar Berea kumtaşından kesilmiş 3.79 cm çapında ve 4.0 cm uzunluğunda karot örnekleridir. Karotların ıslatımlılıkları ham petrolerin, farklı yaşlandırma sıcaklıkları, yaşlandırma zamanları ve başlangıç su doymuşluklarında adsorbsiyonu ile elde edilmiştir. Bu çalışmada yirmialtı imbibisyon deneyi yapılmıştır. Deneyler sonunda, doğal imbibisyon hızlarının kuvvetli su ıslatımlı sistemlere göre daha düşük olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. ST-86 ham petrolü için çözelti kompozisyonunun imbibisyonu etkilemediği görülmüştür. Moutray ham petrolü için ise kalsiyum iyonu derişiminin artmasıyla imbibisyon üretiminin azaldığı görülmüştür. Ayrıca düşük imbibisyon üretimi elde edilen örneklerde su ötelemesiyle yapılan petrol üretiminin arttığı görülmüştür.

Schechter ve diğ. (1991) arayüzey gerilimini azaltmanın petrol üretimi üzerindeki etkilerini düşey konumlandırılmış karotlar üzerinde doğal imbibisyon ve gravite ayrımı yöntemlerini kullanarak araştırmışlardır. Düşük geçirgenlikli ve yüksek arayüzey gerilimli sistemlerde kılcallığın zıt yönlü (countercurrent) imbibisyonu başlattığını ve petrolün karotların tüm yüzeylerinden üretildiğini bulmuşlardır. Gravite ayrımı düşük arayüzey gerilimli ve yaklaşık 100 md üzeri geçirgenlikli sistemlerde kontrol mekanizmasıdır.

Toklu (1991) imbibisyona etki eden faktörleri incelemek ve sahaların üretim performansı tahminlerini yapmak için deneylerinde Batı Raman ve Şahaban sahalarından alınmış kireçtaşı karotları ve akışkan olarakta Yeniköy ve Karakuş petrollerini kullanmıştır. Deneylerinde genel olarak gözeneklilik, geçirgenlik, ıslatımlılık, su tuzluluğu, petrol özgül yoğunluğu ve diğer bazı parametrelerin imbibisyona etkilerini incelemiştir. Ayrıca litolojinin imbibisyon mekanizması üzerindeki etkilerini anlayabilmek için kumtaşı karotlar kullanarak deneyler yapmıştır. Deneylerde kullanılan örnekler kuvvetli su ıslatımlı karotlardır. Çalışmanın sonunda kısa karotlardan yaklaşık olarak % 5'lik daha fazla petrol üretimi elde edilmiştir. Aynı şekilde tuzlu su çözeltisi kullanılarak yapılan deneylerden saf suya oranla ortalama %4-5 daha fazla petrol üretimi gözlenmiştir. Akmazlık azaldıkça karotlardan sağlanan petrol üretimi artmıştır. Deneyler sonunda Batı Raman sahası için ölçeklendirme çalışması yapılmıştır fakat bu çalışmanın rezervuarın gerçek ıslatımlılığı bilinmediğinden dolayı hatalar içerebileceği belirtilmiştir.

Satman ve diğ. (1992) kayaç ve akışkan özelliklerinin imbibisyona olan etkilerini incelemek amacıyla Bentheim, G. Şahaban ve B. Raman karotları ile Yeniköy, K. Karakuş ve B. Raman petrolleri kullanmışlardır. Deney sonuçları ıslatımlılığın imbibisyon ile petrol üretiminde önemli etkisi olduğunu göstermiştir. Ayrıca Mattax-Kyte'in ölçeklendirme kuralı kullanılarak, B. Raman rezervuarını temsil eden karot ve akışkanlarla yapılan deneylerden yararlanarak gerçek rezervuarın imbibisyon ile üretim performansının tahmini yapılmıştır. Sonuç olarak, rezervuarın gerçek ıslatımlılığının bilinmemesi, deneylerde kuvvetli su ıslatımlı sistemlerin kullanılmasını gerekli kılmıştır ve ölçeklendirme çalışmasının hatalı olabileceği vurgulanmıştır.

Ma ve diğ. (1994) ve Morrow ve diğ. (1994) doğal imbibisyon ile petrol üretiminden ıslatımlılığın derecesini belirleyebilmek için yeni bir metod geliştirmişlerdir. Bu metod doğal imbibisyonun hem hızına hemde miktarına bağlıdır. Çünkü, kılcal basınç doğal imbibisyon için öteleyici kuvvettir ve imbibisyon eğrisi altındaki alan yapılan öteleme işini tamamiyle göstermektedir. Ölçeklendirilmiş imbibisyon eğrisi yalancı imbibisyon kılcal basınç eğrisini oluşturmakta kullanılmış ve ıslatımlılık indeksi, W_R , bu eğriler altındaki görelî alanlara göre görelî yalancı imbibisyon işi olarak tanımlanmıştır. Bu yöntem, suya göre yüksek Amott ıslatımlılık indeksi, I_w , gösteren sistemleri ayırt etmekte oldukça yararlıdır.

Zhou ve diğ. (1995) ham petrol/tuzlu su/kayaç sistemlerinde ham petrolün yaşlandırılma zamanı ve sıcaklığının kısa dönem doğal imbibisyon hızına ve uzun dönem doğal imbibisyon petrol üretimine etkilerini araştırmışlardır. Kullanılan karot örnekleri Berea kumtaşından kesilmiş tapalardır. Kayaçların azot gazına olan geçirgenlikleri 585 ile 709 md arasında değişim göstermektedir. Deneylerde sıvı faz olarak ağırlıkça %2'lik $CaCl_2$ çözeltisi ve Alaskan 5/93 ham petrolü kullanılmıştır. Bu akışkanlar arasındaki arayüzey gerilimleri vakumlanmış petrol için 19.15 din/cm ve vakumlanmamış petrol için ise 14.12 din/cm'dir. Bütün imbibisyon deneyleri kısa dönem için 2 saat ve uzun dönem için 55 gün süreyle yapılmıştır. Sonuçlar kısa dönem imbibisyon hızlarının artan yaşlandırma zamanı ve sıcaklığıyla sistematik olarak azaldığını ve zayıf su ıslatımlı sistemlerde uzun dönem doğal imbibisyon petrol üretiminin yüksek olduğunu göstermiştir.

Dönmez (1995) doğal çatlaklı rezervuarlarda kılcal emme olayını statik ve dinamik deneyler ile incelemiştir. Statik deneylerde, matriks yapının ağır petrol içermesi

durumunda, sıcaklığın üretim hızı ve kalıcı petrol doymuşluğu üzerindeki etkisini incelerken, dinamik deneylerde enjeksiyon hızı, çatlak özellikleri ve akış yönünün matriksteki doymuşluk dağılımı üzerindeki etkilerini gözlemlemeye çalışmıştır. 5 farklı akışkan ile yapılan deneyler sonunda, sıcaklığın artmasıyla hem emme hızının hemde emme sonunda elde edilen petrol üretim miktarının arttığı gözlenmiştir. Bu akışkanlardan gazyağı ile yapılan deneylerde maksimum petrol üretim miktarının önemli ölçüde artmadığı görülmüştür. Bunun sebebi olarak ise gazyağı akmazlığının sıcaklıkla beraber çok fazla düşmemesi olabileceği söylenmiştir. Aynı şartlar altında gerçekleştirilen deneylerden, yüzey aktifleyici madde çözeltisi ile elde edilen petrol üretim miktarının tuzlu su çözeltisine oranla daha yüksek olduğu görülmüştür. Dinamik koşullarda yapılan deneyler sonunda, enjeksiyon hızının emme ile elde edilecek petrol üretim performansını etkileyen parametrelerden biri olduğu görülmüştür. Düşük enjeksiyon hızlarında emme mekanizması daha etkili olurken, yüksek enjeksiyon hızlarında üretim miktarı uygulanan viskoz kuvvetler tarafından kontrol edilmektedir. Çatlak yoğunluğu arttığında, matriks ile çatlaklar arasındaki temas yüzeyinin artması yüksek enjeksiyon hızlarında daha etkin bir ötelemeye olanak sağlamaktadır fakat kritik hız olarak adlandırılabilen hızın altında ise, çatlak konfigürasyonu öteleme performansı üzerinde önemli bir rol oynamamaktadır. Dönmez yaptığı çalışmada son olarak, akma oranındaki artışın öteleme performansını düşürdüğünü göstermiştir.

Gökmen (1999) tuzlu su/gazyağı/Berea kumtaşı sistemi üzerinde farklı iki tipte tuzlu su çözeltileri (Ağırlıkça % 4 NaCl ve % 2 CaCl₂) kullanarak doğal imbibisyon deneyleri yapmıştır. Sonuçlar kısa-dönem ve uzun-dönem olmak üzere iki kademeli olarak incelenmiştir. Kullanılan sistemlerin başlangıç su doymuşlukları yaklaşık olarak % 35 mertebelerindedir ve kısa-dönem doğal imbibisyon deneylerinden yaklaşık % 35 OOIP'lik petrol üretimi elde edilmiştir. Çalışmanın ikinci aşaması olan uzun-dönem doğal imbibisyon deneylerinden yaklaşık olarak % 57 OOIP'lik petrol üretimi yapılmıştır. Kullanılan sistemin Amott indeksinin (WI) 1.0 (bir) olması sistemin çok kuvvetli su ıslatımlı bir sistem olduğunu göstermiştir. Aynı sistem üzerinde yapılan su öteleme deneylerinden elde edilen petrol üretim değerleri ile doğal imbibisyondan elde edilen petrol üretim değerlerinin birbirine çok yakın olması, çok kuvvetli su ıslatımlı sistemlerde etkin üretim mekanizmasının kılcal kuvvetler tarafından kontrol edildiğini bir kez daha göstermiştir. Ayrıca çalışma

sonucunda, CaCl_2 çözeltisinden elde edilen kısa-dönem doğal imbibisyon hızının NaCl çözeltisinden elde edilen hıza oranla daha fazla olduğu görülmüş fakat çözelti farklılığının çok kuvvetli su ıslatımlı sistemlerde nihayi petrol üretimine etkisinin olmadığı bulunmuştur.

Yıldırım (1999) doğal imbibisyon yöntemini de kullanarak tuzlu su/gazyağı/Berea kumtaşı sisteminin ıslatımlılığını sayısal olarak Amott ıslatımlılık indeksine göre araştırmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, Amott indeksinin (WI) kullanılan sistem için 1.0 (bir) olduğu ifade edilmiştir. Bu sonuç göstermektedir ki kullanılan tuzlu su/gazyağı/Berea kumtaşı sistemi çok kuvvetli su ıslatımlı bir sistemdir.

Çatak (2001) Berea kumtaşı karotları kullanarak silindirik, kare prizma ve üçgen prizmalarda doğal imbibisyon deneyleri gerçekleştirmiştir. Çalışma sonunda, en yüksek üretim hızının ve nihayi petrol üretiminin silindirik karotlardan elde edildiği görülmüştür. Silindirik karotları sırasıyla kare prizma ve üçgen prizma karotlar takip etmiştir.

2. TEMEL TANIMLAR VE İMBİBİSYONA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

İmbibisyon olayı incelenirken gözönünde bulundurulması gereken bazı temel faktörler vardır. Bunlardan bazıları şekil faktörü, karakteristik uzunluk, sınır koşulları ve boyutsuz zaman kavramı olarak sıralanabilir. Bu bölümde bu temel tanımlar ve imbibisyona etki eden temel faktörlerden bahsedilmektedir.

2.1 Temel Tanımlar

Bu çalışmanın amaçları arasında yeralan şekil faktörü, karakteristik uzunluk ve sınır koşulları ile boyutsuz zaman kavramı aşağıda tek tek açıklanmaktadır.

2.1.1 Şekil Faktörü

Üretim, rezervuardaki çatlaklardan yapılıyorsa, farklı matriks boyutları, farklı matriks şekilleri ve farklı sınır koşullarına sahip sistemlerde çatlaklar ve kayaç matriks arasındaki kütle transferi farklılık gösterecektir. Numune geometrisinin nihayi petrol üretimi üzerindeki etkisini karşılayacak bir şekil faktörü, F_s , tanımlanmıştır (Kazemi ve diğ., 1992).

$$F_s = \frac{1}{V} \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{d_{A_i}} \quad (2.1)$$

Burada;

F_s : şekil faktörü, cm^{-2}

V : kaba hacim, cm^3

A_i : imbibisyona açık yüzey alanı, cm^2

d_{A_i} : A_i yüzeyinden matrix merkezine uzaklık, cm

n : imbibisyona açık yüzey sayısı

2.1.2 Karakteristik Uzunluk

Karakteristik uzunluk, imbibisyona açık her bir alanın matriks merkezine olan uzaklıklarına oranının toplamının toplam hacme oranının karekökü olarak ifade edilir

(Kazemi ve diğ., 1992). Genel olarak, hacmin akışa açık yüzey alanına oranı (hacim/alan) ne kadar küçükse, imbibisyon hızı o denli yüksek olacaktır. Bu durumda karakteristik uzunluk, L_s , aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$L_s = \sqrt{\frac{V}{\sum_{i=1}^n \frac{A_i}{d_{A_i}}}} \quad (2.2)$$

Karakteristik uzunluk, L_s , deneylerle test edildiğinde farklı sınır koşullarına sahip sistemler için yetersiz kaldığı görülmüştür. Farklı sınır koşullarına sahip sistemlerde Kazemi'in ortaya koyduğu " A_i yüzeyinden matriks merkezine uzaklık, d_{A_i} " parametresi yerine "akış olmayan bölgeden imbibisyon yüzeyine olan mesafe, x_{A_i} " parametresini kullanmanın daha doğru olacağı düşünülmüştür (Ma ve diğ., 1995). Bunun üzerine "düzenlenmiş karakteristik uzunluk" kavramına ulaşmıştır.

Düzenlenmiş karakteristik uzunluk, L_c , aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$L_c = \sqrt{\frac{V}{\sum_{i=1}^n \frac{A_i}{x_{A_i}}}} \quad (2.3)$$

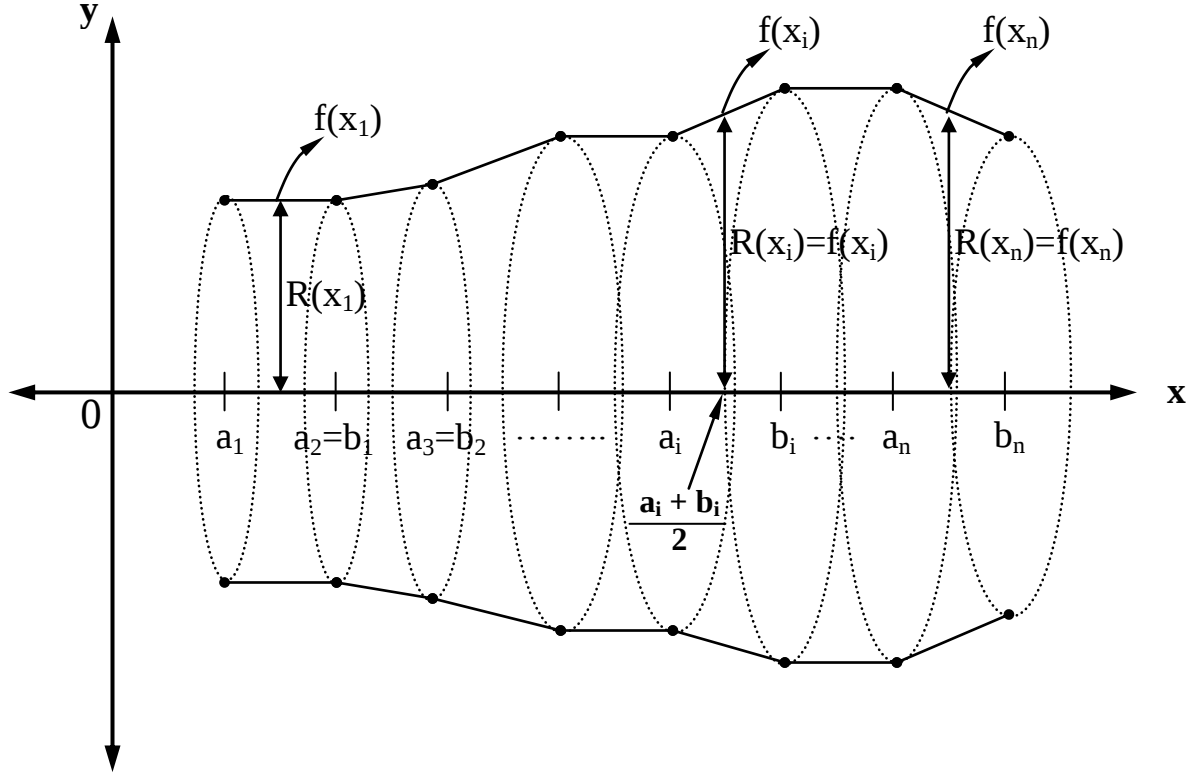
Burada;

x_{A_i} : akış olmayan bölgeden imbibisyon yüzeyine olan mesafedir.

2.1.3 Şekil Faktörü ve Karakteristik Uzunluğun Matematiksel İfadesi

Yukarıda anlatılan şekil faktörü ve karakteristik uzunluk ifadeleri uygulama açısından düzgün geometrik şekle (silindirik, kare prizma, üçgen prizma, v.b.) sahip karotlar için idealdir. Fakat bu ifadeler düzgün olmayan geometrik şekle sahip örnekler üzerinde uygulama yapmayı mümkün kılmamaktadır. Buradan hareketle bu iki ifade için genel bir matematiksel ifade aşağıdaki şekilde geliştirilmiştir. Bu ifade kullanılarak düzgün olmayan geometrik şekle sahip örnekler üzerinde de şekil faktörü ve karakteristik uzunluk hesaplamaları yapılabilecek ve bu tip örnekler üzerinde de şekil faktörü ve karakteristik uzunluğun doğal imbibisyon mekanizması üzerindeki etkileri araştırılabilecektir.

Şekil 2.1’de ifade şematiksel olarak gösterilmiştir. Burada karot yüzeyi boyunca değişen eğimler nedeniyle oluşan her bir yüzey için birer $f(x)$ fonksiyonu tanımlanmış ve bu fonksiyonların “x” eksenine göre döndürülmeleriyle oluşan şekil göz önüne alınarak ifade geliştirilmiştir (Cesur, 2003).



Şekil 2.1 Şekil faktörü ve karakteristik uzunluğun matematiksel ifadesi (Cesur, 2003).

Şekil 2.1’de,

$$x_1 \in [a_1, b_1] \quad , \quad x_i \in [a_i, b_i] \quad , \quad x_n \in [a_n, b_n] \quad (2.4)$$

ve

$$f(x_1) = ax_1 + b \quad , \quad f(x_i) = cx_i + d \quad , \quad f(x_n) = ex_n + l \quad (2.5)$$

olarak ifade edilmiştir. Bu noktadan hareketle kaba hacim ve yüzey alanları aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$V = \sum_{i=1}^n \int_{a_i}^{b_i} \pi [R(x_i)]^2 dx_i \quad (2.6)$$

Yanal yüzey için;

$$A_i = 2\pi R(x_i)(b_i - a_i) \quad (2.7)$$

$$d_{A_i} = R\left(\frac{a_i + b_i}{2}\right) \quad (2.8)$$

sol ve sağ tabanlar için;

$$A_{l_i} = \pi [R(a_i)]^2 \quad (2.9)$$

$$A_{r_i} = \pi [R(b_i)]^2 \quad (2.10)$$

$$d_{lr_i} = \frac{b_i - a_i}{2} \quad (2.11)$$

Burada,

V : Fonksiyonun “x” ekseninde döndürülmesiyle oluşan şeklin hacmi, cm^3

A_i : i nci parçanın yanal alanı, cm^2

d_{A_i} : Yanal alandan akışa kapalı olan sınıra uzaklık, cm

A_{l_i} : i nci parçanın sol taban alanı, cm^2

A_{r_i} : i nci parçanın sağ taban alanı, cm^2

d_{lr_i} : Sol ve sağ taban alanlarından akışa kapalı sınıra olan uzaklık, cm

Yukarıda yapılan tanımlar kullanılarak şekil faktörü ve karakteristik uzunluk aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir.

$$F_s = \frac{1}{V} \left[\sum_{i=1}^n \frac{A_i}{d_{A_i}} + \sum_{i=1}^n \frac{A_{l_i}}{d_{lr_i}} + \sum_{i=1}^n \frac{A_{r_i}}{d_{lr_i}} \right] \quad (2.12)$$

$$L_s = \sqrt{\frac{V}{\sum_{i=1}^n \frac{A_i}{d_{A_i}} + \sum_{i=1}^n \frac{A_{l_i}}{d_{lr_i}} + \sum_{i=1}^n \frac{A_{r_i}}{d_{lr_i}}}} \quad (2.13)$$

2.1.4 Sınır Koşulları

Rezervuar değerlendirilmesi yapılırken bazı özel durumların da değerlendirilmesi gerekmektedir. Bunlar rezervuarı çevreleyen doğal akış sınırları olarak düşünülebilir.

Bu çalışmada sınır koşullarının imbibisyon üzerindeki etkilerini görebilmek amacıyla

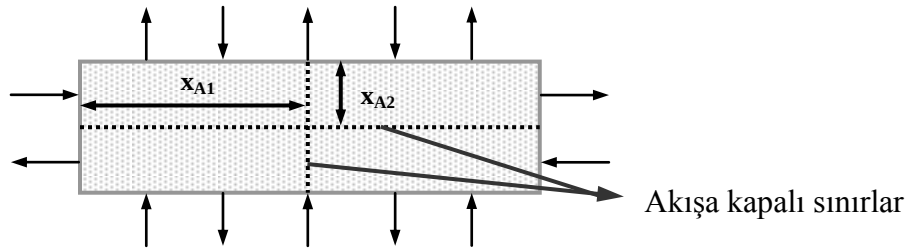
4 farklı sınır koşulu uygulanmıştır (Zhang ve diğ., 1995). Bu dört farklı sınır koşulları aşağıda sıralanmıştır.

1. Tüm yüzeyleri açık sistemler (AFO).
2. İki ucu kapalı sistemler (TEC).
3. İki ucu açık sistemler (TEO).
4. Bir ucu açık sistemler (OEO).

Sınır koşulları karotların kapatılacak olan yüzeylerine epoksi reçine sürülerek oluşturulmuştur. Bu sınır koşulları sadece silindirik karotlara uygulanmış olup aşağıda alt başlıklar halinde verilmiştir.

2.1.4.1 Tüm Yüzeyleri Açık Sistemler (AFO)

Adındanda anlaşılacağı gibi bu sistemlerde akış karotun tüm yüzeyleri boyunca gerçekleşir ve hem su hemde petrol aynı yüzeyde hareket edebilirler. Şekil 2.2’de tüm yüzeyleri açık olan silindirik bir sistem şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Tüm yüzeyleri akışa açık sistem.

Şekil 2.2’de noktalı çizgilerle doğal akışa kapalı sınırlar gösterilmiştir. Bu sınırların imbibisyona açık akış yüzeyine olan uzaklıkları ise “ x_{Ai} ” ile ifade edilmiştir. Karakteristik uzunluk hesabı yapılırken herbir akışa açık yüzeyin akışa kapalı sınıra olan uzaklıkları (x_{Ai}) Denklem 2.3’te gösterildiği şekilde kullanılmaktadır. Tüm yüzeyleri akışa açık silindirik karotlarda Denklem 2.3, aşağıdaki basit ifade ile gösterilebilir.

$$L_c = \frac{DL}{2\sqrt{D^2 + 2L^2}} \quad (2.14)$$

Burada,

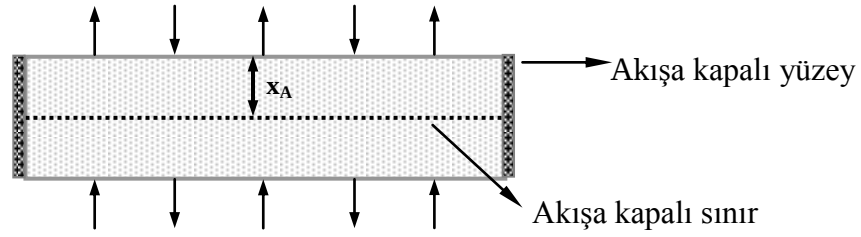
D : Silindirik karotun çapı, cm

L : Silindirik karotun uzunluğu, cm

2.1.4.2 İki Ucu Kapalı Sistemler (TEC)

İki ucu kapalı sistemlerde (Şekil 2.3), iki taban alanı (alt ve üst) epoksi reçine ile akışa kapatılmış olup, akış karotun yanal yüzeyi boyunca gerçekleşir ve akış türü çevreldir.

Şekilden de görülebileceği gibi akışa kapalı sınır karotun simetri merkezidir ve karakteristik uzunluk karot uzunluğundan bağımsız olarak karot çapının bir fonksiyonudur (Zhang ve diğ., 1995).



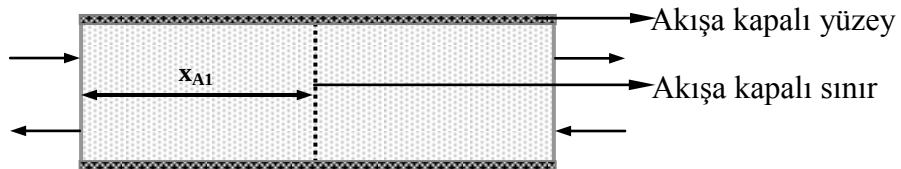
Şekil 2.3 İki ucu kapalı sistem.

$$L_c = \frac{D}{2\sqrt{2}} \quad (2.15)$$

Burada “D” silindirik karotun çapını ifade etmektedir.

2.1.4.3 İki Ucu Açık Sistemler (TEO)

İki ucu açık sistemlerde, silindirik karotun yanal yüzeyi epoksi reçine ile kapatılmış, akış karotun alt ve üst iki ucundan (taban alanlarından) gerçekleşmektedir. Şekil 2.4’te iki ucu açık sistem şematik olarak gösterilmektedir.



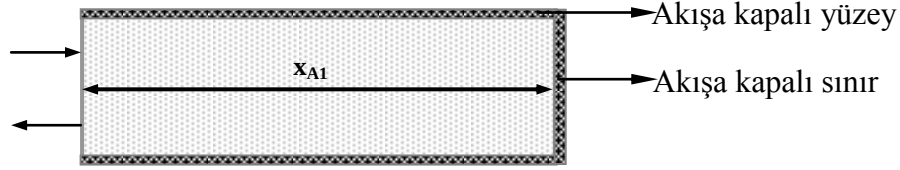
Şekil 2.4 İki ucu açık sistem.

Bu sistemlerde karakteristik uzunluk karot çapından bağımsız olarak karot uzunluğunun bir fonksiyonudur (Zhang ve diğ., 1995).

$$L_c = \frac{L}{2} = x_{A_1} \quad (2.16)$$

2.1.4.4 Bir Ucu Açık Sistemler (OEO)

Bir ucu açık sistemlerde silindirik karotun yanal yüzeyi ve bir ucu (örneğin alt taban alanı) epoksi reçine ile kapatılarak akışın sadece bir uçtan (üst taban alanından) gerçekleştirilmesi sağlanır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 Bir ucu açık sistem.

Bir ucu açık sistemlerde karakteristik uzunluk, karot çapından bağımsız olarak karotun uzunluğuna eşit olup, aşağıda verilen Denklem 2.17 ile ifade edilir (Zhang ve diğ., 1995).

$$L_c = L = x_{A_1} \quad (2.17)$$

2.1.5 Boyutsuz Zaman Kavramı

Laboratuvar verilerinin saha koşullarına uyarlanması konusunda çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar dahilinde farklı petrol/su/kayaç sistemlerinin imbibisyon sonuçlarının değerlendirilmesinde veya laboratuvar deneyleriyle saha performansı tahminlerinde kullanılmak üzere boyutsuz zaman kavramı geliştirilmiştir (Mattax ve Kyte, 1962). Boyutsuz zaman aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$t_{D,MK} = t \sqrt{\frac{k}{\phi}} \frac{\sigma}{\mu_w} \frac{1}{L^2} \quad (2.18)$$

Burada;

- $t_{D,MK}$: boyutsuz zaman
- t : imbibisyon süresi, dk
- k : geçirgenlik, md
- ϕ : gözeneklilik
- σ : arayüzey gerilimi, din/cm (mN/m)
- μ_w : su akma viskozitesi, cP

L : karakteristik uzunluk, cm

Denklemin boyut analizi yapılırsa:

$$t_{D,MK} = [T] \sqrt{[L^2]} \frac{\left[\frac{ML}{T^2 L} \right]}{\left[\frac{M}{LT} \right]} \frac{1}{[L^2]} \Rightarrow t_{D,MK} \text{ boyutsuzdur.}$$

Burada Temel Boyutlar,

[T] : zaman

[M] : kütle

[L] : uzunluk

şeklinde ifade edilir.

Denklem 2.18 oluşturulurken aşağıdaki varsayımlar yapılmıştır;

1. Üzerinde çalışılan numunelerin şekilleri ve sınır koşulları aynı olmalıdır.
2. Petrol akmaazlığı/su akmaazlığı oranı aynı, ya da çok yakın olmalıdır.
3. Yerçekimi etkileri ihmal edilmiştir.
4. Başlangıç akışkan dağılımları hemen hemen aynıdır.
5. Kılcal basınç etkileri doğru orantılıdır.
6. Göreli geçirgenlik fonksiyonları aynı olmalıdır.

(4), (5) ve (6) numaralı varsayımlar gösteriyorki kayaç ıslatımlılıkları aynı olmalı ve benzer gözenek yapısı göstermelidir. Farklı büyüklük, şekil, sınır koşulları ve akmaazlık oranlarını kapsayan çalışmalardan sonra deney verilerinin Denklem 2.18’yi sağladığı görülmüştür (Mattax ve Kyte, 1962).

Denklem 2.18 ’in türetilmesindeki varsayımlardan birinin de akmaazlık oranlarının aynı olduğu düşünülürse, petrol akmaazlığı da Denklem 2.18’de kullanılabilir. Akmaazlık oranının sabit olması koşuluyla su/petrol sistemleri için imbibisyon hızının, $\mu_{gm} = \sqrt{\mu_w \mu_o}$, su ve petrol fazlarının akmaazlıklarının geometrik ortalamalarıyla orantılı olduğu gözlenmiştir (Zhang ve diğ.,1995).

Akmaazlık oranı, numune şekli ve sınır koşullarının etkisini beraberce karşılayabilmek ve imbibisyon üretim eğrilerinin oluşturulmasında kullanmak üzere “düzeltilmiş boyutsuz zaman” kavramı önerilmiştir (Zhang ve diğ.,1995). Düzeltilmiş boyutsuz zaman aşağıdaki gibi formüle edilir.

$$t_D = t \sqrt{\frac{k}{\phi}} \frac{\sigma}{\mu_{gm}} \frac{1}{L_c^2} \quad (2.19)$$

Burada;

t_D : düzeltilmiş boyutsuz zaman

μ_{gm} : petrol akmaçlığı ve su akmaçlığının geometrik ortalaması, cP

L_c : karakteristik uzunluk, cm

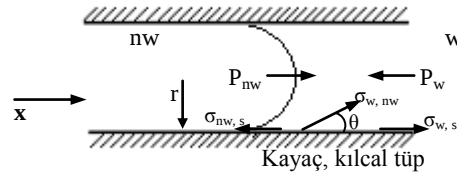
2.2. İmbibisyona Etki Eden Temel Faktörler

İmbibisyon olayı incelenirken dikkat edilmesi gereken bazı temel etkiler vardır. Bunlar, kılcal basınç, ıslatımlılık ve akışkan özellikleri olarak sıralanabilir. Aşağıda alt başlıklar halinde bu etkilerden bahsedilmiştir.

2.2.1. Kılcal Basıncın Etkisi

Gözenekli bir ortamda karışamaz iki akışkan temas halindeyse, bu iki akışkan arasında eğrisel bir arayüzey oluşur. Bu arayüzeyde bir temas açısından, θ , bahsedilir. Bu temas açısı ıslatımlılıkla doğrudan alakalıdır.

Petrol mühendisliğinde, arayüzeydeki ıslatmayan faz ile ıslatan faz arasındaki basınç farkı kılcal basınç olarak tanımlanır (Yıldız, 1998). Gözenekli ortamda/kılcal tüpte kılcal basınç kuvvetler dengesi gözönüne alınarak aşağıdaki şekilde ifade edilir.



Şekil 2.6 Gözenekli ortamda/kılcal tüpte kuvvetler dengesi.

$$\sum F_x = 0 \quad (2.20)$$

$$P_{nw}(\pi r^2) - \sigma_{nw,s}(2\pi r) - P_w(\pi r^2) + \sigma_{w,s}(2\pi r) = 0 \quad (2.21)$$

$$\pi r^2 (P_{nw} - P_w) = 2\pi r (\sigma_{nw,s} - \sigma_{w,s}) \quad (2.22)$$

$$P_{nw} - P_w = \frac{2(\sigma_{nw,s} - \sigma_{w,s})}{r} \quad (2.23)$$

Denklem 1.1'den

$$P_c = P_{nw} - P_w = \frac{2\sigma_{w,nw} \cos \theta}{r} \quad (2.24)$$

Burada;

P_{nw} : Islatmayan faz tarafındaki basınç

P_w : Islatan faz tarafındaki basınç

r : Kılcal tüpün yarıçapı

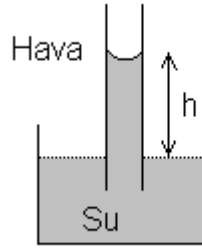
$\sigma_{w,s}$: Islatan fazın kılcal tüple olan yüzey gerilimi, din/cm

$\sigma_{nw,s}$: Islatmayan fazın kılcal tüple olan yüzey gerilimi, din/cm

$\sigma_{w,nw}$: Islatan/ıslatmayan fazların arayüzey gerilimi, din/cm

olarak tanımlanırlar.

Arayüzey geriliminin en belirgin gözlemi ise kılcal tüpte suyun yükselmesidir. Kılcal bir tüp su içerisine daldırıldığı zaman, su kılcal tüp içerisinde kabın yüzeyinden “h” kadar bir yüksekliğe çıkar (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 Kılcal yükselmenin şematik gösterimi.

Kılcal boru arayüzeyinde (su/hava) oluşan basınç farkı kılcal basınçtır ve arayüzey geriliminin bir sonucudur.

$$P_c = P_a - P_w = h(\rho_w - \rho_a)g = h\Delta\rho g \quad (2.25)$$

Kılcal basınç, arayüzey gerilimi ve eğrilik yarıçapları cinsinden aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$P_a - P_w = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (2.26)$$

Burada R_1 ve R_2 arayüzeyin başlıca eğrilik yarıçaplarıdır.

İnce silindirik bir tüp söz konusu olduğunda arayüzey pratik olarak küreseldir. Bu durumda kılcal basınç,

$$P_a - P_w = \frac{2\sigma}{R} \quad (2.27)$$

şeklinde yazılabilir. Arayüzey eğrilik yarıçapını tüpün yarıçapı cinsinden yazarsak,

$$r = R \cos \theta \quad (2.28)$$

ve Deklem 2.28'i Denklem 2.27'de yerine koyarsak,

$$P_a - P_w = \frac{2\sigma \cos \theta}{r} \quad (2.29)$$

ifadesini elde ederiz. Burada θ , temas açısıdır.

Doğal çatlaklı rezervuarlarda kılcal kuvvetler, itişim mekanizmasında önemli bir yere sahiptir. Kılcal basınç, imbibisyon ötelemesine yardımcı olurken, drenaj ötelemesinde (ıslatmayan fazın, ıslatan fazı ötelemesi) ters etki yaratabilir. İmbibisyon kılcal basıncı, ıslatan faz ile ötelenecek olan ıslatmayan faz arasında oluşur (Toklu, 1991; Satman ve diğ., 1992).

2.2.2. Islatımlılığın Etkisi

İmbibisyon mekanizmasında ıslatımlılığın önemi oldukça fazladır. Kuvvetli su ıslatımlı rezervuarlarda suyun üretim kuyusuna varış anı, petrol ıslatımlı rezervuarlardakine göre daha geç olmaktadır. Buna bağlı olarak da üretilen petrol hacmi fazladır (Morrow, 1990).

Yapılan çalışmalar başlangıç su doynuşluğu ne olursa olsun, doğal imbibisyon ile petrol üretiminin, suya olan ıslatımlılık indeksinin belirli bir değerine kadar arttığını ve bu maksimum değerden sonra suya olan ıslatımlılık indeksiyle beraber düştüğünü göstermiştir (Zhou ve diğ., 1995).

Denklem 2.29'a göre bir yorum getirecek olursak, suya olan ıslatımlılık artıkça temas açısı küçüleceğinden kılcal basınç artacaktır. Bu da imbibisyonun öteleme etkisini veya imbibisyon hızını arttıran bir parametre olacaktır. Çok kuvvetli su ıslatımlı sistemlerin imbibisyon hızları daha az su ıslatımlı veya petrol ıslatımlı sistemlerin imbibisyon üretim hızlarından daha hızlı olacaktır. Dolayısı ile imbibisyon üretim

hızı eğrileri ıslatımlılığın kalitatif (niteliksel) olarak değeriendirilmesinde ön plana çıkarlar.

2.2.3. Akışkan Özelliklerinin Etkisi

İmbibisyona etki eden akışkan özelliklerinden olan yüzey gerilimi ve akmazlığın doğru tespit edilmesi, imbibisyon modellenmesinde oldukça önemlidir.

İki karışmayan akışkan arasında oluşan arayüzey gerilimindeki artış veya azalış kılcal kuvveti değıştireceğinden imbibisyon üzerinde de etki yaratacaktır. Arayüzey geriliminin artması imbibisyon hızını arttıracaktır.

Akmazlık ise bilindiğı üzere akışkanların kayma gerilimine veya akmaya karşı gösterdikleri dirençtir. Bu cümleden de anlaşılacağı gibi petrolün akmazlığı arttığında petrol üretiminde bir azalma olacaktır. Ötelenen fazın akmazlığı azaldığında ise imbibisyon ve öteleme daha kolay olacak, böylece daha fazla petrol üretimi sağlanabilecektir.

3. DENEYSEL YÖNTEM

Bu bölümde çok kuvvetli su ıslatımlı sistemi temsil eden gazyağı/% 2 NaCl çözeltisi/Berea sisteminde silindirik, kare prizma ve üçgen prizma karotlarla yapılan deneysel çalışmaya ait yöntem anlatılacaktır.

3.1. Yapılan Ön Çalışmalar

Doğal imbibisyon deneylerinde kullanılan karotların kayaç özelliklerinin belirlenebilmesi için yapılan başlıca deneyler aşağıda madde madde sıralanmıştır.

- Karotların kesilmesi
- Karotların boyutlandırılması
- Karotların kurutulması
- Karotların doyurulması
- Gözeneklilik
- Sıvı geçirgenliği

3.1.1. Karotların Kesilmesi

Bloklardan karot matkabı ile silindirik tapa olarak alınan karotlar, daha sonra istenilen boyuta ve şekle göre kesilirler. Karot matkabı düzeneği, matkap gövdesi, bu gövdeye bağlı kesici uç ve bu kesici matkap ucunu döndüren motor ile kesim sırasında gerekli suyu sağlayan su pompasından oluşmaktadır. Bu silindirik karot tapalarının istenilen boyutta ve şekilde kesilmesinde ise sulu kesim bıçkısı kullanılmıştır.

3.1.2. Karotların Boyutlandırılması

Deneylerde kullanılan tüm karotlar deneye tabi tutulmadan önce kumpas yardımı ile boyutlandırılmıştır. Bu işlem yapılırken karotların tüm yüzeylerinden altışar ölçüm alınmış ve boyutlar bu ölçümlerin ortalaması olarak ait oldukları karota atanmışlardır.

3.1.3. Karotların Kurutulması

Karotlar gözeneklerinde bulunabilecek herhangi bir sıvı faz yada nemden arındırılmaları için ilk olarak 110° C sıcaklıktaki etüv içinde 72 saat süre ile kurutulmuşlardır.

3.1.4. Karotların Doyurulması

Etüv içerisinde kurutulmuş karotlar desikatöre yerleştirilerek 12 saat süre ile vakum pompası ile havası alınmıştır. Vakum durdurulduktan sonra karotların kuru kütleleri (m_d) terazi ile ölçülmüş ve daha sonra karotlar belirli bir süre vakumda bekletildikten sonra saf su ile doyurulmuşlardır. Doyurma işlemi desikatör ile vakum altında en az 24 saat süre ile devam etmiştir. Doyurma işlemi sonunda karotların doymuş kütleleri (m_{sat}) ölçülmüştür (Mihçakan ve Uğur, 1999).

3.1.5. Gözeneklilik

Karot ölçüleri kullanılarak kaba hacimler (V_b) hesaplanmıştır. Daha sonra m_{sat} ve m_d değerleri kullanılarak karot içindeki doyurma sıvısı kütlesi bulunmuş ve doyurma sıvısı yoğunluğu da (ρ_f) kullanılarak gözenek hacmi (PV) aşağıdaki denklemle bulunmuştur.

$$PV = \frac{m_{sat} - m_d}{\rho_f} \quad (3.1)$$

Kaba hacim (V_b) ve gözenek hacmi (PV) kullanılarak karot gözeneklilikleri aşağıdaki denklemle bulunur.

$$\Phi = \frac{PV}{V_b} \quad (3.2)$$

3.1.6. Sıvı Geçirgenliği

Karotların mutlak geçirgenliklerini belirleyebilmek amacı ile sıvı geçirgenliği deneyleri yapılmıştır. Karotların geçirgenliklerini saptamak için ‘EPS–DLP 100 SAYISAL SIVI GEÇİRGENLİK ÖLÇER’ donanımı kullanılmıştır (Mihçakan ve Uğur, 1999).

3.1.6.1. EPS–DLP 100 Donanımı Tanıtımı

Donanım üzerinde açma-kapama düğmesi, sıcaklık, giriş basıncı, karotun iki ucu arasındaki basınç farkı ve akış ölçer dijital göstergeleri, karotiyer giriş-çıkış bağlantı noktaları ve akış türü kontrol vanası bulunmaktadır.

Deney düzeneğinde ise EPS–DLP 100 donanımına bağlı akışkan pompalama ünitesi ile karot tutucu bulunmaktadır. Ayrıca karotta sadece giriş ve çıkış uçları doğrultusunda akış sağlanması için karotun yan yüzeyine basınç uygulayan yağ pompası da karotiye bağlanmıştır (Mihçakan ve Uğur, 1999).

3.1.6.2. Deneyin Yapılışı

Geçirgenliği ölçülecek karot %100 saf su ile doyurulmuş halde dikkatli bir şekilde karot tutucuya yerleştirildikten sonra yağ pompası ile karotiye içerisinde bulunan ve karotu yan yüzeylerinden saran kauçuğa 300 psi’lik sıkıştırma basıncı uygulanır. Karotiye giriş ve çıkış uçları EPS–DLP 100 donanımında yerlerine bağlanır. Pompada donanıma bağlandıktan sonra açma-kapama düğmesine basılarak düzeneğe enerji verilir (deneyden yaklaşık 1 saat önce açılmasında fayda vardır) ve düzenek deneye hazır hale getirilir.

Pompadan değişik debilerde akışkan basılarak her debi için sıcaklık (T), giriş basıncı (P_1), basınç farkı (ΔP) ve akış debisi (Q) okumaları yapılır. Elde edilen veriler karot içinde laminer akış sağlandığı ve Darcy yasasına uyduğu göz önüne alınarak,

$$q = \frac{kA}{\mu} \frac{\Delta P}{L} \quad (3.3)$$

formülü aşağıdaki şekilde uygulamaya sokulmuştur :

$$\frac{q\mu}{A} = k \frac{\Delta P}{L} \quad (3.4)$$

Denklemlere göre $\Delta P/L$ - $q\mu/A$ grafiği çizilir ve elde edilen doğrunun eğiminden geçirgenlik (k) bulunur. Bu denklemlerde,

q : Akış debisi, cm^3/s

μ : Akışkan akma viskozitesi, cp

A : Karot kesit (akış) alanı, cm^2

ΔP : İki uç arasındaki basınç farkı, atm

L : Karot uzunluğu, cm

k : Sıvı geçirgenliği, D

olarak tanımlanırlar.

3.2. Akışkan Özellikleri

Bu çalışmada yapılan deneylerde su fazı olarak %2'lik NaCl çözeltisi ve petrol fazı olarak da rafine gazyağı kullanılmıştır. Akışkanların fiziksel özellikleri Tablo 3.1'de verilmiştir.

3.2.1. Tuzlu Su Çözeltisinin Hazırlanması

Tuzlu su çözeltisi başlıca iki yöntemle göre hazırlanabilir. Bunlar sırasıyla Kütle/Hacim oranı ve Kütle/Kütle oranı methodlarıdır (Ucko, 1982).

3.2.1.1. Kütle/Hacim Oranı

Bu yöntemde çözelti hazırlanırken toplam hacim göz önüne alınır. Hazırlanacak çözelti içine katılacak katı madde miktarı aşağıdaki denklemle bulunabilir.

$$w/v = \frac{(\text{çözünen madde miktarı})}{(100 \text{ ml çözelti}) (top. \text{çöz. hacmi})} \quad (3.5)$$

Örneğin, 1000 ml %5 'lik NaCl çözeltisi hazırlamak istiyoruz.

$$(1000 \text{ ml çözelti}) \frac{(5 \text{ gr NaCl})}{(100 \text{ ml çöz.})} = 50 \text{ gr NaCl}$$

Burada 50 gr NaCl 1000 ml çözücü içine karıştırıldığında 1000ml %5'lik NaCl çözeltisi hazırlanmış olur.

3.2.1.2. Kütle/Kütle Oranı

Bu yöntemde ise çözelti hazırlanırken göz önünde bulundurulacak özellik çözeltinin toplam kütlesidir. Hazırlanacak çözelti içine katılacak katı madde miktarı aşağıdaki denklemle bulunabilir.

$$w/w = \left[\frac{(\text{çözünen madde miktarı})}{(100 \text{ gr çözelti})} \right] (top. \text{çöz. kütlesi}) \quad (3.6)$$

Bu çalışmada kullanılan çözeltiler w/w yöntemine göre hesaplanarak hazırlanmıştır. Kullanılan ağırlıkça %2'lik NaCl çözeltisinin içine karıştırılacak olan NaCl miktarı aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

%2NaCl :

$$\left[\frac{(2 \text{ gr NaCl})}{(100 \text{ gr çöz.})} \right] (1000 \text{ gr çöz.}) = 20 \text{ gr NaCl}$$

1000 gr çözelti - 20 gr NaCl = 980 gr saf su

Çalışmalarda kullanılan çözeltilerin bu yöntemle hazırlanmasının sebebi hacimsel çalışmalarda hata oranının kütsel çalışmalardakine oranla daha fazla olmasıdır. Bu çalışmada kullanılan çözeltinin özellikleri Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'de gösterilmiştir.

3.2.2. Gaz Yağı

Bu çalışmada hidrokarbon olarak rafine gaz yağı kullanılmıştır. Kullanılan gaz yağı İzmit Tüpraş Rafineri Müd. çıkışlı olup bu çalışma için laboratuvarımıza getirilmiştir. Gaz yağının özellikleri Tablo 3.1 ve Tablo 3.2 ile verilmiştir.

Tablo 3.1 Kullanılan akışkanların fiziksel özellikleri.

Akışkan	ρ , @ 20 °C, gr/cm ³	μ , @ 20 °C, cP
%2 NaCl	1.0254	0.983
Gazyağı	0.8	2.19

Tablo 3.2 Tuzlu su ve gazyağının yüzey ve arayüzey gerilimleri.

Sistem	σ , @ 20 °C, din/cm
%2 NaCl - Hava	73.4
Gazyağı - Hava	29.9
%2 NaCl - Gazyağı	36.6

3.3. Kayaç Özellikleri

Bu çalışmada kullanılan tüm kayaçlar Berea kumtaşı formasyonundan kesilmiş tapalardır. Bu tapaların gözeneklilikleri yaklaşık %21 ile %24.7 arasında değişim göstermekte ve tuzlu su çözeltisine geçirgenlikleri ise 480 md ile 800 md arasında

değişmektedir. Kullanılan karot örneklerine ait fiziksel özellikler Tablo 3.3'te ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

Tablo 3.3 Karotların fiziksel özellikleri.

Karot No	Şekil	L, cm	k _b , md	φ, %
BE-3	Silindir	7.6350	793	22.9
BE-92	Silindir	5.0900	585	22.6
BE-93A	Silindir	3.0790	575	21.5
BE-2B	Silindir	1.4953	685	22.4
BE-2A	Silindir	1.3708	685	22.3
BE-1	Silindir	7.6900	710	21.5
BE-1A	Silindir	3.6833	710	21.3
BE-81	Silindir	7.7000	675	22.8
BE-91	Kare Prizma	7.6900	767	23.4
BE-10	Kare Prizma	5.0269	580	22.9
I-2	Kare Prizma	3.4650	690	24.4
BE-91A	Kare Prizma	1.8094	767	22.9
BE-89	Üçgen Prizma	7.6900	488	23.9
BE-90A	Üçgen Prizma	3.3800	726	24.7
I-1	Üçgen Prizma	3.3400	690	24.3

3.4. Örneklerin Deneye Hazırlanması

Gözeneklilikleri ve geçirgenlikleri saptanmış örnekler etüv içerisinde kurutulduktan sonra desikatör yardımıyla gazyağı ile % 100 doyurularak ($S_{oi}=1.0$, $S_{wi}=0.0$) doğal imbibisyon deneyi için hazır hale getirilirler. Tüm numuneler, doyurma işlemi tamamlanır tamamlanmaz doğal imbibisyon deney düzeneğine yerleştirilirler.

3.5. Doğal İmbibisyon Deneysel Çalışması

3.5.1. Yöntemin Tanıtılması

Doğal imbibisyon deneyleri iki yöntemle yapılabilir. Bu çalışmada anlatılacak ikinci yöntem olan kütle değişimine göre üretim-zaman ilişkisini veren yöntem kullanılmıştır (Jadhunandan ve Morrow, 1991).

3.5.1.1. Üretim Hacmi Yöntemi

Bu yöntem, içi karotu ıslatan fazla dolu cam bir kap içine yerleştirilen karottan yapılan üretimin, kabın üst tarafındaki dereceli silindir ile zamana karşı olarak ölçülmesi metodudur (Bobek ve diğ., 1958; Denekas ve diğ., 1959; Toklu, 1991; Satman ve diğ., 1992).

3.5.1.2. Kütle Değişimi Yöntemi

Bu yöntemde, karotlar teraziye bağlı bir şekilde içinde ıslatan faz bulunan bir kap içine sallandırılarak zamana göre terazideki kütle değişimi kaydedilerek % yerinde petrol miktarı (OOIP) hesaplanır. Yöntemin şematik resmi Şekil 3.1 ile verilmiştir (Jadhunandan ve Morrow, 1991).

Bu çalışmada kütle değişimi yönteminin kullanılmasının nedeni, hacim okumalarında yapılabilecek okuma hatalarını azaltmaktır. Bu uygulamada kullanılan terazi ile yapılan okumalarda hassasiyet 0.001 gr'dır.

3.5.2. Deneyin Yapılışı

Tüm deneyler oda sıcaklığında yapılmıştır. Gaz yağı ile doyurulmuş karot öncelikle askıda dengede duracak şekilde bir misina ile bağlanır. Daha sonra karot bir sehpa üzerinde bulunan hassas teraziye alt tarafından asılır. Bu işlemler yapılırken karotun etrafında fazladan gaz yağı birikintileri kalmaması için karot hafifçe silinir. Karot, terazi göstergesi sıfırlandıktan sonra 1000 ml hacime sahip ve içinde yaklaşık 850 ml emme sıvısı bulunan (% 2 NaCl çözeltisi) cam beher içine daldırılır ve kronometre çalıştırılır.

İlk daldırma anındaki kütle teraziden okunur ve bu değer sıfırcı zaman olarak kaydedilir. Devam eden zamanlarda belirli aralıklarla teraziden okumalar yapılır. Gaz yağı karottan ötelenip yerine daha yoğun olan tuzlu su girdiği için terazide okunan değer gittikçe büyüyecektir. Üretimin tamamlanması için deneyler genelde bir hafta sürdürülmüştür. Literatüre bakıldığında yeterli sonuçların elde edilmesi için gerekli sürenin yaklaşık bir ay olması gerektiği görülmektedir (Jadhunandan ve Morrow, 1991). Fakat bu çalışmada kullanılan sistemler çok kuvvetli su ıslatımlı sistemler (Yıldırım, 1999) olduğundan imbibisyon daha hızlı gerçekleşmekte ve bir hafta sonunda üretim tamamıyla sonlanmaktadır.

Zamana bağılı olarak kaydedilen ölçüm değerleri aşağıdaki formülde kullanılarak yapılan toplam imbibisyon üretimi % OOIP cinsinden bulunabilir.

$$\ddot{U}_{retim} = \frac{W_i - W_o}{V_{oi} * (\rho_b - \rho_o)} \quad (3.7)$$

Bu denklemde;

Üretim : Kümülatif petrol üretimi, %OOIP

W_i : t=i zamanında terazide okunan değer, gr

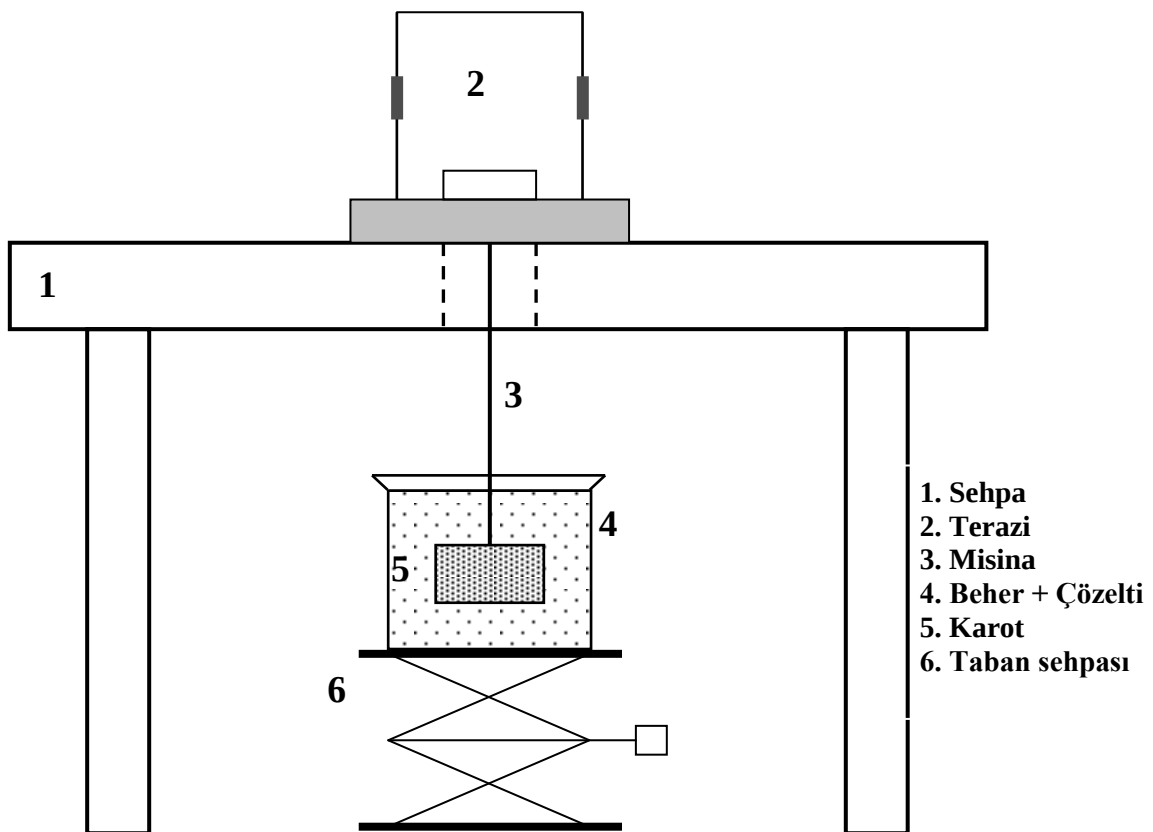
W_o : t=0 zamanında terazide okunan değer, gr

$$V_{oi} : \text{Başlangıç koşullarında } (S_{wi}, S_{oi}) \text{ karot içindeki petrol hacmi, cm}^3$$

ρ_b : Tuzlu su çözeltisinin yoğunluğu, gr/cm^3

$$\rho_o$$
 : Gaz yağı yoğunluğu, gr/cm^3

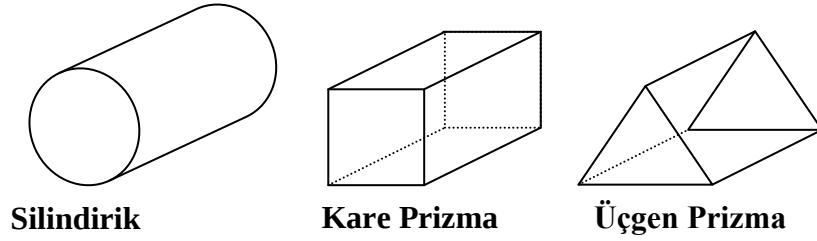
olarak kullanılmışlardır. Bulunan toplam üretimlerin zamana göre grafiği çizilerek üretim-zaman ilişkisi bulunur (Bobek ve diğ., 1958; Denekas ve diğ., 1959; Jadhunandan ve Morrow, 1991).



Şekil 3.1 Doğal imbibisyon deneyi şematik görünümü.

4. DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde çok kuvvetli su ıslatımlı sistemi temsil eden gazyağı/% 2 NaCl çözeltisi/Berea sisteminde silindirik, kare prizma ve üçgen prizma karotlarla yapılan deneysel çalışma sonunda elde edilen verilerin değerlendirilmesi yapılmıştır. Şekil 4.1 çalışmada kullanılan karotların geometrilerini ve Şekil 3.1 ile verilen doğal imbibisyon deney düzeneğine yerleştirilme düzenlerini göstermektedir.



Şekil 4.1 Karot geometrileri ve deney yapılış düzeni.

Şekil 4.1'den de görülebileceği gibi üç farklı geometrik şekil kullanılmıştır. Bunlar silindirik, kare prizma ve üçgen prizma karotlardır. Çalışmada kullanılan tuzlu su/gazyağı/Berea sistemleri çok kuvvetli su ıslatımlı sistemlerdir (Yıldırım, 1999). Bu sistemlerin kılcallık/gravite oranları hesaplanmış ve bu oranların 462 ile 547 arasında değişim gösterdiği bulunmuştur. Böylelikle kullanılan sistemde üretim mekanizmasının tamamıyla kılcal kuvvetlerin kontrolü altında olduğu gösterilmiştir.

4.1. Geometrik Şekilin İmbibisyon Üzerindeki Etkileri

Geometrik şeklin doğal imbibisyon üzerindeki etkilerini açıklayabilmek amacıyla farklı geometrik şekle sahip karotlar uzun, kısa ve eşit kaba hacimler olmak üzere üç grup halinde düşünülmüş ve değerlendirilmiştir. Aşağıda, yapılan hesaplamalar ve elde edilen sonuçlar sırasıyla ayrı başlıklar halinde sunulmuştur.

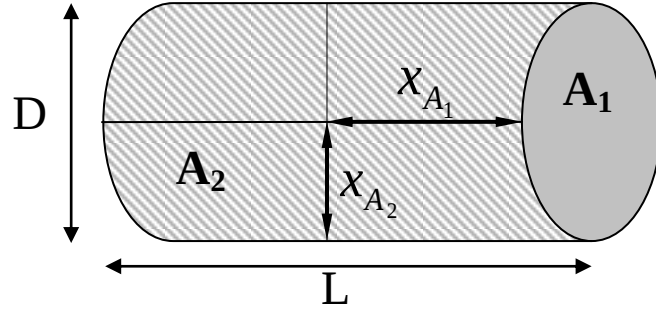
4.1.1. Şekil Faktörlerinin Hesaplanması

Çalışmada kullanılan tüm karotların şekil faktörleri 2. bölümde anlatılmış olan tanıma göre ayrı ayrı hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 4.1'de sunulmuştur.

Ayrıca şekil faktörü hesaplamaları için silindirik, kare prizma ve üçgen prizma karotlara ait birer adet örnek hesaplama aşağıda gösterilmiştir.

Silindirik karotlar için şekil faktörü hesabı:

Şekil 4.2 silindirik karotların şekil faktörü hesaplarında göz önüne alınan ölçütleri göstermektedir.



Şekil 4.2 Silindirik karotlarda gözönüne alınan boyutlar.

Denklem 2.1 silindirik karotlar için Şekil 4.2'ye göre düzenlendiğinde aşağıda verilen Denklem 4.1 elde edilir ve bu denkleme göre silindirik karotların şekil faktörleri Denklem 4.1'i izleyen şekilde hesaplanır.

$$F_s = \frac{1}{V} \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{x_{A_i}} = \frac{1}{V} \left[2 \left(\frac{A_1}{x_{A_1}} \right) + \left(\frac{A_2}{x_{A_2}} \right) \right] \quad (4.1)$$

BE-3 karotuna ait uzunluk (L) ve çap (D) değerleri kullanılarak bu karota ait şekil faktörü aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$L = 7.6350 \text{ cm}$$

$$D = 3.8267 \text{ cm}$$

$$A_1 = \pi \frac{D^2}{4} = \pi \frac{(3.8267)^2}{4} = 11.5 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = \pi D L = \pi (3.8267)(7.6350) = 91.8 \text{ cm}^2$$

$$x_{A_1} = 3.8175 \text{ cm}$$

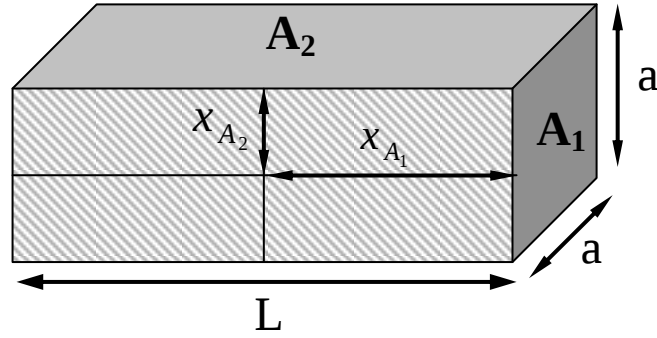
$$x_{A_2} = 1.91335 \text{ cm}$$

$$V_b = \pi \frac{D^2}{4} L = \pi \frac{(3.8267)^2}{4} (7.6350) = 87.8 \text{ cm}^3$$

$$F_s = \frac{1}{87.8} \left[2 \left(\frac{11.5}{3.8175} \right) + \left(\frac{91.8}{1.91335} \right) \right] = 0.6149 \text{ cm}^{-2}$$

Kare prizma karotlar için şekil faktörü hesabı:

Şekil 4.3 kare prizma karotların şekil faktörü hesaplarında göz önüne alınan ölçütleri göstermektedir.



Şekil 4.3 Kare prizma karotlarda gözönüne alınan boyutlar.

Denklem 2.1 kare prizma karotlar için Şekil 4.3'e göre düzenlendiğinde aşağıda verilen Denklem 4.2 elde edilir ve bu denkleme göre kare prizma karotların şekil faktörleri Denklem 4.2'yi izleyen şekilde hesaplanır.

$$F_s = \frac{1}{V} \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{x_{A_i}} = \frac{1}{V} \left[2 \left(\frac{A_1}{x_{A_1}} \right) + 4 \left(\frac{A_2}{x_{A_2}} \right) \right] \quad (4.2)$$

BE-91 karotuna ait uzunluk (L) ve kenar uzunluğu (a) değerleri kullanılarak bu karota ait şekil faktörü aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$L = 7.6900 \text{ cm}$$

$$a = 2.5800 \text{ cm}$$

$$A_1 = a^2 = (2.5800)^2 = 6.7 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = a L = (2.5800)(7.6900) = 19.8 \text{ cm}^2$$

$$x_{A_1} = 3.8450 \text{ cm}$$

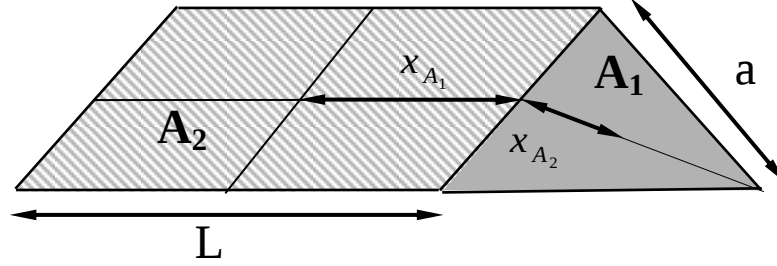
$$x_{A_2} = 1.2900 \text{ cm}$$

$$V_b = a^2 L = (2.5800)^2 (7.6900) = 51.2 \text{ cm}^3$$

$$F_s = \frac{1}{51.2} \left[2 \left(\frac{6.7}{3.8450} \right) + 4 \left(\frac{19.8}{1.2900} \right) \right] = 1.2695 \text{ cm}^{-2}$$

Üçgen prizma karotlar için şekil faktörü hesabı:

Şekil 4.4 üçgen prizma karotların şekil faktörü hesaplarında göz önüne alınan ölçütleri göstermektedir.



Şekil 4.4 Üçgen prizma karotlarda gözönüne alınan boyutlar.

Denklem 2.1 üçgen prizma karotlar için Şekil 4.4'e göre düzenlendiğinde aşağıda verilen Denklem 4.3 elde edilir ve bu denkleme göre üçgen prizma karotların şekil faktörleri Denklem 4.3'ü izleyen şekilde hesaplanır.

$$F_s = \frac{1}{V} \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{x_{A_i}} = \frac{1}{V} \left[2 \left(\frac{A_1}{x_{A_1}} \right) + 3 \left(\frac{A_2}{x_{A_2}} \right) \right] \quad (4.3)$$

BE-89 karotuna ait uzunluk (L), kenar uzunluğu (a) ve yükseklik (h) değerleri kullanılarak bu karota ait şekil faktörü aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$L = 7.6900 \text{ cm}$$

$$a = 3.2466 \text{ cm}$$

$$h = 2.8116 \text{ cm}$$

$$A_1 = \frac{a h}{2} = \frac{(3.2466)(2.8116)}{2} = 4.6 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = a L = (3.2466)(7.6900) = 24.9 \text{ cm}^2$$

$$x_{A_1} = 3.8450 \text{ cm}$$

$$x_{A_2} = 0.9372 \text{ cm}$$

$$V_b = \frac{a h}{2} L = \frac{(3.2466)(2.8116)}{2} (7.6900) = 35.1 \text{ cm}^3$$

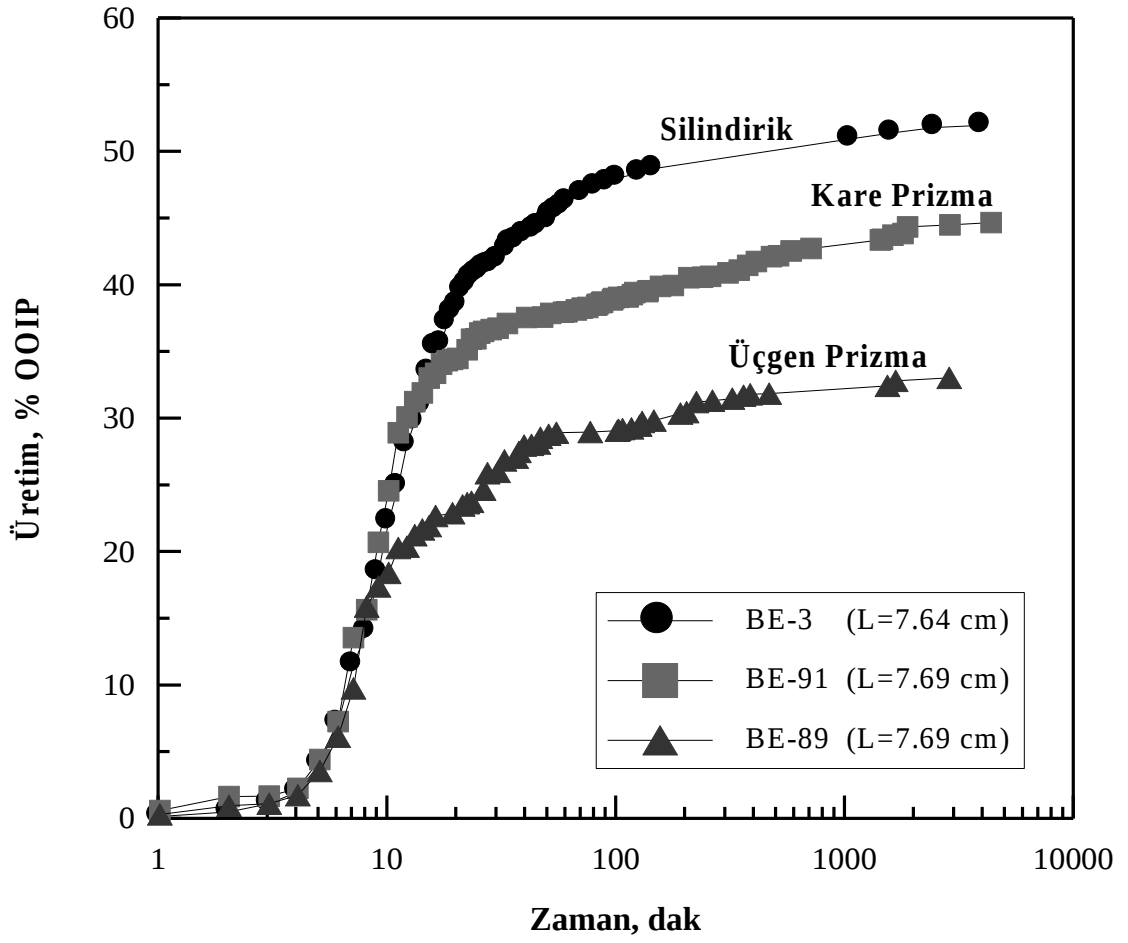
$$F_s = \frac{1}{35.1} \left[2 \left(\frac{4.6}{3.8450} \right) + 3 \left(\frac{24.9}{0.9372} \right) \right] = 2.3446 \text{ cm}^{-2}$$

Tablo 4.1 Karotların şekil faktörü değerleri

Karot No	Şekil	L, cm	F _s , cm ⁻²
BE-3	Silindir	7.6350	0.6149
BE-92	Silindir	5.0900	0.7026
BE-93A	Silindir	3.0790	0.9716
BE-2B	Silindir	1.4953	2.3387
BE-2A	Silindir	1.3708	2.6778
BE-1	Silindir	7.6900	0.0676
BE-1A	Silindir	3.6833	0.0737
BE-81	Silindir	7.7000	0.5497
BE-91	Kare Prizma	7.6900	1.2695
BE-10	Kare Prizma	5.0269	1.2854
I-2	Kare Prizma	3.4650	1.4754
BE-91A	Kare Prizma	1.8094	2.3111
BE-89	Üçgen Prizma	7.6900	2.3446
BE-90A	Üçgen Prizma	3.3800	2.6505
I-1	Üçgen Prizma	3.3400	2.6941

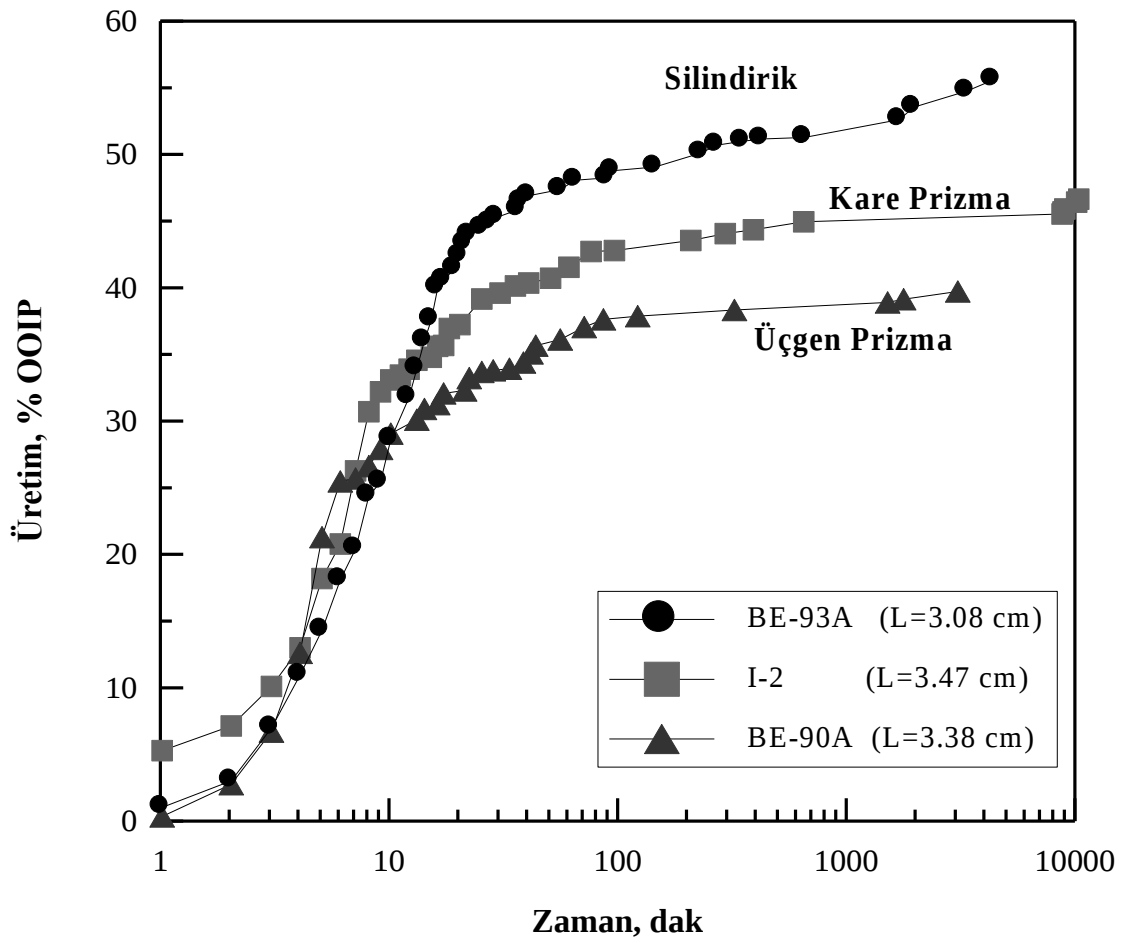
4.1.2 Geometrik Şekil Etkisinin Değerlendirilmesi

Çalışmada kullanılan üç farklı geometrik şekildeki karotlara ait gazyağı/tuzlu su sistemi için sonuçlar ele alındığında doğal su imbibisyonu ile en yüksek nihayi petrol üretiminin silindirik karotlardan elde edildiği görülmüştür. Şekil 4.5’de uzunlukları yaklaşık olarak eşit olan silindirik, kare prizma ve üçgen prizma karotlara ait doğal imbibisyon petrol üretim eğrileri zamana karşı çizilmiştir. Bu şekile bakıldığında erken zamanlarda (zamanın 10 dakikadan az olduğu) doğal imbibisyon hızları aynı olmasına rağmen ilerleyen zamanla birlikte imbibisyon hızlarında farklılaşmalar görülmüş ve en yüksek petrol üretimi silindirik karottan elde edilmiştir. En düşük üretim ise üçgen prizma karottan elde edilmiştir.



Şekil 4.5 Uzun karotlarda geometrik şeklin imbibisyon üzerindeki etkisi.

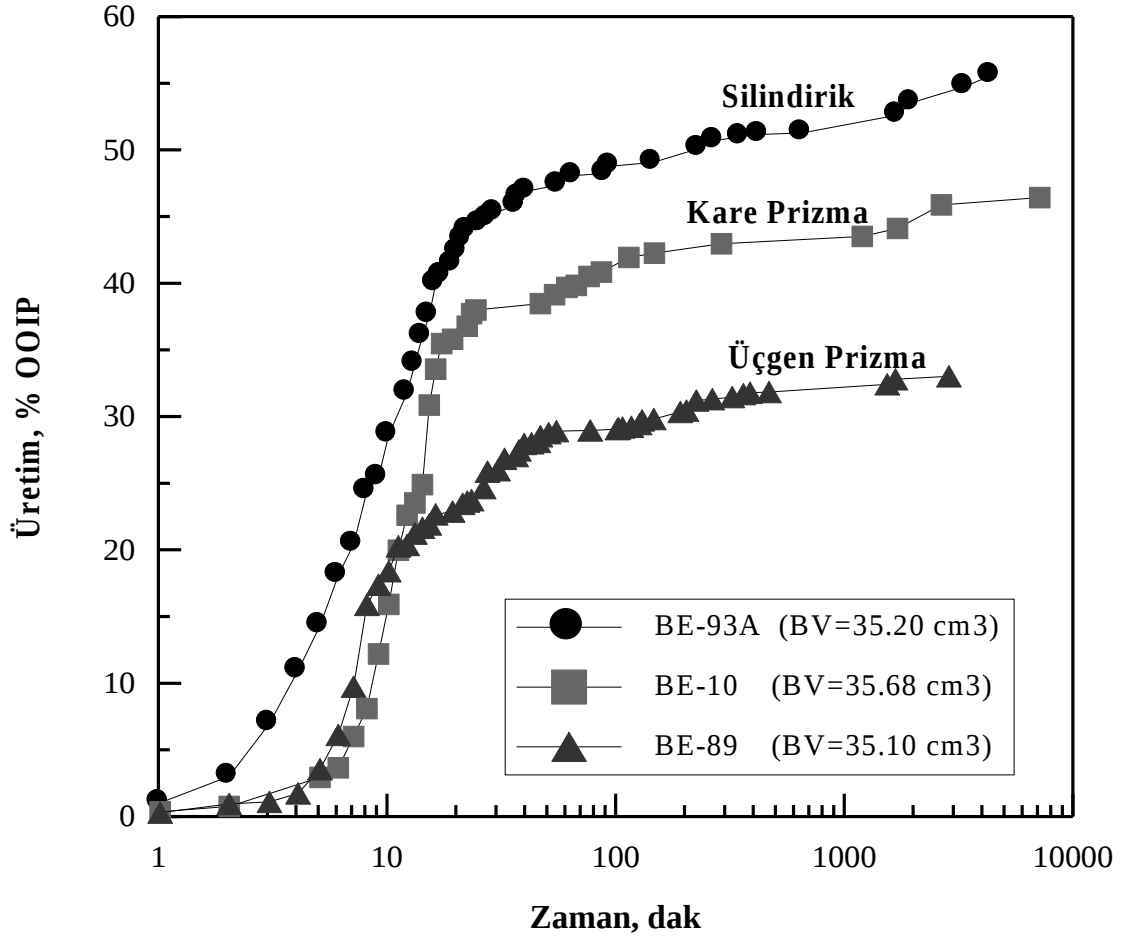
Kısa karotlar üzerinde yapılan deneyler sonucunda da benzer neticeler elde edilmiştir. Şekil 4.6 silindirik, kare prizma ve üçgen prizma kısa karotların birarada sunulan imbibisyon üretim değerlerini göstermektedir. Uzun karotlarda olduğu gibi kısa karotlarda da başlangıçta imbibisyon hızları aynı olmasına rağmen ilerleyen zamanla birlikte hızlar arasında farklılıklar oluşmuş ve nihayi petrol üretimleri silindirik, kare prizma ve üçgen prizma şeklinde yüksekten düşüğe doğru sıralanmıştır.



Şekil 4.6 Kısa karotlarda geometrik şeklin imbibisyon üzerindeki etkisi.

Kaba Hacmin Etkisi:

Yukarıda anlatılan ve bu doğrultuda yapılan deneyleri takiben, geometrik şekilleri farklı fakat kaba hacimleri aynı olan sistemlerin doğal imbibisyon ile petrol üretimini nasıl etkilediklerini görebilmek amacıyla bir dizi deney yapılmıştır. Bu deneylerde kullanılan karotlar hazırlanırken aynı boyutlarda en küçük kaba hacme sahip olan üçgen prizma karotun hacmi sabit tutularak silindirik ve kare prizma karotlar, kaba hacimleri üçgen prizma karotun kaba hacmiyle aynı olacak şekilde kesilmişlerdir. Şekil 4.7’de kaba hacimleri aynı fakat geometrik şekilleri farklı olan bu sistemlere ait deney sonuçları gösterilmektedir.



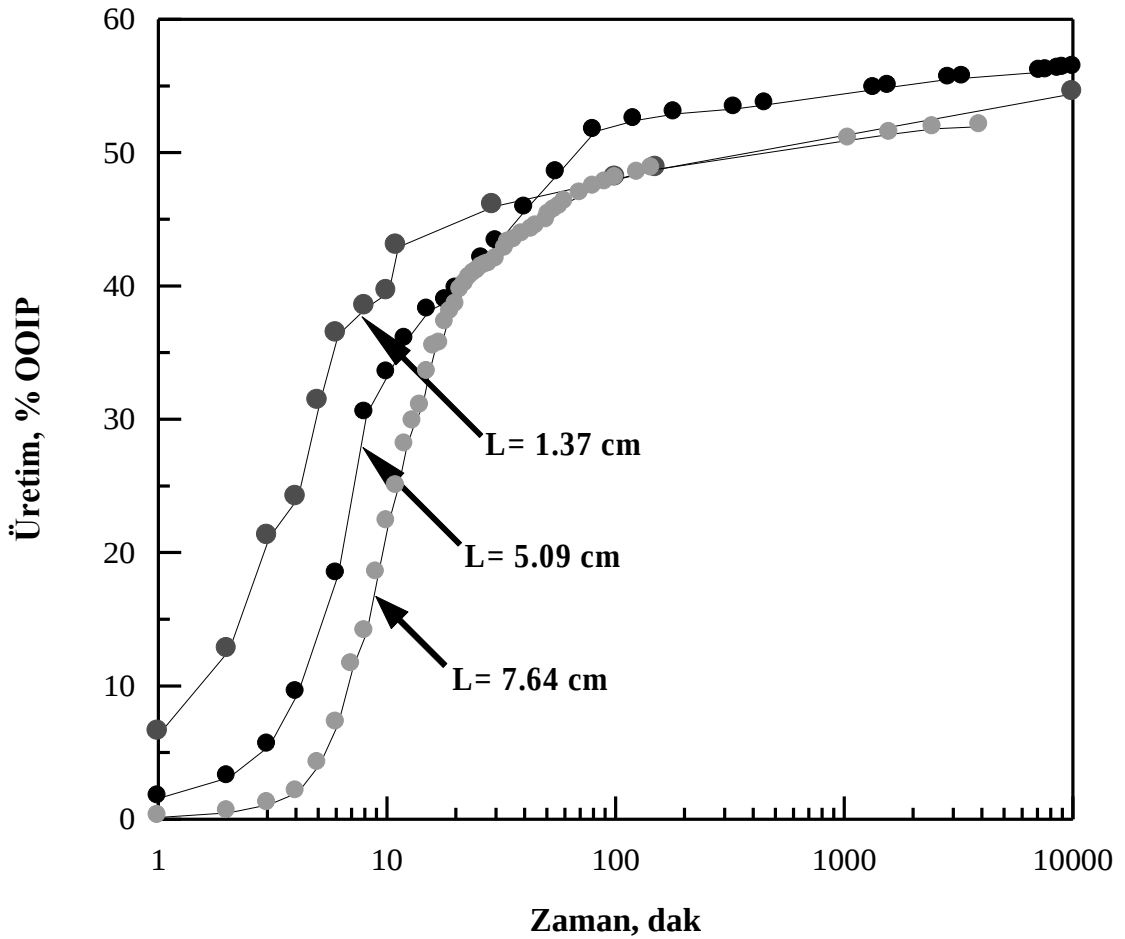
Şekil 4.7 Aynı kaba hacime sahip farklı şekillerde karotların üretim zaman ilişkisi.

Şekil 4.7’de de önceki üretim-zaman eğrileriyle benzer bir durum söz konusudur. Silindirik karot yine en hızlı ve yüksek doğal imbibisyon petrol üretimi verirken, kare prizma ve üçgen prizma karotlar silindirik karotun aşağısında sıralanmaktadır. Bunların yanı sıra Şekil 4.7 göstermektedir ki şekil faktörü çalışmalarında, doğal imbibisyona açık toplam yüzey alanının kaba hacime oranındaki artışla, başka bir deyişle doğal imbibisyona açık toplam yüzey alanının artmasıyla doğal imbibisyon hızının artması ancak aynı geometrik şekle sahip karotlarda değerlendirilmesi gereken bir husustur. Farklı geometrik şekiller birarada değerlendirilirken, doğal imbibisyona açık toplam yüzey alanının kaba hacime oranının değerlendirme kriteri olarak kullanılması hatalara neden olacaktır. Şekil 4.7’de alan/hacim oranlarına baktığımızda en büyük değer üçgen prizma karottan, ikinci olarak kare prizma karottan ve en düşük oran ise silindirik karottan elde edildiğini görmekteyiz.

4.2. Karot Uzunluğunun İmbibisyon Üzerindeki Etkileri

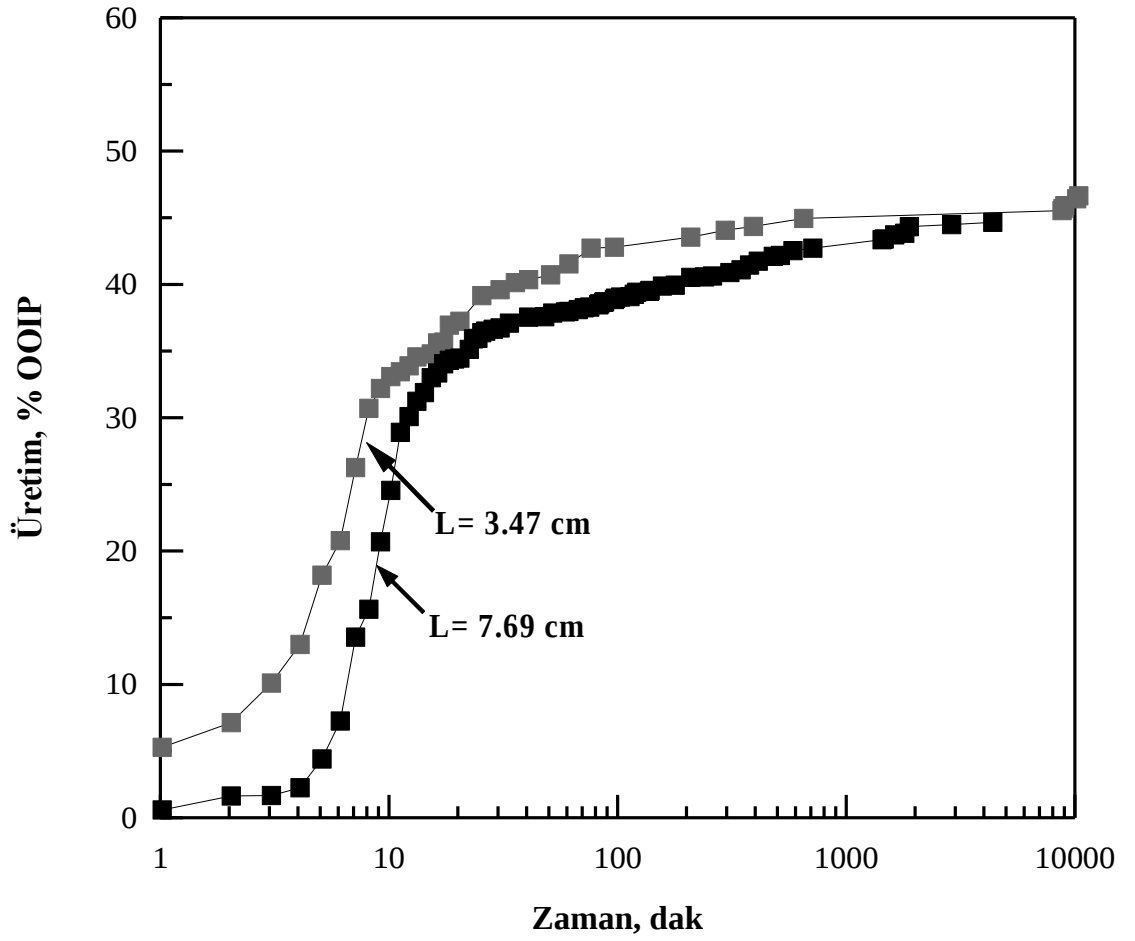
Karot uzunluğunun imbibisyon üzerindeki etkilerinin araştırılması amacıyla farklı uzunluklarda kesilmiş silindirik, kare prizma ve üçgen prizma karotlar üzerinde yapılan doğal imbibisyon deneylerinden karot uzunluğuyla imbibisyon üretim hızı arasında ters orantı olduğu görülmektedir. Yani karot boyu uzadıkça erken zamanlardaki ($t < 15$ dakika) üretim hızı azalmaktadır.

Şekil 4.8’de farklı boyutlardaki silindirik karotlara ait deney sonuçları verilmektedir. Yukarıda da bahsedildiği gibi Şekil 4.8’den de görülmektedirki karot boyu kısaldıkça imbibisyon üretim hızı artmaktadır. Fakat karot uzunluğunun nihayi petrol üretimine etkisi yoktur (Torsæter, 1985; Zhang ve diğ., 1995).

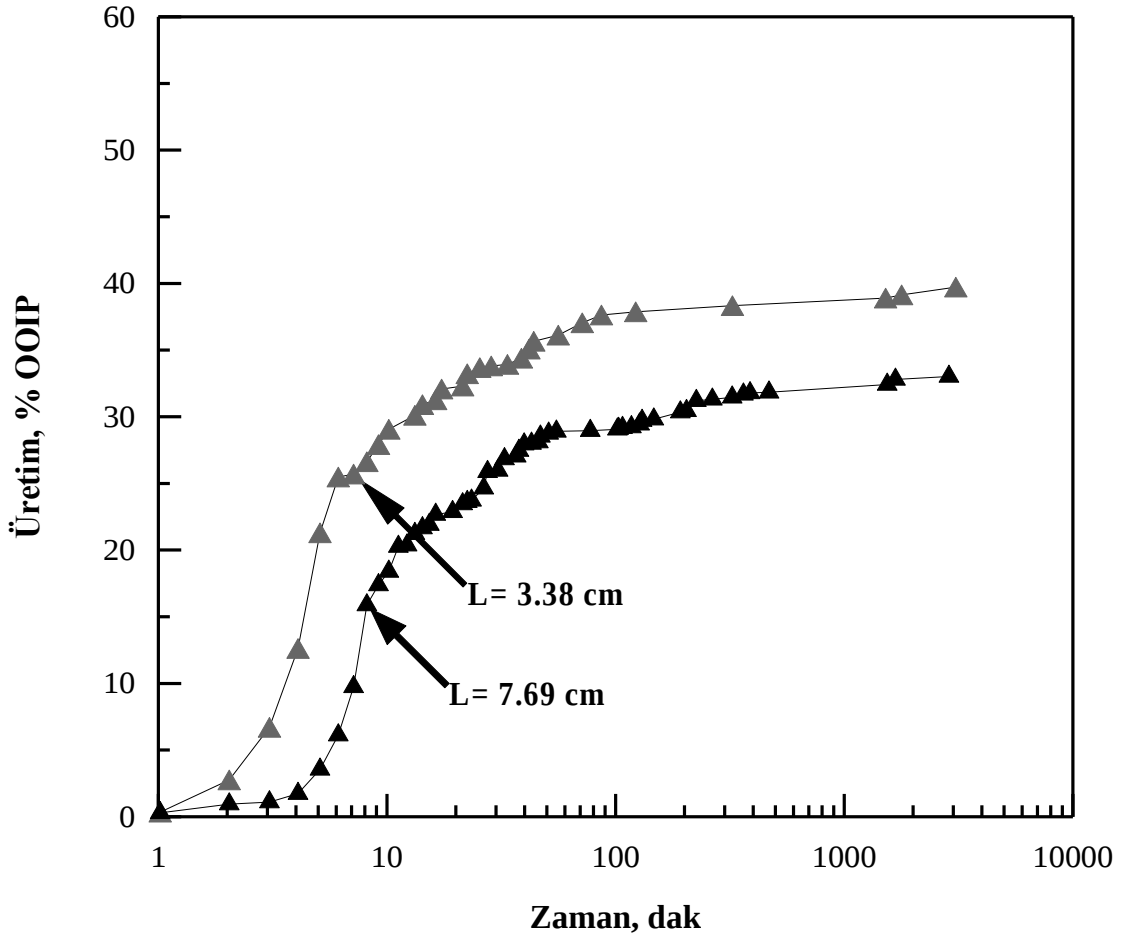


Şekil 4.8 Silindirik karotlarda uzunluğun imbibisyon üzerindeki etkisi.

Silindirik karotlarda olduğu gibi kare ve üçgen prizma karotlarda da karot boyundaki değişim imbibisyon hızını etkilemekte ve karot boyu kısaldıkça doğal imbibisyon petrol üretim hızı artmaktadır (Torsæter, 1985; Zhang ve diğ., 1995). Şekil 4.9 ve Şekil 4.10 sırasıyla kare ve üçgen prizma karotlara ait gazyağı/tuzlu su çözeltisi için doğal imbibisyon deney sonuçlarını zamana karşı petrol üretimini % yerinde petrol cinsinden göstermektedir.



Şekil 4.9 Kare prizma karotlarda uzunluğun imbibisyon üzerindeki etkisi.



Şekil 4.10 Üçgen prizma karotlarda uzunluğun imbibisyon üzerindeki etkisi.

4.3. Karakteristik Uzunluğun İmbibisyon Üzerindeki Etkileri

Çalışmada kullanılan karotların karakteristik uzunlukları Bölüm 2’de anlatılan tanımdan hareketle hesaplanmış ve hesaplanan bu değerler kullanılarak karakteristik uzunluğun doğal imbibisyon ile petrol üretimine olan etkileri incelenmiştir. Karakteristik uzunluğun etkilerini görebilmek amacıyla farklı geometrik şekile sahip karotlar ayrı ayrı kendi içlerinde değerlendirilmiş olup ayrıca aynı karakteristik uzunluğa sahip farklı geometrik şekillerdeki karotlar birarada incelenmiştir.

4.3.1. Karakteristik Uzunlukların Hesaplanması

Karakteristik uzunluk hesaplamaları için silindirik, kare prizma ve üçgen prizma karotlara ait birer adet örnek hesaplama aşağıda gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.2’de toplu halde sunulmuştur.

Silindirik karotlar için karakteristik uzunluk hesabı:

Denklem 2.3'te verilen karakteristik uzunluk tanımından hareketle Şekil 4.2'ye göre silindirik karotlar için karakteristik uzunluk tanımı düzenlenmiş ve Denklem 4.4 elde edilmiştir. Bu denkleme göre silindirik karotların karakteristik uzunlukları aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$L_c = \sqrt{\frac{V}{\sum_{i=1}^n \frac{A_i}{x_{A_i}}}} = \sqrt{\frac{V}{2\left(\frac{A_1}{x_{A_1}}\right) + \left(\frac{A_2}{x_{A_2}}\right)}} \quad (4.4)$$

BE-3 karotuna ait uzunluk (L) ve çap (D) değerleri kullanılarak bu karota ait karakteristik uzunluk aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$L = 7.6350 \text{ cm}$$

$$D = 3.8267 \text{ cm}$$

$$A_1 = \pi \frac{D^2}{4} = \pi \frac{(3.8267)^2}{4} = 11.5 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = \pi D L = \pi (3.8267)(7.6350) = 91.8 \text{ cm}^2$$

$$x_{A_1} = 3.8175 \text{ cm}$$

$$x_{A_2} = 1.91335 \text{ cm}$$

$$V_b = \pi \frac{D^2}{4} L = \pi \frac{(3.8267)^2}{4} (7.6350) = 87.8 \text{ cm}^3$$

$$L_c = \sqrt{\frac{87.8}{2\left(\frac{11.5}{3.8175}\right) + \left(\frac{91.8}{1.91335}\right)}} = 1.2752 \text{ cm}$$

Kare prizma karotlar için karakteristik uzunluk hesabı:

Denklem 2.3'te verilen karakteristik uzunluk tanımından hareketle Şekil 4.3'e göre kare prizma karotlar için karakteristik uzunluk tanımı düzenlenmiş ve Denklem 4.5 elde edilmiştir. Bu denkleme göre kare prizma karotların karakteristik uzunlukları aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$L_c = \sqrt{\frac{V}{\sum_{i=1}^n \frac{A_i}{x_{A_i}}}} = \sqrt{\frac{V}{2\left(\frac{A_1}{x_{A_1}}\right) + 4\left(\frac{A_2}{x_{A_2}}\right)}} \quad (4.5)$$

BE-91 karotuna ait uzunluk (L) ve kenar uzunluğu (a) değerleri kullanılarak bu karota ait karakteristik uzunluk aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$L = 7.6900 \text{ cm}$$

$$a = 2.5800 \text{ cm}$$

$$A_1 = a^2 = (2.5800)^2 = 6.7 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = a L = (2.5800)(7.6900) = 19.8 \text{ cm}^2$$

$$x_{A_1} = 3.8450 \text{ cm}$$

$$x_{A_2} = 1.2900 \text{ cm}$$

$$V_b = a^2 L = (2.5800)^2 (7.6900) = 51.2 \text{ cm}^3$$

$$L_c = \sqrt{\frac{51.2}{2\left(\frac{6.7}{3.8450}\right) + 4\left(\frac{19.8}{1.2900}\right)}} = 0.8875 \text{ cm}$$

Üçgen prizma karotlar için karakteristik uzunluk hesabı:

Denklem 2.3'te verilen karakteristik uzunluk tanımından hareketle Şekil 4.4'e göre üçgen prizma karotlar için karakteristik uzunluk tanımı düzenlenmiş ve Denklem 4.6 elde edilmiştir. Bu denkleme göre üçgen prizma karotların karakteristik uzunlukları aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$L_c = \sqrt{\frac{V}{\sum_{i=1}^n \frac{A_i}{x_{A_i}}}} = \sqrt{\frac{V}{2\left(\frac{A_1}{x_{A_1}}\right) + 3\left(\frac{A_2}{x_{A_2}}\right)}} \quad (4.6)$$

BE-89 karotuna ait uzunluk (L), kenar uzunluğu (a) ve yükseklik (h) değerleri kullanılarak bu karota ait karakteristik uzunluk aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$L = 7.6900 \text{ cm}$$

$$a = 3.2466 \text{ cm}$$

$$h = 2.8116 \text{ cm}$$

$$A_1 = \frac{a h}{2} = \frac{(3.2466)(2.8116)}{2} = 4.6 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = a L = (3.2466)(7.6900) = 24.9 \text{ cm}^2$$

$$x_{A_1} = 3.8450 \text{ cm}$$

$$x_{A_2} = 0.9372 \text{ cm}$$

$$V_b = \frac{a h}{2} L = \frac{(3.2466)(2.8116)}{2} (7.6900) = 35.1 \text{ cm}^3$$

$$L_c = \sqrt{\frac{35.1}{2\left(\frac{4.6}{3.8450}\right) + 3\left(\frac{24.9}{0.9372}\right)}} = 0.6531 \text{ cm}$$

Tablo 4.2 Karotların karakteristik uzunlukları

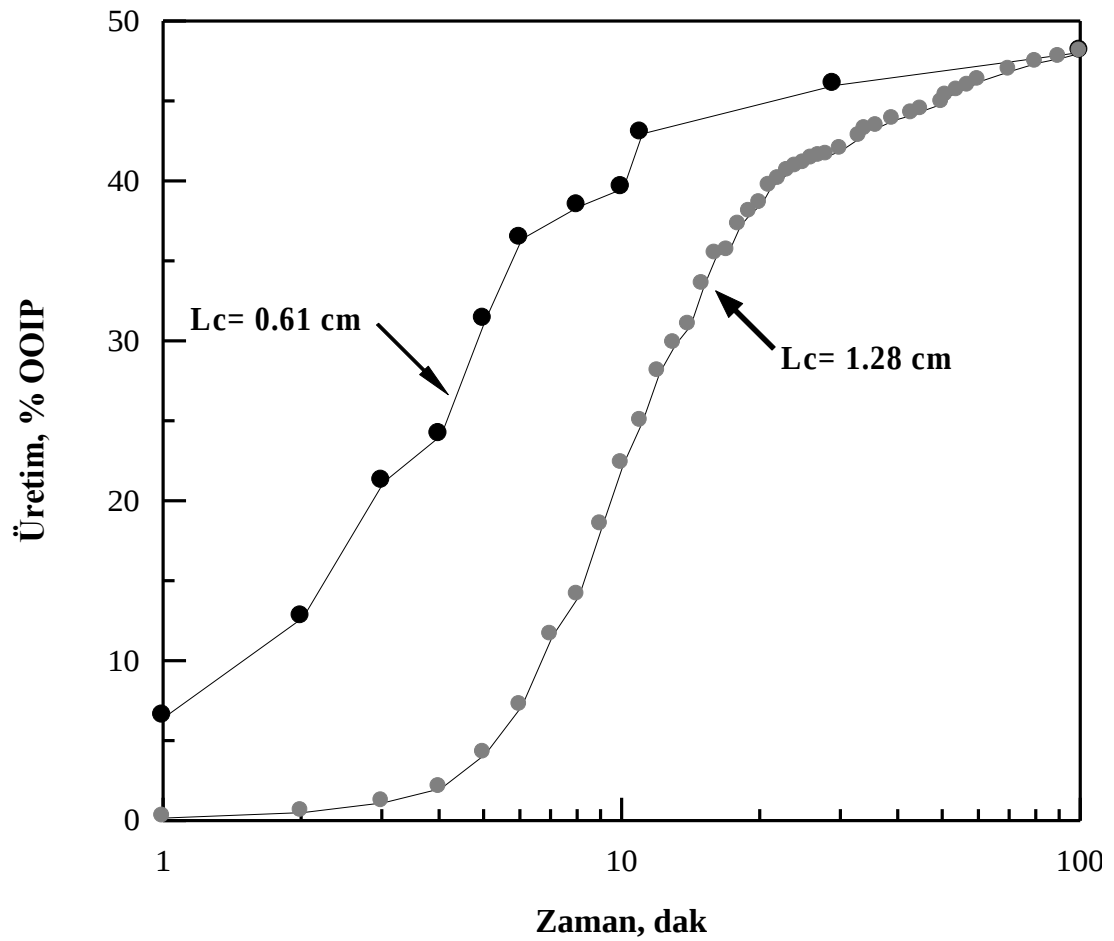
Karot No	Şekil	L, cm	L _c , cm
BE-3	Silindir	7.6350	1.2752
BE-92	Silindir	5.0900	1.1930
BE-93A	Silindir	3.0790	1.0145
BE-2B	Silindir	1.4953	0.6539
BE-2A	Silindir	1.3708	0.6111
BE-1	Silindir	7.6900	3.8450
BE-1A	Silindir	3.6833	3.6833
BE-81	Silindir	7.7000	1.3488
BE-91	Kare Prizma	7.6900	0.8875
BE-10	Kare Prizma	5.0269	0.8820
I-2	Kare Prizma	3.4650	0.8233
BE-91A	Kare Prizma	1.8094	0.6578
BE-89	Üçgen Prizma	7.6900	0.6531
BE-90A	Üçgen Prizma	3.3800	0.6142
I-1	Üçgen Prizma	3.3400	0.6092

4.3.2. Karakteristik Uzunluğun Etkisi

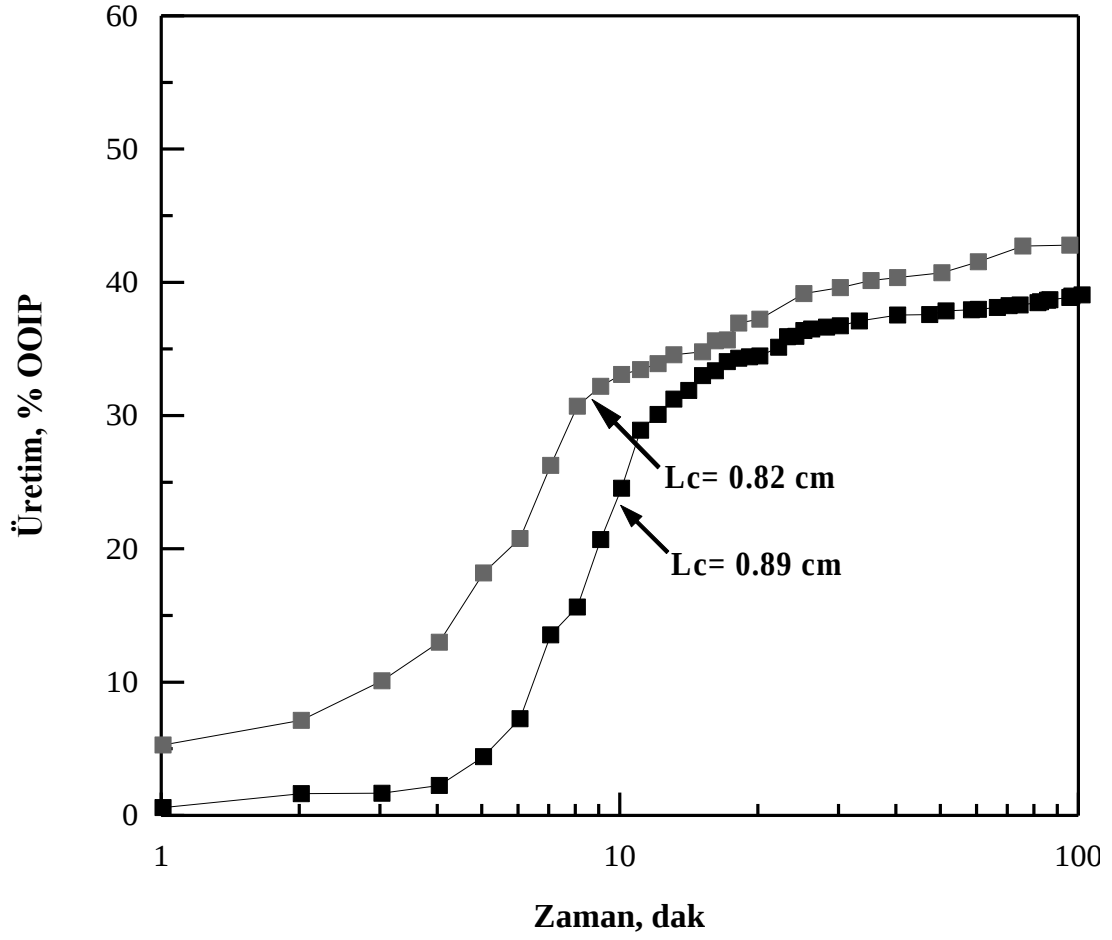
Yapılan çalışmalardan, karakteristik uzunlukla doğal imbibisyonla elde edilen petrol üretim hızı arasında ters bir orantı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Karakteristik uzunluk küçüldükçe erken zamanlarda elde edilen doğal imbibisyon hızı artmaktadır. Fakat bu değerlendirme yapılırken dikkat edilmesi gereken nokta her bir geometrik şeklin kendi içinde ayrı ayrı değerlendirilmesi gerektiğidir. Aşağıda, kullanılan üç

farklı geometrik şekile ait sonuçlar Şekil 4.11, Şekil 4.12 ve Şekil 4.13 ile ayrı ayrı verilmiştir.

Şekil 4.11 silindirik karotlara ait doğal imbibisyonla elde edilen zamana karşı petrol üretim eğrilerini göstermektedir. Karakteristik uzunluğu diğer karotun yaklaşık olarak yarısı kadar olan silindirik karotun petrol üretim hızı 100 dakikalık süre içerisinde belirgin bir şekilde diğerinden yüksektir. Dikkat edilecek önemli bir nokta petrol üretiminin büyük bir kısmının ilk 20 dakikada gerçekleştiriliyor olmasıdır ki bu da çok kuvvetli su ıslatımlı bir sistemi ifade ettiğinin bir göstergesidir.

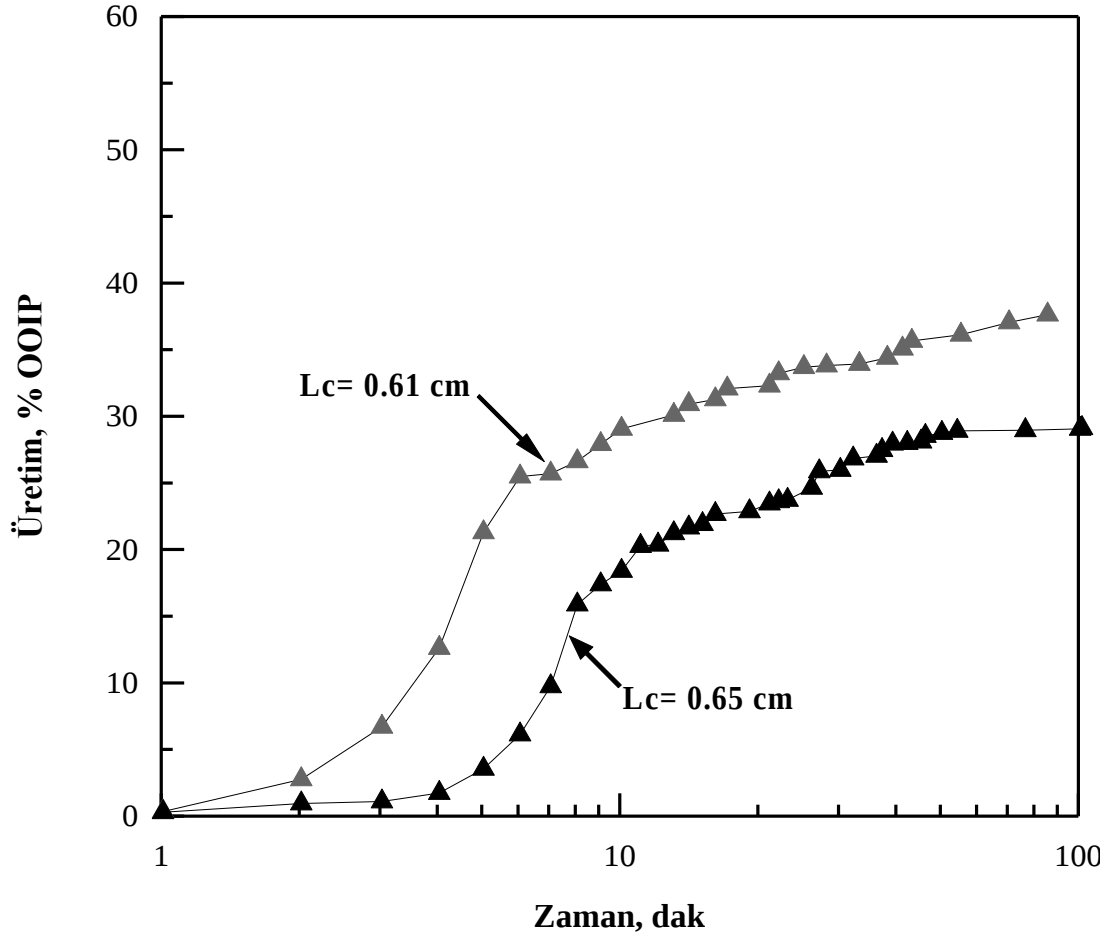


Şekil 4.11 Silindirik karotlarda karakteristik uzunluğun imbibisyona olan etkisi.



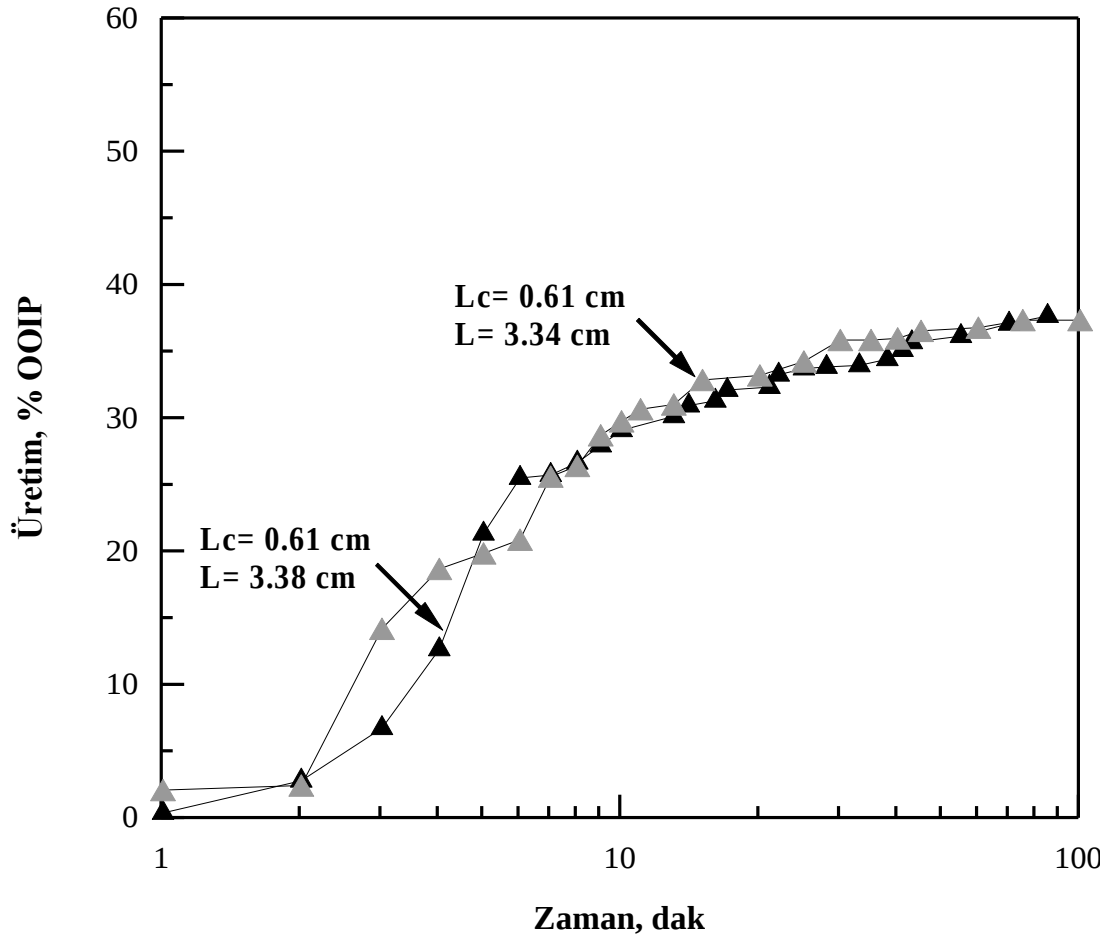
Şekil 4.12 Kare prizma karotlarda karakteristik uzunluğun imbibisyona olan etkisi.

Şekil 4.12 karakteristik uzunlukları nispeten yakın (0.82 – 0.89 cm) olan iki kare prizmaya ait imbibisyon petrol üretim eğrilerini göstermektedir. Her iki üretim eğrisinde ilk 15 dakikalık süre içerisinde petrolerinin büyük bir kısmının üretildiğini göstermektedir. Dikkat edilecek diğer bir nokta karakteristik uzunluktaki 0.07 cm'lik değişime karşılık gerçek karot uzunluklarında iki kattan daha fazla bir değişim söz konusudur.



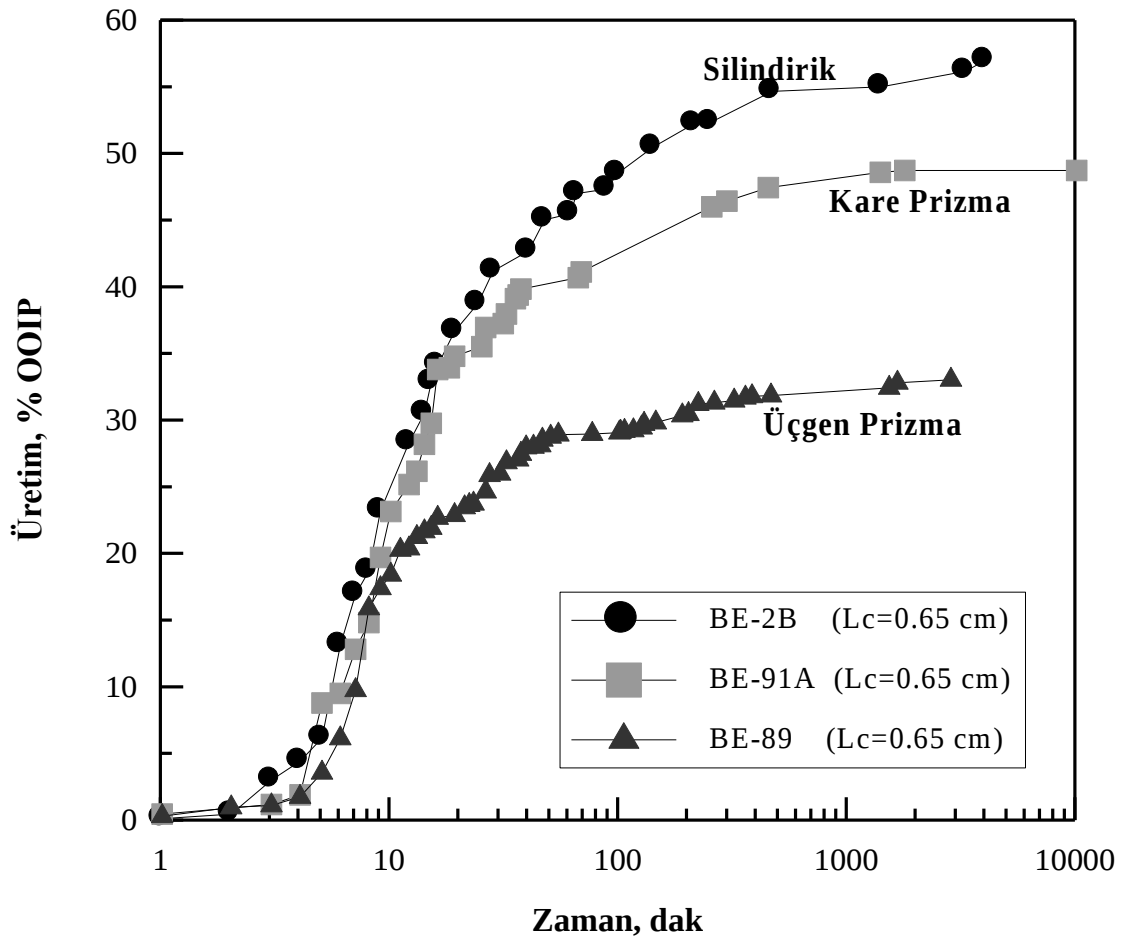
Şekil 4.13 Üçgen prizma karotlarda karakteristik uzunluğun imbibisyonu olan etkisi.

Şekil 4.13 karakteristik uzunlukları birbirine yakın (0.04 cm) olan iki üçgen prizma karota ait doğal imbibisyonla petrol üretimini göstermektedir. Şekil 4.11 ve 4.12'ye benzer durum burada da söz konusu olup petrol üretiminin büyük bir kısmı ilk 15 dakikalık sürede gerçekleşmektedir. Karakteristik uzunluktaki küçük değişime karşılık gerçek karot boylarında iki katı aşan değişim söz konusudurki bu kare prizmaya daha çok benzerlik göstermektedir. Oysaki silindirik karotların karakteristik uzunluğundaki değişim yaklaşık iki kat olmasına karşılık gerçek boylardaki değişim beş buçuk kat kadar büyük değişim göstermektedir.



Şekil 4.14 Doğal su imbibisyonu ile petrol üretiminin tekrarlanabilirliği.

Şekil 4.14’te uzunlukları birbirine çok yakın, karakteristik uzunlukları aynı olan iki üçgen prizma karotlara ait doğal imbibisyon petrol üretim eğrileri görülmektedir. Geometrik şekli, uzunluğu ve karakteristik uzunluğu aynı olan bu iki farklı örnekte doğal imbibisyonundan elde edilen üretim-zaman eğrilerinin birbirine çok yakın olduğu, başka bir deyişle petrol üretiminin tekrarlanabilirliği (Jadhunandan, 1990) Şekil 4.14’te görülmektedir.



Şekil 4.15 Aynı karakteristik uzunluğa sahip farklı şekillerde karotların üretim zaman ilişkisi.

Şekil 4.15'te karakteristik uzunlukları 0.65 cm olan üç farklı geometride kesilmiş karotlara ait üretim-zaman ilişkileri verilmiştir. Silindirik, kare prizma ve üçgen prizma karotlara ait üretim-zaman ilişkilerinden görülmektedir ki karakteristik uzunlukları aynı olan sistemlerde de silindirik geometrili karottan elde edilen üretim hızı ve nihayi petrol üretimi en yüksektir. Bunu sırasıyla kare prizma ve üçgen prizma karotlar takip etmektedir.

4.4. Sınır Koşullarının Doğal İmbibisyon Hızı Üzerindeki Etkileri

Çalışmanın son kısmı olan sınır koşulları deneyleri silindirik karotlar üzerinde test edilmiştir. Silindirik karotlar için elde edilen sonuçlar göstermiştir ki sabit kaba hacimli sistemlerde akışa açık yüzey alanı arttıkça doğal imbibisyon hızı artmaktadır.

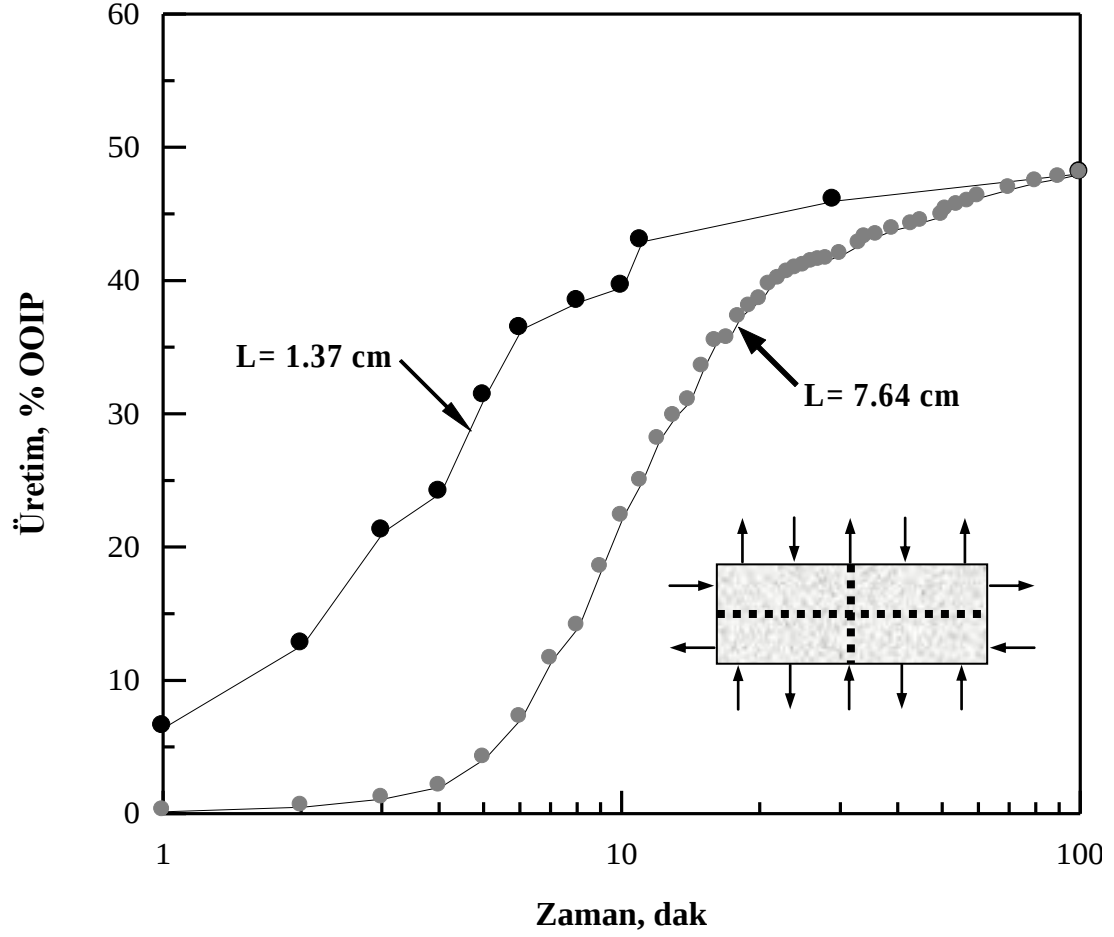
Tablo 4.3 Karotların sınır koşulları.

Karot No	Şekil	Sınır Koşulu
BE-3	Silindir	AFO
BE-92	Silindir	AFO
BE-93A	Silindir	AFO
BE-2B	Silindir	AFO
BE-2A	Silindir	AFO
BE-1	Silindir	TEO
BE-1A	Silindir	OEO
BE-81	Silindir	TEC
BE-91	Kare Prizma	AFO
BE-10	Kare Prizma	AFO
I-2	Kare Prizma	AFO
BE-91A	Kare Prizma	AFO
BE-89	Üçgen Prizma	AFO
BE-90A	Üçgen Prizma	AFO
I-1	Üçgen Prizma	AFO

Şekil 4.16’da tüm yüzeyleri akışa açık iki sistemden elde edilen sonuçlar gösterilmiştir. Tüm yüzeyleri akışa açık sistemlerde görülmektedir ki kısa karotlardan elde edilen doğal imbibisyon petrol üretim hızı erken zamanlarda oldukça yüksektir. Ancak bu durumun nihayi petrol üretimi üzerinde bir etkisi yoktur.

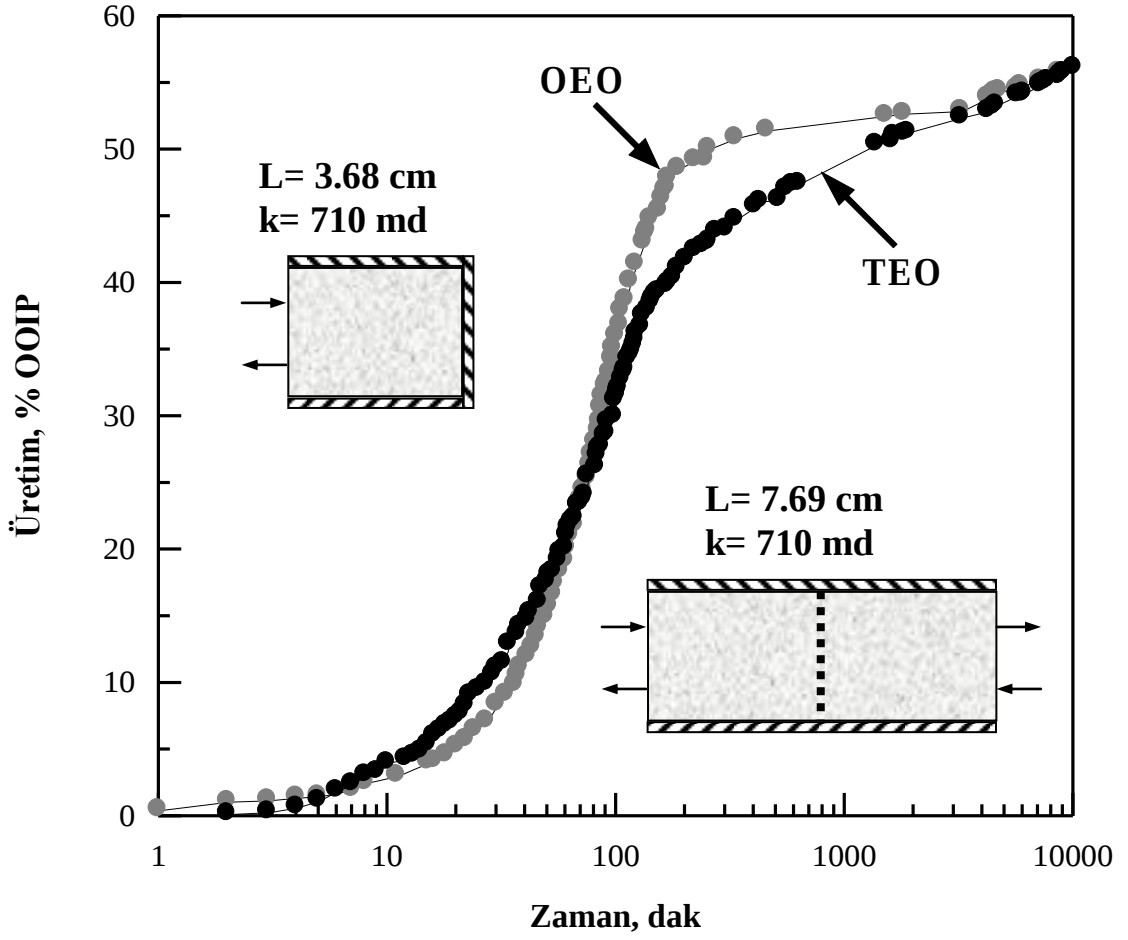
Tüm yüzeyleri akışa açık olan sınır koşulları, zıt yönlü imbibisyon ile üretim mekanizmasının en iyi gösterildiği sistemlerdir. Bu sistemler, imbibisyona açık

toplam akış alanının kaba hacime oranının artmasıyla, üretim hızının arttığını en iyi şekilde göstermektedirler.



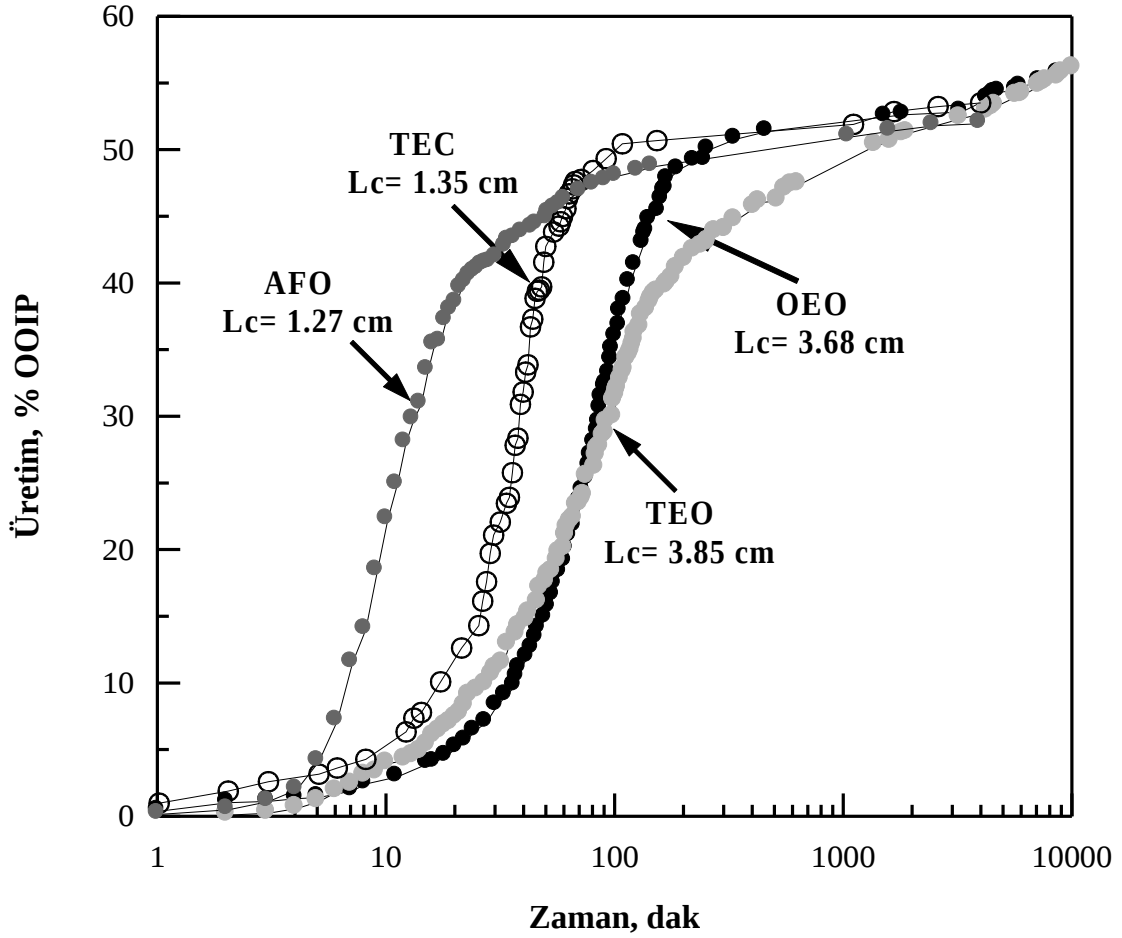
Şekil 4.16 Tüm yüzeyleri akışa açık sistemler.

Şekil 4.17 iki ucu açık (TEO) ve bir ucu açık (OEO) sınır koşullarının uygulandığı iki sistemden elde edilen deneysel sonuçları bir arada göstermektedir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta bu iki sisteminde geçirgenliklerinin aynı olması ve iki ucu açık olan sistemin uzunluğunun bir ucu açık olan sistemin uzunluğunun yaklaşık iki misli büyük olmasıdır. İki ucu açık olan sistemin L_c 'si 3.85 cm buna karşılık bir ucu açık olan sistemin L_c 'si ise 3.68 cm'dir.



Şekil 4.17 İki ucu açık ve bir ucu açık iki sistemin imbibisyon hızı karşılaştırılması.

Şekil 4.17’den de görüldüğü gibi bu iki sistem birbiriyle oldukça uyumlu bir sonuç vermiştir (Hamon. ve Vidal, 1986; Zhang ve diğ., 1995; Ma ve diğ., 1997). Bunun sebebi ise daha önceki bölümlerde bahsedilen karakteristik uzunlukla ilgilidir. Bu iki sistem kayaç özellikleri bakımından birbiriyle aynıdır ve sistemlerin karakteristik uzunlukları da yine birbirlerine yaklaşık olarak eşittir. Böyle iki sistem ele alındığında teorik düşünce ile hareket edildiği zaman iki sistemin üretim-zaman eğrilerinin aynı olması gerekmektedir. Bu grafikten de görülmektedir ki teoride olması beklenen pratikte de gerçekleşmektedir.



Şekil 4.18 Sınır koşullarının doğal imbibisyon hızına etkisi.

Şekil 4.18’de uygulanan tüm sınır koşulları bir arada verilmektedir. Görüleceği gibi akışa açık yüzey alanı arttıkça doğal imbibisyon hızıda artmaktadır. Tüm yüzeyleri akışa açık olan sistem en hızlı üretimi gösterirken iki ucu açık ve bir ucu açık sistemlerden en düşük imbibisyon hızları elde edilmiştir.

Erken zamanlarda hız farklılıkları olmasına rağmen tüm sistemlerin nihayi petrol üretimleri aynıdır.

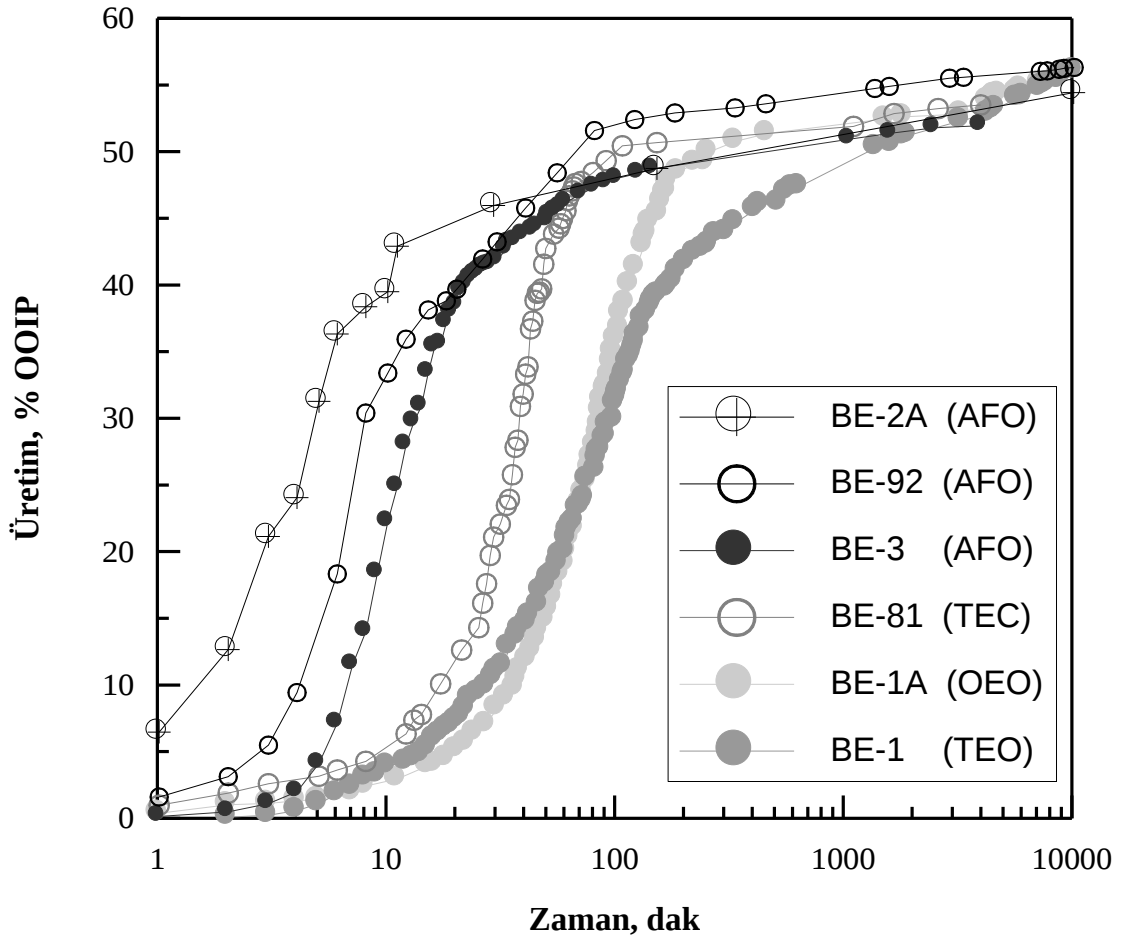
4.5. Ölçeklendirme Çalışmasının Değerlendirilmesi

Doğal imbibisyon hızının saptanmasında ıslatımlılık özelliklerinin yanısıra çok sayıda faktör gözönüne alınır. Bunlar kısaca, gözenek boyutu, arayüzey gerilimi, akışkan akmazlıkları, örneklerin boyutları ve şekilleri olarak özetlenebilir. Buna karşılık imbibisyon olayının ölçeklendirilmesi son derece sınırlı verilerle

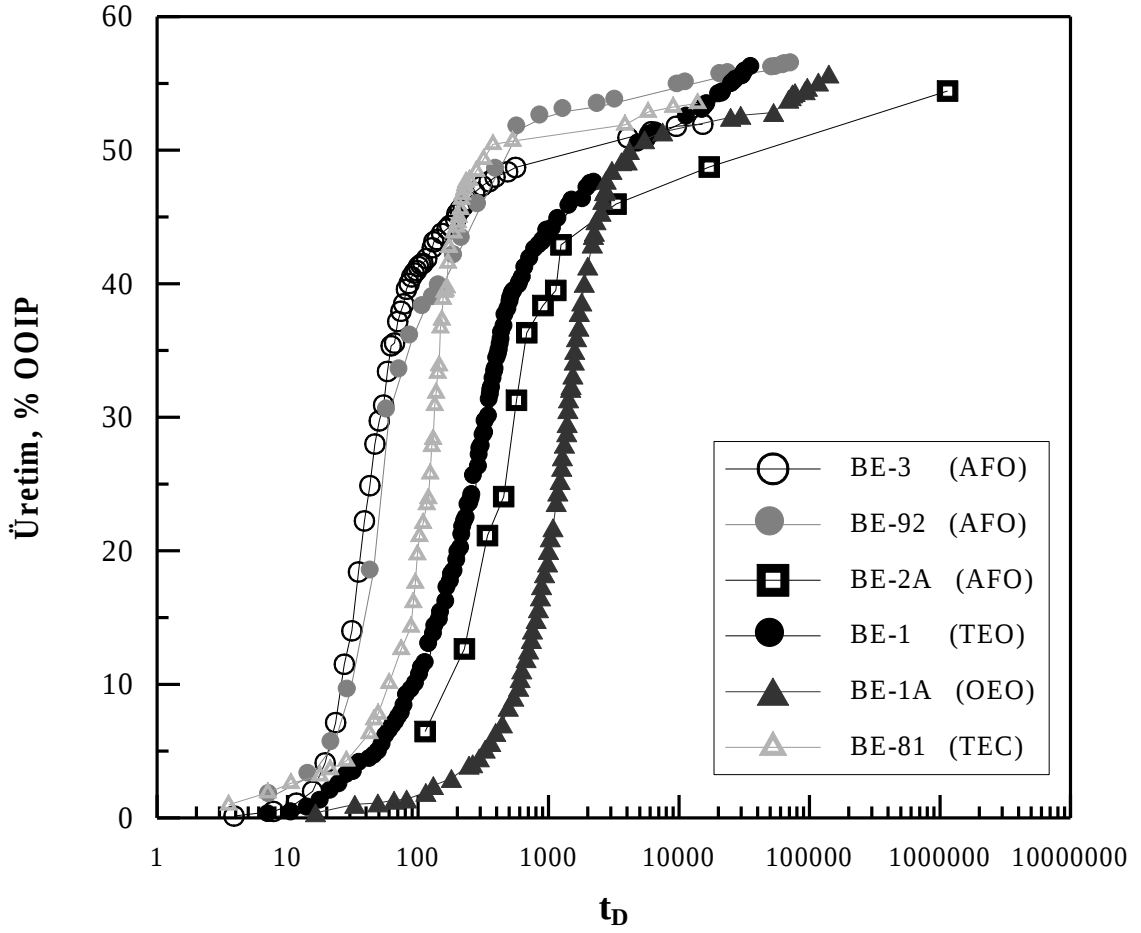
yapılabilmektedir. Akma oranı, numune şekli ve sınır koşullarının etkisini beraberce karşılayabilmek ve imbibisyon üretim eğrilerinin oluşturulmasında kullanmak üzere “boyutsuz zaman” kavramı Bölüm 2’de Denklem 2.18 ile verildiği şekilde aşağıda gösterilmektedir (Mattax ve KYTE, 1962).

$$t_{D,MK} = t \sqrt{\frac{k}{\phi}} \frac{\sigma}{\mu_w} \frac{1}{L^2} \quad (4.7)$$

Şekil 4.19 ile silindirik karotlar için gerçek zaman-üretim ilişkisi gösterilmektedir. Bu ham datalar Denklem 4.7 ile ifade edilen boyutsuz zaman değerlerinin bulunması için kullanılmış ve Mattax ve KYTE’a göre geliştirilmiş olan boyutsuz zaman-üretim ilişkisi Şekil 4.20 ile gösterilmiştir.



Şekil 4.19 Silindirik karotlar için doğal imbibisyon üretim-zaman eğrileri.



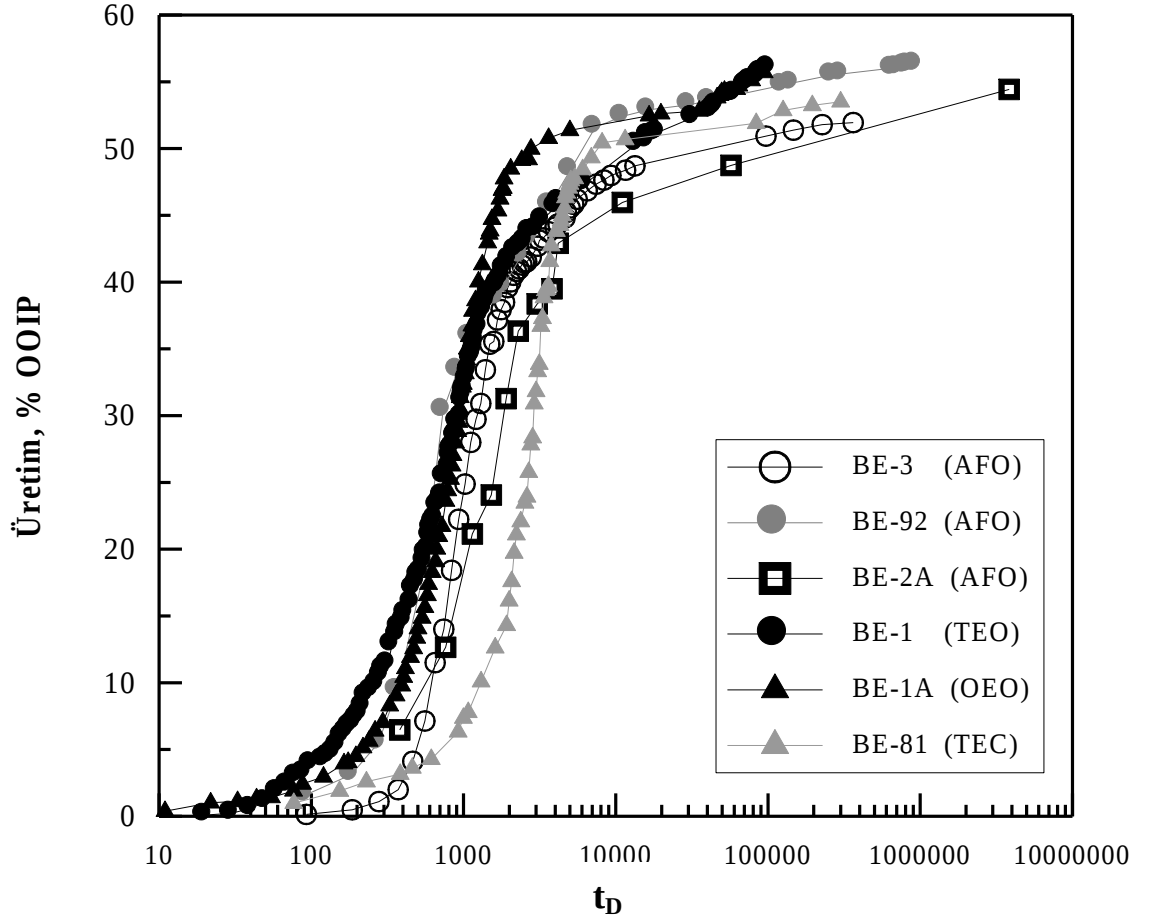
Şekil 4.20 Boyutsuz zaman-üretim ilişkisi (Mattax ve KYTE, 1962).

Şekil 4.20 elde edildikten sonra Şekil 4.19 ile verilen ham data'lara 1995 yılında Zhang ve diğ. tarafından geliştirilen ve Bölüm 2'de Denklem 2.19 ile verilen düzeltilmiş boyutsuz zaman ifadesi uygulanarak Şekil 4.21 elde edilmiştir.

$$t_D = t \sqrt{\frac{k}{\phi}} \frac{\sigma}{\mu_{gm}} \frac{1}{L_c^2} \quad (4.8)$$

Denklem 4.7 ve 4.8 örnek boyutlarının, sınır koşullarının ve göz önüne alınan su/petrol akma özelliklerinin imbibisyon üzerine etkilerini göstermektedir. Şekillerden de görülmektedir ki, silindirik karotlardan doğal imbibisyonla elde edilen nihai petrol üretimlerindeki değişim çok küçüktür. Fakat Şekil 4.21'den elde edilen korelasyon Şekil 4.20'den elde edilen korelasyondan daha iyidir. Şekil 4.19'da görülen üretim-zaman ilişkilerindeki dağınıklık Mattax ve KYTE'nin (1962) geliştirmiş olduğu boyutsuz zaman ifadesine göre değerlendirildiğinde biraz daha iyi duruma gelmekte fakat düzeltilmiş boyutsuz zaman ifadesi (Zhang ve diğ., 1995)

kullanıldığında eğrilerin birbirine daha fazla yaklaştığı yani daha iyi bir korelasyon elde edildiği görülmektedir.



Şekil 4.21 Düzeltilmiş boyutsuz zaman-üretim ilişkisi (Zhang ve diğ., 1995).

7. KAYNAKLAR

- Amott, E.**, 1959, Observations Relating to the Wettability of Porous Rock, *Trans. AIME*, **216**, pp. 156-162.
- Bartell, F.E. and Miller, F.L.**, 1928, Degree of Wetting of Silica by Crude Petroleum Oils, *Ind. Eng. Chem.*, July, **20**, No.7, pp. 738-742.
- Benner, F.C. and Bartell, F.E.**, 1942, The Effect of Polar Impurities Upon Capillary and Surface Phenomena in Petroleum Production, *Drill. And Prod. Prac.*, API, New York City, pp. 341-348.
- Bobek, J.E., Mattax, C.C. and Denekas, M.O.**, 1958, Reservoir Rock Wettability – Its Significance and Evaluation, *Trans. AIME*, **213**, pp. 155-160.
- Boneau, D.F. and Clampitt, R.L.**, 1977, A Surfactant System for the Oil-Wet Sandstone of the North Burbank Unit, *J. Pet. Tech.*, May, pp. 501-506.
- Bourbiaux, B.J. and Kalaydjian, F.J.**, 1990, Experimental Study of Cocurrent and Countercurrent Flow in Natural Porous Media, *SPE RE*, August, pp. 361-368.
- Browns, R.J.S. and Fatt, I.**, 1956, Measurements of Fractional Wettability of Oilfield Rocks by the Nuclear Magnetic Relaxation Method, *Trans. AIME*, **207**, pp. 262-264.
- Cesur, Y.**, 2003, Kişisel görüşme.
- Cuiec, L.**, 1984, Rock/Crude-Oil Interactions and Wettability: An Attempt to Understand Their Interrelation, paper SPE 13211 presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Houston, Sept. 16-19.
- Cuiec, L.E., Bourbiaux, B. and Kalaydjian, F.J.**, 1990, Imbibition in Low-Permeability Porous Media: Understanding and Improvement of Oil Recovery, paper SPE/DOE 20259 presented at the 7th Symposium on EOR, Tulsa, OK, April 22-25.

- Çatak, E.**, 2001, Numune Boyutlarının ve Numune Şeklinin Doğal İmbibisyona Etkisi, Bitirme Çalışması, İ.T.Ü. Petrol ve Doğal Gaz Müh. Böl., İstanbul.
- Denekas, M.O., Mattax, C.C. and Davis, G.T.**, 1959, Effect of Crude Oil Components on Rock Wettability, *Trans. AIME*, **216**, pp. 330-333.
- Donaldson, E.C., Thomas, R.D. and Lorenz, P.B.**, 1969, Wettability Determination and Its Effect on Recovery Efficiency, *Soc. Pet. Eng. J.*, March, pp. 13-20.
- Dönmez, A.**, 1995, Kılcal Emme Mekanizmasının Statik ve Dinamik Koşullarda Deneyisel İncelenmesi, Y. Lisans Tezi, İ.T.Ü. Petrol ve Doğal Gaz Müh. Böl., İstanbul.
- Du Prey**, 1978, Gravity and Capillarity Effects on Imbibition in Porous Media, *SPEJ*, June, pp. 195-205.
- Fatt, I. and Klikoff, W.A.**, 1959, Effect of Fractional Wettability on Multiphase Flow Through Porous Media, *Trans. AIME*, **216**, pp. 426-432.
- Ghedan, S.G. and Poettmann, F.H.**, 1990, Oil Recovery from Fractured Reservoirs Through Imbibition by Water and Polimer Flooding, paper SPE/DOE 20244 presented at the 7th Symposium on EOR, Tulsa, OK, April 22-25.
- Gökmen, M.**, 1999, Islatımlılığın Doğal İmbibisyon Mekanizması ile İncelenmesi, Bitirme Çalışması, İ.T.Ü. Petrol ve Doğal Gaz Müh. Böl., İstanbul.
- Graham, J.W. and Richardson, J.G.**, 1959, Theory and Applications of Imbibition Phenomena in Recovery of Oil, *Trans. AIME*, **216**, pp. 377-381.
- Hamon, G. and Vidal, J.**, 1986, Scaling-up the Capillary Imbibition Process from Laboratory Experiments on Homogeneous and Heterogeneous Samples, paper SPE 15852 presented at the SPE European Petroleum Conference, London, October 20-22.
- Iffly, R., Rousselet, D. and Vermeulen, J.L.**, 1972, Fundamental Study of Imbibition Process in Fissured Oil Field, paper SPE 4102 presented at the Annual Fall Meeting of SPE, San Antonio, TX, October 8-11.

- Iwankow, E.N.**, 1960, A Correlation of Interstitial Water Saturation and Heterogeneous Wettability, *Producers Monthly*, **24**, October, pp. 18-26.
- Jadhunandan, P.P.**, 1990, Effects of Brine Composition, Crude Oil, and Aging Conditions on Wettability and Oil Recovery, PhD. Thesis, New Mexico Institute of Mining & Technology, Socoro, New Mexico.
- Jadhunandan, P.P. and Morrow, N.R.**, 1991, Spontaneous Imbibition of Water by Crude Oil/brine/rock Systems, *Insitu*, **15**, No.4, pp. 319-345.
- Kazemi, H., Gilman, J.R. and Eisharkaway, A.M.**, 1992, Analytical and Numerical Solution of Oil Recovery from Fractured Reservoirs with Empirical Transfer Functions, *SPE*, May, pp. 219-227
- Keijzer, P.P.M. and de Vries, A.S.**, 1990, Imbibition of Surfactant Solutions, paper SPE/DOE 20222 presented at the 7th Symposium on EOR, Tulsa, OK, April 22-25.
- Kyte, J.R., Naumann, V.O. and Mattax, C.C.**, 1961, Effect of Reservoir Environment on Water-Oil Displacements, *J. Pet.Tech.*, June, pp. 579-582.
- Ma, S., Morrow, N.R. and Zhang, X.**, 1997, Generalized Scaling of Spontaneous Imbibition data for Strongly Water-Wet Systems, *Journal of Petroleum Science&Engineering*, **18**, pp. 165-178.
- Ma, S., Morrow, N.R., Zhou, X. and Zhang, X.**, 1994, Characterization of Wettability from Spontaneous Imbibition Measurements, paper CIM 94-47, Proc. the Petroleum Society of CIM 45th Annual Technical Meeting, Calgary, June 12-15.
- Ma, S., Zhang, X. and Morrow, N.R.**, 1995, A Characteristic Length for Scaling of Mass Transfer Between Fractures and Matrix, paper SPE 30232, Richardson, TX.
- Marsden, S.S. and Nikias, P.A.**, 1962, The Wettability of the Bradford Sand. I., *Producers Monthly*, May, pp. 2-5.
- Mattax, C.C. and Kyte, J.R.**, 1962, Imbibition Oil Recovery from Fractured, Water-Drive Reservoir, *SPE Journal*, June, pp. 177-184.

- Mihçakan, İ. M. ve Uğur, Z.**, 1999, PT407 Petrol ve Doğal Gaz Laboratuvarı Ders Notları, İ.T.Ü. Petrol ve Doğal Gaz Müh. Böl., İstanbul.
- Morrow, N.R. and McCaffery, F.G.**, 1978, Displacement Studies in Uniformly Wetted Porous Media, in Wetting, Spreading and Adhesion, J.F. Padday (ed.), Academic Press, NY, pp. 289-319.
- Morrow, N.R.**, 1970, Physics and Thermodynamics of Capillary Action in Porous Media, *Ind. Eng. Chem.*, **62**, June, pp. 32-56.
- Morrow, N.R.**, 1976, Capillary Pressure Correlations for Uniformly Wetted Porous Media, *J. Cdn. Pet. Tech.*, Oct.-Dec., pp. 49-69.
- Morrow, N.R.**, 1990, Wettability and Its Effect on Oil Recovery, SPE, Petroleum Recovery Research Center New Mexico Institute of Mining and Technology, New Mexico.
- Morrow, N.R., Lim, H.T. and Ward, J.S.**, 1986, Effect of Crude-Oil-Induced Wettability Changes on Oil Recovery, *SPE Formation Evaluation*, February, pp. 89-103.
- Parsons, R.W. and Chaney, P.R.**, 1966, Imbibition Model Studies on Water-Wet Carbonate Rock, *SPE J.*, March, pp. 26-34.
- Rathmell, J.J., Braun, P.H. and Perkins, T.K.**, 1973, Reservoir Waterflood Residual Oil Saturation from Laboratory Tests, *J. Pet. Tech.*, February, pp. 175-185.
- Richardson, J.G., Perkins, F.M. and Osoba, J.S.**, 1955, Differences in the Behavior of Fresh and Aged East Texas Woodbine Cores, *Trans. AIME*, **204**, pp. 86-91.
- Salathiel, R.A.**, 1973, Oil Recovery by Surface Film Drainage in Mixed Wettability Rocks, *J. Pet. Tech.*, October, pp. 1216-1224.
- Satman A, Alkan K.H. ve Toklu İ.T.**, 1992, İmbibition İle Petrol Üretiminin Deneyisel İncelenmesi, Türkiye 9. Petrol Kongresi, Ankara, Şubat 17-21, pp. 175-183.
- Schechter, D.S., Zhou, D. and Orr, F.M.**, 1991, Capillary Imbibition and Gravity Segregation in Low IFT Systems, paper SPE 22594 presented at the

Annual Technical Conference and Exhibition of SPE, Dallas, TX, October 6-9.

Toklu İ. T., 1991, Doğal Çatlaklı Rezervuarlarda Imbibition Mekanizması Üzerine Deneysel Çalışmalar, Y. Lisans Tezi, İ.T.Ü. Petrol ve Doğal Gaz Müh. Böl., İstanbul.

Torsæter, O., 1984, An Experimental Study of Water Imbibition in Chalk from the Ekofisk Field, paper SPE/DOE 12688 presented at the 4th Symposium on EOR, Tulsa, OK.

Torsæter, O. and Silseth, J.K., 1985, The Effect of Sample Shape and Boundary Condition on Capillary Imbibition, Chalk Reservoir Program Symposium, Stavanger, May 21-22.

Treiber, L.E., Archer, D.L. and Owens, W.W., 1972, A Laboratory Evaluation of the Wettability of Fifty Oil Producing Reservoirs, *Soc. Pet. Eng. J.*, December, pp. 531-540.

Ucko, D.A., 1982, Basics for Chemistry, Academic Press., Orlando, Florida, pp. 416-427.

Wang, F.H.L. and Guidry, L.J., 1990, Effect of Oxidation-Reduction Condition on Wettability Alteration, paper SPE 20504 presented at the 65th Annual Technical Conference and Exhibition of the SPE held in New Orleans, La, September 23-26.

Yıldırım, Y., 1999, Islatımlılığın Amott Metodu ile Sayısal Olarak İfadelendirilmesi, Bitirme Çalışması, İ.T.Ü. Petrol ve Doğal Gaz Müh. Böl., İstanbul.

Yıldız, H.Ö., 1998, PT 703 Üretim Arttırma Yöntemleri Ders Notları, İ.T.Ü. Petrol ve Doğal Gaz Müh. Böl., İstanbul.

Zhang, X., Morrow N.R. and Ma, S., 1995, Experimental Verification of a Modified Scaling Group for Spontaneous Imbibition, SPE 30762 presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition of SPE, Dallas, TX, October 22-25.

Zhou, X, Torsæter, O., Xie, X. and Morrow, N.R., 1995, The Effect of Crude Oil Aging Time and Temperature on the Rate of Water Imbibition and

Long-Term Recovery by Waterflooding, *SPE FE*, December, pp. 259-266.

EK-A. DOĞAL İMBİBİSYON DENEY VERİLERİ

Tablo A.1. BE-3 karotuna ait doğal imbibisyon deney verileri.

Karot : BE-3	Şekil : Silindir	L, cm : 7.6350	D, cm : 3.8267
m_d, gr : 175.983	m_{sat}, gr : 191.990	ρ_b, gr/cm³ : 1.0248	ρ_o, gr/cm³ : 0.7964
V_b, cm³ : 87.8446	V_p, cm³ : 20.0982	Φ, % : 22.88	k_b, md : 793

Zaman, dak	Kütle, gr	Üretim, %OOIP	Zaman, dak	Kütle, gr	Üretim, %OOIP
0	104.329	0.000	33	106.295	42.821
1	104.341	0.261	34	106.315	43.256
2	104.357	0.610	36	106.323	43.431
3	104.385	1.220	39	106.344	43.888
4	104.426	2.113	43	106.360	44.237
5	104.524	4.247	45	106.371	44.476
6	104.662	7.253	50	106.392	44.933
7	104.863	11.631	51	106.411	45.347
8	104.978	14.136	54	106.426	45.674
9	105.180	18.535	57	106.439	45.957
10	105.356	22.369	60	106.456	46.327
11	105.477	25.004	70	106.485	46.959
12	105.620	28.119	80	106.508	47.460
13	105.700	29.861	90	106.522	47.765
14	105.754	31.037	100	106.538	48.113
15	105.870	33.564	125	106.556	48.506
16	105.958	35.481	144	106.571	48.832
17	105.967	35.677	1045	106.673	51.054
18	106.041	37.288	1585	106.694	51.511
19	106.077	38.073	2450	106.713	51.925
20	106.102	38.617	3920	106.720	52.078
21	106.152	39.706			
22	106.172	40.142			
23	106.195	40.643			
24	106.208	40.926			
25	106.217	41.122			
26	106.230	41.405			
27	106.237	41.557			
28	106.241	41.645			
30	106.258	42.015			

Tablo A.2. BE-92 karotuna ait doğal imbibisyon deney verileri.

Karot : BE-92	Şekil : Silindir	L, cm : 5.0900	D, cm : 3.8200
m_d, gr : 115.994	m_{sat}, gr : 126.578	ρ_b, gr/cm³ : 1.0261	ρ_o, gr/cm³ : 0.8024
V_b, cm³ : 58.3357	V_p, cm³ : 13.1898	Φ, % : 22.61	k_b, md : 585

Zaman, dak	Kütle, gr	Üretim, %OOIP	Zaman, dak	Kütle, gr	Üretim, %OOIP
0	68.215	0.000			
1	68.266	1.724			
2	68.311	3.245			
3	68.381	5.611			
4	68.498	9.566			
6	68.761	18.455			
8	69.118	30.522			
10	69.207	33.531			
12	69.282	36.066			
15	69.347	38.263			
18	69.367	38.939			
20	69.393	39.818			
26	69.460	42.082			
30	69.498	43.367			
40	69.573	45.902			
55	69.651	48.538			
80	69.745	51.716			
120	69.769	52.527			
180	69.784	53.034			
330	69.795	53.406			
450	69.804	53.710			
1350	69.838	54.859			
1560	69.843	55.028			
2870	69.861	55.636			
3300	69.863	55.704			
7160	69.876	56.143			
7660	69.877	56.177			
8645	69.881	56.313			
9065	69.883	56.380			
10055	69.885	56.448			

Tablo A.3. BE-2B karotuna ait doğal imbibisyon deney verileri.

Karot : BE-2B	Şekil : Silindir	L, cm : 1.4953	D, cm : 3.8285
m_d, gr : 33.777	m_{sat}, gr : 36.843	ρ_b, gr/cm³ : 1.0259	ρ_o, gr/cm³ : 0.8008
V_b, cm³ : 17.0992	V_p, cm³ : 3.8285	Φ, % : 22.39	k_b, md : 685

Zaman, dak	Kütle, gr	Üretim, %OOIP	Zaman, dak	Kütle, gr	Üretim, %OOIP
0	20.051	0.000			
1	20.053	0.232			
2	20.056	0.580			
3	20.078	3.133			
4	20.090	4.526			
5	20.105	6.267			
6	20.165	13.229			
7	20.198	17.059			
8	20.213	18.800			
9	20.252	23.326			
12	20.296	28.432			
14	20.315	30.637			
15	20.335	32.958			
16	20.346	34.234			
19	20.368	36.787			
24	20.386	38.876			
28	20.407	41.313			
40	20.420	42.822			
47	20.440	45.143			
61	20.444	45.607			
65	20.457	47.115			
88	20.460	47.464			
98	20.470	48.624			
140	20.487	50.597			
211	20.502	52.338			
250	20.503	52.454			
465	20.523	54.775			
1399	20.526	55.123			
3260	20.536	56.283			
3974	20.543	57.095			

Tablo A.4. BE-93A karotuna ait doğal imbibisyon deney verileri.

Karot : BE-93A	Şekil : Silindir	L, cm : 3.0790	D, cm : 3.8150
m_d, gr : 71.352	m_{sat}, gr : 77.427	ρ_b, gr/cm³ : 1.0254	ρ_o, gr/cm³ : 0.7968
V_b, cm³ : 35.1956	V_p, cm³ : 7.5550	Φ, % : 21.47	k_b, md : 575

Zaman, dak	Kütle, gr	Üretim, %OOIP	Zaman, dak	Kütle, gr	Üretim, %OOIP
0	42.035	0.000	93	42.875	48.894
1	42.055	1.164	143	42.88	49.185
2	42.089	3.143	227	42.898	50.232
3	42.157	7.101	266	42.908	50.814
4	42.225	11.059	345	42.913	51.106
5	42.283	14.435	417	42.916	51.280
6	42.348	18.219	645	42.918	51.397
7	42.388	20.547	1680	42.941	52.735
8	42.456	24.505	1933	42.957	53.667
9	42.474	25.553	3316	42.978	54.889
10	42.529	28.754	4310	42.992	55.704
12	42.583	31.897			
13	42.62	34.051			
14	42.656	36.146			
15	42.683	37.718			
16	42.724	40.104			
17	42.734	40.687			
19	42.749	41.560			
20	42.765	42.491			
21	42.781	43.422			
22	42.792	44.063			
25	42.801	44.586			
27	42.808	44.994			
29	42.815	45.401			
36	42.825	45.983			
37	42.835	46.565			
40	42.843	47.031			
55	42.851	47.497			
64	42.863	48.195			
88	42.866	48.370			

Tablo A.5. BE-2A karotuna ait doğal imbibisyon deney verileri.

Karot : BE-2A	Şekil : Silindir	L, cm : 1.3708	D, cm : 3.8167
m_d, gr : 30.962	m_{sat}, gr : 33.762	ρ_b, gr/cm³ : 1.0257	ρ_w, gr/cm³ : 0.8000
V_b, cm³ : 15.6898	V_p, cm³ : 3.5000	Φ, % : 22.31	k_b, md : 685

[illegible]

Tablo A.6. BE-1 (TEO) karotuna ait doğal imbibisyon deney verileri.

Karot : BE-1	Şekil : Silindir	L, cm : 7.6900	D, cm : 3.8150
m_d, gr : 176.797	m_{sat}, gr : 191.951	ρ_b, gr/cm³ : 1.0249	ρ_o, gr/cm³ : 0.8018
V_b, cm³ : 87.9387	V_p, cm³ : 18.9009	Φ, % : 21.49	k_b, md : 710

Zaman, dak	Kütle, gr	Üretim, %OOIP	Zaman, dak	Kütle, gr	Üretim, %OOIP
0	105.811	0.000	68	106.797	23.376
2	105.820	0.213	73	106.829	24.135
3	105.826	0.356	75	106.889	25.558
4	105.841	0.711	82	106.918	26.245
5	105.863	1.233	83	106.954	27.099
6	105.894	1.968	91	107.024	28.758
7	105.915	2.466	92	107.061	29.635
8	105.944	3.153	98	107.077	30.015
9	105.954	3.390	99	107.129	31.248
10	105.982	4.054	110	107.226	33.547
15	106.040	5.429	113	107.260	34.353
16	106.067	6.069	131	107.396	37.578
19	106.110	7.089	138	107.415	38.028
20	106.126	7.468	167	107.491	39.830
22	106.163	8.345	170	107.499	40.020
23	106.196	9.128	178	107.515	40.399
27	106.232	9.981	186	107.546	41.134
29	106.261	10.669	274	107.663	43.908
30	106.281	11.143	332	107.701	44.809
34	106.358	12.968	405	107.742	45.781
37	106.390	13.727	514	107.763	46.279
38	106.414	14.296	555	107.798	47.108
42	106.457	15.316	1372	107.939	50.451
46	106.491	16.122	1884	107.976	51.329
47	106.535	17.165	4246	108.044	52.941
51	106.577	18.161	4595	108.062	53.367
56	106.622	19.227	6060	108.100	54.268
60	106.660	20.128	7697	108.140	55.217
61	106.702	21.124	8932	108.162	55.738
66	106.756	22.404	10054	108.181	56.189

Tablo A.7. BE-1A (OEO) karotuna ait doğal imbibisyon deney verileri.

Karot : BE-1A	Şekil : Silindir	L, cm : 3.6833	D, cm : 3.8150
m_d, gr : 87.850	m_{sat}, gr : 95.027	ρ_b, gr/cm³ : 1.0252	ρ_o, gr/cm³ : 0.8009
V_b, cm³ : 42.1206	V_p, cm³ : 8.9614	Φ, % : 21.28	k_b, md : 710

Zaman, dak	Kütle, gr	Üretim, %OOIP	Zaman, dak	Kütle, gr	Üretim, %OOIP
0	50.727	0.000	60	51.113	19.205
1	50.737	0.498	63	51.151	21.096
2	50.750	1.144	70	51.204	23.733
3	50.752	1.244	75	51.237	25.375
4	50.756	1.443	77	51.257	26.370
5	50.758	1.542	81	51.292	28.111
7	50.768	2.040	86	51.344	30.699
8	50.778	2.537	91	51.380	32.490
11	50.789	3.085	96	51.417	34.331
15	50.809	4.080	100	51.452	36.072
16	50.811	4.179	110	51.506	38.759
18	50.820	4.627	115	51.534	40.152
20	50.833	5.274	132	51.593	43.088
22	50.843	5.772	137	51.611	43.983
24	50.858	6.518	141	51.628	44.829
27	50.871	7.165	154	51.641	45.476
30	50.896	8.409	159	51.659	46.371
33	50.911	9.155	164	51.672	47.018
36	50.926	9.901	169	51.689	47.864
37	50.939	10.548	187	51.704	48.610
38	50.952	11.195	221	51.717	49.257
41	50.969	12.041	245	51.718	49.307
43	50.982	12.687	254	51.734	50.103
45	50.998	13.484	332	51.750	50.899
46	51.012	14.180	457	51.762	51.496
49	51.028	14.976	1517	51.784	52.591
51	51.044	15.772	4243	51.811	53.934
53	51.062	16.668	5683	51.824	54.581
54	51.079	17.514	7160	51.837	55.228
57	51.097	18.409	8640	51.849	55.825

Tablo A.8. BE-81 (TEC) karotuna ait doğal imbibisyon deney verileri.

Karot : BE-81	Şekil : Silindir	L, cm : 7.7000	D, cm : 3.8150
m_d, gr : 176.869	m_{sat}, gr : 192.957	ρ_b, gr/cm³ : 1.0250	ρ_o, gr/cm³ : 0.7999
V_b, cm³ : 88.0531	V_p, cm³ : 20.1130	Φ, % : 22.84	k_b, md : 675

Zaman, dak	Kütle, gr	Üretim, %OOIP	Zaman, dak	Kütle, gr	Üretim, %OOIP
0	103.862	0.000	45	105.651	39.504
1	103.912	1.104	46	105.655	39.592
2	103.953	2.009	47	105.666	39.835
3	103.985	2.716	48	105.750	41.690
5	104.011	3.290	49	105.803	42.860
6	104.032	3.754	53	105.852	43.942
8	104.061	4.394	56	105.872	44.384
12	104.154	6.448	57	105.887	44.715
13	104.201	7.486	58	105.905	45.113
14	104.220	7.905	60	105.931	45.687
17	104.324	10.202	61	105.966	46.460
21	104.439	12.741	62	105.982	46.813
25	104.515	14.419	64	105.999	47.188
26	104.598	16.252	65	106.012	47.476
27	104.664	17.709	66	106.024	47.741
28	104.761	19.851	70	106.031	47.895
29	104.823	21.220	79	106.061	48.558
31	104.867	22.192	90	106.101	49.441
33	104.931	23.605	106	106.152	50.567
34	104.951	24.047	150	106.163	50.810
35	105.035	25.902	1090	106.218	52.024
36	105.128	27.955	1640	106.261	52.974
37	105.152	28.485	2554	106.278	53.349
38	105.267	31.025	3925	106.291	53.636
39	105.309	31.952			
40	105.376	33.432			
41	105.401	33.984			
42	105.530	36.832			
43	105.556	37.406			
44	105.627	38.974			

Tablo A.9. BE-91 karotuna ait doğal imbibisyon deney verileri.

Karot : BE-91	Şekil : K. Prizma	L, cm : 7.6900	a, cm : 2.5800
m_d, gr : 176.869	m_{sat}, gr : 192.957	ρ_b, gr/cm³ : 1.0257	ρ_o, gr/cm³ : 0.7940
V_b, cm³ : 51.1877	V_p, cm³ : 11.9802	Φ, % : 23.40	k_b, md : 767

Zaman, dak	Kütle, gr	Üretim, %OOIP	Zaman, dak	Kütle, gr	Üretim, %OOIP
0	61.418	0.000	47	62.466	37.699
1	61.438	0.719	51	62.474	37.987
2	61.467	1.763	58	62.476	38.059
3	61.468	1.799	60	62.477	38.095
4	61.484	2.374	66	62.481	38.239
5	61.544	4.533	70	62.485	38.383
6	61.623	7.374	74	62.486	38.419
7	61.798	13.670	81	62.491	38.599
8	61.856	15.756	82	62.493	38.671
9	61.997	20.828	85	62.496	38.778
10	62.104	24.677	86	62.497	38.814
11	62.225	29.030	95	62.502	38.994
12	62.258	30.217	96	62.505	39.102
13	62.290	31.368	119	62.517	39.534
14	62.308	32.016	135	62.519	39.606
15	62.339	33.131	136	62.521	39.678
16	62.349	33.490	154	62.530	40.002
17	62.368	34.174	205	62.548	40.649
18	62.375	34.426	304	62.558	41.009
19	62.378	34.534	370	62.574	41.584
20	62.380	34.606	404	62.582	41.872
22	62.398	35.253	470	62.592	42.232
23	62.420	36.045	575	62.604	42.663
24	62.421	36.080	702	62.609	42.843
25	62.433	36.512	1410	62.627	43.491
26	62.436	36.620	1600	62.637	43.851
28	62.440	36.764	1774	62.640	43.958
30	62.443	36.872	1856	62.654	44.462
33	62.453	37.232	2843	62.658	44.606
40	62.465	37.663	4302	62.663	44.786

Tablo A.10. BE-10 karotuna ait doğal imbibisyon deney verileri.

Karot : BE-10	Şekil : K. Prizma	L, cm : 5.0269	a, cm : 2.6642
m_d, gr : 70.671	m_{sat}, gr : 77.218	ρ_b, gr/cm³ : 1.0259	ρ_o, gr/cm³ : 0.8022
V_b, cm³ : 35.6797	V_p, cm³ : 8.1613	Φ, % : 22.87	k_b, md : 580

Zaman, dak	Kütle, gr	Üretim, %OOIP	Zaman, dak	Kütle, gr	Üretim, %OOIP
0	41.888	0.000	1680	42.696	44.246
1	41.897	0.493	2615	42.728	45.998
2	41.904	0.876	7040	42.738	46.545
5	41.944	3.067			
6	41.957	3.778			
7	42.000	6.133			
8	42.038	8.214			
9	42.113	12.321			
10	42.181	16.044			
11	42.255	20.097			
12	42.303	22.725			
13	42.320	23.656			
14	42.345	25.025			
15	42.454	30.994			
16	42.503	33.677			
17	42.538	35.594			
19	42.544	35.922			
22	42.562	36.908			
23	42.579	37.839			
24	42.584	38.112			
46	42.593	38.605			
53	42.605	39.262			
60	42.615	39.810			
66	42.618	39.974			
75	42.630	40.631			
85	42.636	40.960			
112	42.656	42.055			
145	42.662	42.384			
285	42.675	43.096			
1180	42.685	43.643			

Tablo A.11. I-2 karotuna ait doğal imbibisyon deney verileri.

Karot : I-2	Şekil : K. Prizma	L, cm : 3.4650	a, cm : 2.6542
m_d, gr : 48.820	m_{sat}, gr : 53.574	ρ_b, gr/cm³ : 1.0252	ρ_o, gr/cm³ : 0.7986
V_b, cm³ : 24.4092	V_p, cm³ : 5.9529	Φ, % : 24.39	k_b, md : 690

Zaman, dak	Kütle, gr	Üretim, %OOIP	Zaman, dak	Kütle, gr	Üretim, %OOIP
0	28.901	0.000	640	29.509	45.073
1	28.974	5.412	8640	29.517	45.666
2	28.999	7.265	8720	29.519	45.814
3	29.039	10.230	8880	29.522	46.036
4	29.078	13.122	10015	29.529	46.555
5	29.148	18.311	10215	29.532	46.778
6	29.183	20.905			
7	29.257	26.391			
8	29.317	30.839			
9	29.337	32.322			
10	29.349	33.211			
11	29.354	33.582			
12	29.360	34.027			
13	29.369	34.694			
15	29.372	34.917			
16	29.383	35.732			
17	29.384	35.806			
18	29.401	37.066			
20	29.405	37.363			
25	29.431	39.290			
30	29.437	39.735			
35	29.444	40.254			
40	29.447	40.476			
50	29.452	40.847			
60	29.463	41.663			
75	29.479	42.849			
95	29.480	42.923			
205	29.490	43.664			
290	29.497	44.183			
385	29.501	44.480			

Tablo A.12. BE-91A karotuna ait doğal imbibisyon deney verileri.

Karot : BE-91A	Şekil : K. Prizma	L, cm : 1.8094	a, cm : 2.7100
m_d, gr : 26.441	m_{sat}, gr : 28.865	ρ_b, gr/cm³ : 1.0253	ρ_o, gr/cm³ : 0.7966
V_b, cm³ : 13.2884	V_p, cm³ : 3.0429	Φ, % : 22.89	k_b, md : 767

Zaman, dak	Kütle, gr	Üretim, %OOIP	Zaman, dak	Kütle, gr	Üretim, %OOIP
0	15.700	0.000	1774	16.040	48.852
1	15.704	0.575	10000	16.040	48.852
3	15.709	1.293			
4	15.714	2.012			
5	15.762	8.908			
6	15.767	9.627			
7	15.790	12.931			
8	15.804	14.943			
9	15.838	19.828			
10	15.862	23.277			
12	15.876	25.288			
13	15.883	26.294			
14	15.897	28.305			
15	15.908	29.886			
16	15.936	33.909			
18	15.937	34.053			
19	15.943	34.915			
25	15.948	35.633			
26	15.958	37.070			
31	15.960	37.357			
32	15.965	38.076			
35	15.973	39.225			
36	15.975	39.513			
37	15.978	39.944			
66	15.984	40.806			
68	15.987	41.237			
253	16.021	46.122			
295	16.024	46.553			
447	16.031	47.559			
1385	16.039	48.708			

Tablo A.13. BE-89 karotuna ait doğal imbibisyon deney verileri.

Karot : BE-89	Şekil : Ü. Prizma	L, cm : 7.6900	a, cm : 3.2466
m_d, gr : 78.507	m_{sat}, gr : 85.226	ρ_b, gr/cm³ : 1.0246	ρ_o, gr/cm³ : 0.7984
V_b, cm³ : 35.0982	V_p, cm³ : 8.4156	Φ, % : 23.98	k_b, md : 488

Zaman, dak	Kütle, gr	Üretim, %OOIP	Zaman, dak	Kütle, gr	Üretim, %OOIP
0	46.713	0.000	46	47.250	28.658
1	46.721	0.427	50	47.254	28.871
2	46.733	1.067	54	47.257	29.031
3	46.736	1.227	76	47.258	29.085
4	46.748	1.868	100	47.260	29.191
5	46.782	3.682	101	47.261	29.245
6	46.830	6.244	105	47.262	29.298
7	46.898	9.873	115	47.263	29.351
8	47.013	16.010	125	47.267	29.565
9	47.041	17.504	128	47.272	29.832
10	47.060	18.518	144	47.274	29.939
11	47.095	20.386	188	47.284	30.472
12	47.097	20.493	200	47.286	30.579
13	47.113	21.347	221	47.300	31.326
14	47.121	21.773	260	47.302	31.433
15	47.126	22.040	317	47.305	31.593
16	47.140	22.787	355	47.309	31.806
19	47.144	23.001	380	47.311	31.913
21	47.155	23.588	460	47.312	31.966
22	47.158	23.748	1514	47.323	32.553
23	47.160	23.855	1645	47.330	32.927
26	47.177	24.762	2820	47.334	33.140
27	47.200	25.989			
30	47.202	26.096			
32	47.218	26.950			
36	47.222	27.163			
37	47.230	27.590			
39	47.239	28.071			
42	47.240	28.124			
45	47.242	28.231			

Tablo A.14. BE-90A karotuna ait doğal imbibisyon deney verileri.

Karot : BE-90A	Şekil : Ü. Prizma	L, cm : 3.3800	a, cm : 3.2300
m_d, gr : 32.377	m_{sat}, gr : 35.381	ρ_b, gr/cm³ : 1.0267	ρ_o, gr/cm³ : 0.7975
V_b, cm³ : 15.2696	V_p, cm³ : 3.7669	Φ, % : 24.67	k_b, md : 726

Zaman, dak	Kütle, gr	Üretim, %OOIP	Zaman, dak	Kütle, gr	Üretim, %OOIP
0	19.185	0.000	3025	19.529	39.844
1	19.189	0.463			
2	19.210	2.896			
3	19.244	6.834			
4	19.295	12.741			
5	19.370	21.428			
6	19.406	25.597			
7	19.408	25.829			
8	19.416	26.756			
9	19.427	28.030			
10	19.437	29.188			
13	19.446	30.231			
14	19.453	31.041			
16	19.456	31.389			
17	19.463	32.200			
21	19.465	32.431			
22	19.473	33.358			
25	19.477	33.821			
28	19.478	33.937			
33	19.479	34.053			
38	19.483	34.516			
41	19.489	35.211			
43	19.494	35.790			
55	19.498	36.253			
70	19.506	37.180			
85	19.511	37.759			
120	19.513	37.991			
318	19.517	38.454			
1490	19.522	39.033			
1750	19.524	39.265			

Tablo A.15. I-1 karotuna ait doğal imbibisyon deney verileri.

Karot : I-1	Şekil : Ü. Prizma	L, cm : 3.3400	a, cm : 3.1687
m_d, gr : 32.272	m_{sat}, gr : 35.104	ρ_b, gr/cm³ : 1.0243	ρ_o, gr/cm³ : 0.7951
V_b, cm³ : 14.6906	V_p, cm³ : 3.5619	Φ, % : 24.25	k_b, md : 690

Zaman, dak	Kütle, gr	Üretim, %OOIP	Zaman, dak	Kütle, gr	Üretim, %OOIP
0	19.035	0.000			
1	19.054	2.190			
2	19.057	2.535			
3	19.159	14.291			
4	19.198	18.785			
5	19.208	19.938			
6	19.217	20.975			
7	19.258	25.700			
8	19.265	26.507			
9	19.285	28.812			
10	19.294	29.849			
11	19.302	30.771			
13	19.305	31.117			
15	19.321	32.961			
20	19.324	33.306			
25	19.333	34.344			
30	19.347	35.957			
35	19.347	35.957			
40	19.348	36.072			
45	19.353	36.649			
60	19.355	36.879			
75	19.360	37.455			
100	19.360	37.455			
120	19.365	38.032			
135	19.369	38.493			

ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında İzmir’de doğan Melih GÖKMEN ilköğretimini Çanakkale, ortaöğretimini Kocaeli’de tamamladı. 1994 yılında İ.T.Ü. Maden Fakültesi Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümünü kazandı. Aynı yıl üniversitenin hazırlık sınıfını okudu. 1999 yılında bu bölümden Petrol ve Doğal Gaz Mühendisi olarak mezun oldu. 2000-2003 yılları arasında aynı bölümde Yüksek Lisans eğitimini sürdüren Melih GÖKMEN Şubat 2001 tarihinden itibaren Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü’nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.