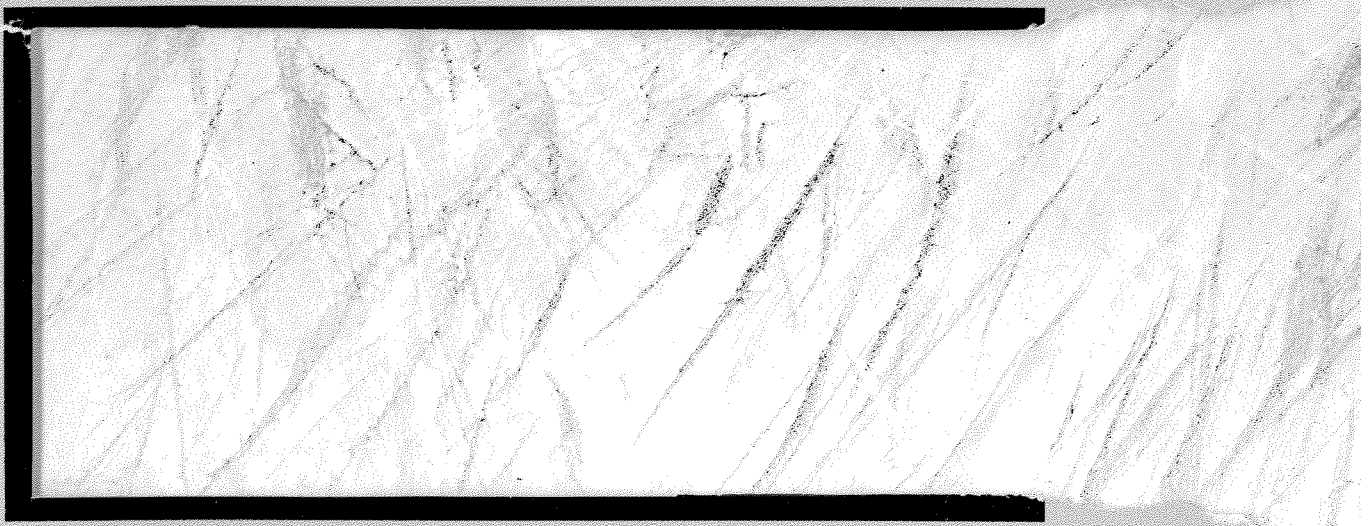




TÜRKİYE BİLİMSEL VE  
TEKNİK ARAŞTIRMA KURUMU

THE SCIENTIFIC AND TECHNICAL  
RESEARCH COUNCIL OF TURKEY



Yer Deniz Atmosfer Bilimleri ve  
Çevre Araştırma Grubu

Earth Marine Atmospheric Sciences and  
Environmental Researches Grant Group

**KİREÇTAŞI REZERVUARLARDA FORMASYON HASARININ  
(FORMATION DAMAGE) TESPİT EDİLMESİ VE PETROL  
ÜRETİMİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**PROJE NO : YDABÇAĞ – 507**

1997/1357

**Prof. Dr. A. Suat Bağcı  
Doç. Dr. Mustafa V. Kök  
Araş. Gör. Ulaş Türksoy  
A. Murat Arıkan**

**ARALIK 1998**

**ANKARA**

## ÖNSÖZ

Türkiye'deki petrol rezervlerinin çoğunluğu kireçtaşı içerisinde mevcut olan petroleri içermekte ve bu rezervuarlardan birincil üretim mekanizmalarıyla üretim yapılmaktadır. Bu rezervlerde üretimi artırmak için uygulanacak olan su enjeksiyonu çalışmalarında formasyonda meydana gelebilecek formasyon hasarının tesbit edilebilmesi için laboratuvarında farklı tuzlarla hazırlanan formasyon sularının kullanılmasıyla öteleme deneyleri yapılması gerekmektedir. Bulunan geçirgenlik azalım değerleri ile formasyonun hasarı tesbit edilmektedir.

Formasyon hasarı, rezervuarın sondajından, üretilmesine kadar olan tüm operasyonlarda karşılaşılan önemli problemlerdendir. Petrol üretiminin artırılmasında uygulanmakta olan su enjeksiyonu yönteminde, formasyon hasarı nedeniyle kuyuların enjektivitesi azalmaktadır. Bu formasyon hasarına neden olan faktörler: formasyon kayacının mineralojik kompozisyonu ve kullanılan enjeksiyon suyunun içerisindeki tuz ve askıda katı madde konsantrasyonudur. Petrol ve doğal gaz rezervuarlarının üretilebilirliğinde etkin olan önemli parametrelerden biride rezervuar kayacının geçirgenliğidir. Formasyon hasarı neticesinde petrol ve doğal gaz üretimine başlamadan önce, geçirgenliğin ne kadar etkilendiğinin (geçirgenlik azalımı) deneysel olarak tesbit edilmesi önemli kavramlardandır. Göreli formasyon geçirgenlik testleriyle, tuzluluk, sıcaklık ve basıncın formasyon hasarına olan etkisi laboratuvarında çalışılmalıdır. Formasyon içerisinde meydana gelen kimyasal reaksiyonları en iyi belirleyen parametre akan sıvının pH'ındaki değişimdir. Karbonatların çözülmesi veya minerallerle sıvı arasındaki iyon değişimi pH'ın değişmesine neden olmaktadır.

Bu projede, geçirgenliğin azalması, enjeksiyon suyunun tuzluluklarının değişiminin petrol üretimi üzerindeki etkisi detaylı laboratuvar çalışması olarak yapılmıştır. Deneysel çalışma, konsolide olmamış ve konsolide olmuş karotlarda doğrusal öteleme deneyleri yapılarak gerçekleştirilmiştir. Enjeksiyon suyunun tuzluluk ve içerdiği askıda tanecik konsantrasyonu ve petrol emülsiyonu değiştirilmiştir. Üretilen suyun pH, iyonik klor konsantrasyonu ve üretilen petrolün miktarları ölçülmüştür. Bulunan tüm sonuçlar bu rapor içerisinde sunulmuştur.

Orta Doęu Teknik Üniversitesi Petrol ve Doğal Gaz Mühendislięi Bölümünde, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumunun desteği ile gerçekleştirilen bu çalışmada katkılarından dolayı Doç. Dr. Mustafa Kök, Arş. Gör. Ulaş Türksöy ve Murat Arıkan'a, Teknisyenler, Fazıl Türegün ve Naci Doğru'ya teşekkür ederim.

Prof. Dr. A. Suat Bağcı  
Orta Doęu Teknik Üniversitesi  
Petrol ve Doğal Gaz Müh. Böl.  
Aralık, 1998

## İÇİNDEKİLER

Bölüm	Sayfa
ÖNSÖZ .....	i
İÇİNDEKİLER .....	iii
TABLO LİSTESİ .....	v
ŞEKİL LİSTESİ .....	vi
SİMGELER .....	viii
ÖZ .....	ix
ABSTRACT .....	x
1. GİRİŞ .....	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI .....	3
3. FORMASYON HASARI .....	8
3.1. Yatay ve Dikey Kuyularda Formasyon Hasarları .....	8
3.2. Formasyon Hasarına Sebep Olan İşlemler .....	10
4. ARAŞTIRMADA KULLANILAN DENEY EKİPMANI VE PARÇALARI .....	14
5. DENEYLERDE İZLENEN YÖNTEM .....	20
6. VERİLERİN ANALİZİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ .....	22
6.1. Yüzey Gerilim Ölçümleri .....	22
6.2. Alkali Öteleme Deneyleri .....	25
6.3. Tuzlu Su Öteleme Deneyleri .....	31
6.3.1. Petrolsüz Deneyler.....	31
6.3.2. Petrollü Deneyler .....	34
7. SONUÇLAR .....	50

## İÇİNDEKİLER

Bölüm	Sayfa
8. KAYNAKLAR .....	51
EK-A . DENEY VERİLERİ .....	53

## TABLO LİSTESİ

<b>Tablo</b>	<b>Sayfa</b>
1. Garzan petrolünün özellikleri.....	21
2. 1-boyutlu modelde yaratılan gözenekli ortamın özellikleri.....	23
3. Minimum yüzey gerilim değerleri.....	23
4. Optimum alkali sıvı konsantrasyonları.....	26
5. Alkali öteleme deney şartları.....	26
6. Tuzlu su öteleme deney şartları.....	33
7. Geçirgenlik deney şartları.....	33
8. NaCl, CaCl <sub>2</sub> ve KCl öteleme deney şartları.....	35

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil	Sayfa
1. Rezervuarda oluşan formasyon hasarları.....	9
2. Deney düzeneği.....	15
3. 1-boyutlu model.....	16
4. Karot tutucu.....	17
5. Kontrol panosu.....	18
6. Garzan petrolünün viskozitesinin sıcaklıkla değişimi.....	21
7. Garzan petrolü-NaOH arasındaki yüzey gerilim değişimi.....	24
8. Garzan petrolü-NaSiO <sub>4</sub> arasındaki yüzey gerilim değişimi.....	24
9. Petrol üretiminin enjekte edilen hacimle değişimi (NaOH ötelemesi).....	27
10. Üretilen suyun pH'ının enjekte edilen hacimle değişimi (NaOH ötelemesi).....	28
11. C/C <sub>0</sub> 'nun enjekte edilen hacimle değişimi (NaOH ötelemesi).....	28
12. Petrol üretiminin enjekte edilen hacimle değişimi (NaSiO <sub>4</sub> ötelemesi).....	29
13. Üretilen suyun pH'ının enjekte edilen hacimle değişimi (NaSiO <sub>4</sub> ötelemesi).....	30
14. C/C <sub>0</sub> 'nun enjekte edilen hacimle değişimi (NaSiO <sub>4</sub> ötelemesi).....	30
15. Geçirgenlik azalımının enjekte edilen hacimle değişimi (NaOH ötelemesi).....	32
16. Geçirgenlik azalımının enjekte edilen hacimle değişimi (NaSiO <sub>4</sub> ötelemesi).....	32
17. ΔP 'nin enjekte edilen hacimle değişimi (Konsolide olamayan karot).....	36
18. ΔP 'nin enjekte edilen hacimle değişimi (Konsolide karot).....	36
19. ΔP 'nin enjekte edilen hacimle değişimi (NaCl ötelemesi).....	37
20. Üretilen suyun pH'ının enjekte edilen hacimle değişimi (NaCl ötelemesi).....	37
21. Cl konsantrasyonunun enjekte edilen hacimle değişimi (NaCl ötelemesi).....	38



**Şekil****Sayfa**

22. Petrol üretiminin enjekte edilen hacimle değişimi (NaCl ötelemesi).....	38
23. Geçirgenlik azalımının enjekte edilen hacimle değişimi (NaCl ötelemesi)....	40
24. $\Delta P$ 'nin enjekte edilen hacimle değişimi ( $CaCl_2$ ötelemesi).....	40
25. Üretilen suyun pH'ının enjekte edilen hacimle değişimi ( $CaCl_2$ ötelemesi)...	41
26. Cl konsantrasyonunun enjekte edilen hacimle değişimi ( $CaCl_2$ ötelemesi)....	41
27. Petrol üretiminin enjekte edilen hacimle değişimi ( $CaCl_2$ ötelemesi).....	42
28. Geçirgenlik azalımının enjekte edilen hacimle değişimi ( $CaCl_2$ ötelemesi)...	42
29. $\Delta P$ 'nin enjekte edilen hacimle değişimi (KCl ötelemesi).....	44
30. Üretilen suyun pH'ının enjekte edilen hacimle değişimi (KCl ötelemesi).....	44
31. Cl konsantrasyonunun enjekte edilen hacimle değişimi (KCl ötelemesi).....	45
32. Petrol üretiminin enjekte edilen hacimle değişimi (KCl ötelemesi).....	45
33. Geçirgenlik azalımının enjekte edilen hacimle değişimi (KCl ötelemesi)....	46
34. $\Delta P$ 'nin enjekte edilen hacimle değişimi (Karışım ötelemesi).....	46
35. Üretilen suyun pH'ının enjekte edilen hacimle değişimi (Karışım ötelemesi).....	47
36. Cl konsantrasyonunun enjekte edilen hacimle değişimi (Karışım ötelemesi).....	47
37. Petrol üretiminin enjekte edilen hacimle değişimi (Karışım ötelemesi).....	49
38. Geçirgenlik azalımının enjekte edilen hacimle değişimi (Karışım ötelemesi).....	49

## SİMGELER

$C$  = Üretilen su içerisindeki tuz konsantrasyonu, ppm

$C_0$  = Enjekte edilen su içerisindeki tuz konsantrasyonu, ppm

$C/C_0$  = Boyutsuz konsantrasyonu oranı

$k$  = Tuzlu su konsantrasyonları kullanılarak ölçülen geçirgenlik, darcy

$k_0$  = Tuzlu su enjeksiyonundan önce ölçülen orijinal geçirgenlik, darcy

$k/k_0$  = Geçirgenlik azalımı, boyutsuz

## ÖZ

Petrol rezervuarlarında su enjeksiyonu sırasında, formasyon hasarının kuyuların su enjektivitesini azaltması önem kazanmaktadır. Formasyon içerisinde meydana gelen kimyasal reaksiyonları en iyi belirleyen parametre akan sıvının pH'ındaki değişimdir. Yüksek pH, gözenekli ortamda askıda kum taneciklerinin çökmesiyle formasyon hasarı meydana gelmekte ve askıda taneciklerin gözenekleri tıkmamasına neden olmaktadır. Formasyon hasarının ölçülerinden biriside, geçirgenlik azalımıdır.

Deneyel çalışma kireçtaşı ortamda öteleme deneyleri yapılarak gerçekleştirilmiştir. Üretilen suyun pH'ı ve Cl konsantrasyonu gözenekli ortamın çıkışında ölçülmüştür. Tuzlu sular sodyum, kalsiyum ve potasyum tuzlarından (NaCl, CaCl<sub>2</sub>, KCl) hazırlanmıştır.

Kireçtaşı formasyonlarda, enjeksiyonda kullanılan formasyon suyu veya yapay olarak farklı konsantrasyonlarda hazırlanan tuzlu su formasyonda geçirgenlik azalımına neden olmuştur. Üretilen suyun pH'ının ölçülmesiyle yüksek pH değerlerinin geçirgenliği azalttığı ve formasyonda gözeneklerde tıkanma meydana geldiği ve neticesinde formasyon hasarının olduğu tebit edilmiştir. Alkali öteleme deneylerinde, geçirgenlik azalımının yüksek pH'lı sıvıların formasyon ile teması sonucunda meydana geldiği gözlenmiştir. NaCl, KCl ve CaCl<sub>2</sub> karışımlarıyla yapılan deneylerde geçirgenlik azalımının engellendiği ve petrol üretiminin arttığı gözlenmiştir. Tuz konsantrasyonunun kritik tuz konsantrasyonu altına düşmesi durumunda, kil taneciklerinin serbest kalarak, enjeksiyon suyu ile birlikte hareket ettikleri ve gözenekleri tıkayarak, geçirgenlik azalımına neden olduğu ve formasyon hasarı meydana getirdiği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Su enjeksiyonu, Formasyon hasarı, Kireçtaşı formasyon, Geçirgenlik azalımı, Askıda katı tanecikler.

## ABSTRACT

Reduction of injectivity of wells by formation damage can be of considerable magnitude during waterflooding of oil reservoirs. Variation of pH of the flowing fluid is an indicator of pH of the extent of chemical activity occurring in the formation. High pH promotes formation damage by particle deposition within the porous media and consequently particle bridging at the pore throats. Permeability reduction is used as quantitative measure of formation damage.

The experimental investigation is made up of core flow experiments in limestone. Effluent pH and Cl concentration are measured at the outlet of the porous medium. Brines are prepared with sodium, calcium and potassium salts (NaCl, CaCl<sub>2</sub>, KCl).

In limestone formations, formation water used in injection and artificially prepared brine in various concentrations caused the permeability reduction. High pH values measured in produced water caused the permeability reduction and consequently the pores are plugged and formation damage is observed. In alkaline flooding runs, permeability reduction is observed as a result of high pH alkaline fluids. The permeability reduction is decreased using NaCl, CaCl<sub>2</sub> and KCl mixtures and high oil recoveries are obtained. Suspended solid particles are released and moved with injection water as a result of Cl concentration below the critical salt concentration caused the permeability reduction and the formation damage is occurred.

Keywords: Water flooding, Formation damage, Limestone reservoir, Permeability reduction, Suspended solid particles.

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Sondaj operasyonundan petrolün üretimine kadar olan tüm işlemler sırasında karşılaşılan önemli problemlerden biriside formasyon hasarı (formation damage) dır. Laboratuvar ve saha çalışmaları, sondaj, kuyu tamamlama, üretim ve kuyu canlandırma operasyonları neticesinde oluşan formasyon hasarının kuyu üretilebilirliği üzerinde etkisi olduğunu göstermiştir. Petrol üretimini yükseltme yöntemlerinin uygulanmasında, enjeksiyon ve üretim kuyuları arasında daha önceki operasyonlarda oluşan formasyon hasarının, kuyu üretilebilirliği, süpürme katsayısı ve üretim faktörleri üzerinde olumsuz etkisi olduğu gözlenmiştir. Petrol üretimini yükseltme yöntemlerinin başarılı ve başarısız olması planlanan miktarda sıvının rezerve enjektde edilmesi ve yeterli miktarda petrolün üretilmesi ile olmaktadır.

Formasyon hasarının tamir edilmesi zor ve maliyeti çok yüksektir, bu nedenle formasyon hasarının kuyuların sondajı ve üretilmesi sırasında oluşmadan engellenmesi gerekmektedir. Formasyon hasarının engellenmesi için uygulanacak operasyonlarda kullanılacak yöntemlerin, sıvıların ve diğer parametrelerin çok iyi seçilmesi gerekmektedir.

Petrollü üretim formasyonlarında her zaman küçük kum tanecikleri, gözenekler içerisinde bulunmaktadır ve üretim sırasında hareket ederek formasyon hasarına neden olmaktadır. Sondaj ve kuyu tamamlama operasyonlarında kullanılan birçok sıvı içerisinde yüzer halde küçük kum tanecikleri mevcuttur. Formasyon içerisindeki kimyasal reaksiyonlarda küçük kum taneciklerinin oluşmasına neden olmaktadır. Sedimenter kayalar gözenek yüzeylerine tutunan serbest kum tanecikleri ihtiva etmektedirler. Bu taneciklerle uyum sağlayamayan enjeksiyon sıvılarında, bu serbest kum taneciklerinin gözenek yüzeyinden kopmalarına ve gözenekler içerisinde hareket etmelerine neden olmakta ve diğer dar gözeneklerde çökelerek formasyon hasarına neden olmaktadır ve kayacın gözeneklilik ve geçirgenliğinin azalması meydana gelmektedir.

Kuyu canlandırma operasyonlarında, kullanılan sıvıların kimyası, tuzluluk, sıcaklık etkileri, pH ve gazların reaksiyonunda formasyon hasarına neden olmaktadır. Petrol üretiminin artırılmasında uzun yıllardır uygulanmakta olan su enjeksiyonu yönteminde, petrol ile birlikte üretilen ve yüzeyde ayrıştırılan formasyon suyu, yüzeyde özel olarak hazırlanmış tuzlu su veya deniz suyu kullanılmaktadır. Petrol rezervuarlarında su enjeksiyonuyla oluşan formasyon hasarı neticesinde enjeksiyon kuyularının enjektivitesi azalmaktadır. Petrol ve doğal gaz rezervuarlarının üretilebilirliğinde etkin olan önemli parametrelerden biride geçirgenliktir. Formasyon hasarı neticesinde petrol ve doğal gaz üretimine başlamadan önce, geçirgenliğin ne kadar etkilendiğinin (geçirgenlik azalması) deneysel olarak tesbit edilmesi önemli kavramlardandır. Kuyunun sondajı sırasında alınan karotlardan tapan karot numuneleri veya konsolide olmamış yapay karotlar kullanılarak formasyon hasarının tesbit edilmesi çok önemlidir. Göreli formasyon geçirgenlik testleriyle, tuzluluk, sıcaklık ve basıncın formasyon hasarına olan etkisi laboratuvarında rezervuar şartlarında çalışılabilecektir. Bugüne kadar yapılan birçok çalışma, tek fazlı akan enjeksiyon sıvıları ve filtrasyon suyunun neden olduğu formasyon hasarının kumtaşı rezervuarlarda incelenmesine yönelik olmuştur. Kritik tuz konsantrasyonu, enjeksiyon suyunda kullanılan farklı tuzların enjeksiyon sırasında geçirgenlik azalımının en fazla olduğu konsantrasyon olarak tanımlanmaktadır. Farklı tuz konsantrasyonlarında yapılan deneylerde, geçirgenlik azalımının oluşmasıyla petrol üretimi etkilenmekte ve kritik tuz konsantrasyonu, farklı tuz konsantrasyonlarında elde edilen petrol üretimi değerlerinin incelenmesinden tesbit edilmektedir.

Bu projede, Türkiye’de üretim yapılmakta olan petrol rezervlerinden birinden temin edilen petrolle, laboratuvarında formasyon hasarı, farklı formasyon suyu tuzlulukları ve farklı tuzlar kullanılarak çalışılmıştır. Ayrıca formasyon hasarının engellenmesi ve seçilen sahada su enjeksiyonuyla petrol üretiminin artırılması yönteminin uygulanması düşünüldüğünde bu yöntemin formasyonu daha da hasara uğratmaması için yöntem parametrelerinin ne olacağı tesbit edilmeye çalışılmıştır.

## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Petrol endüstrisinde, çok küçük kum taneciklerinin rezervuarda petrol üretilirken hareket etmesi nedeniyle, petrol üretiminde azalma olmaktadır. Bu taneciklerin hareketi nedeniyle rezervuarda formasyon hasarı (formation damage) meydana gelmektedir. Küçük kum tanecikleri, formasyon içerisinde jeolojik çökeltme esnasında veya sondaj ve üretim operasyonları neticesinde oluşmaktadırlar. Rezervuarın gözenekleri içerisinde, küçük kum taneciklerinin hareket etmesi, kimyasal reaksiyonlar ve her ikisinin birlikte olmasıyla meydana gelen problemlerin çözülmesi ile ilgili araştırmalar halen devam etmektedir (Porter, 1989).

Formasyon hasarına, kuyu canlandırma sıvılarının kimyası, tuzluluk, sıcaklık değişimleri, pH ve gazların ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ) reaksiyonu neden olmaktadır (Kreuger, 1986).

Ayrıca, formasyon suyu içerisinde mevcut olan küçük kum tanecikleride formasyon bozulmasına neden olmaktadır. Petrol üretiminin artırılmasında uzun yıllardır uygulanmakta olan su enjeksiyonu yönteminde petrol ile üretilen ve ayrıştırılan formasyon suyu ve yüzeyde özel olarak hazırlanmış tuzlu su veya deniz suyu kullanılmaktadır. Bu kullanılan suların içerisindeki tuz kristallerinin neden olacağı formasyon hasarında laboratuvarında çalışılmıştır.

Petrol ve doğal gaz kuyularının sondaj operasyonunda kullanılan kimyasal maddelerde (bentonit, NaOH, CMC gibi) formasyon hasarına neden olmaktadır.

Rezervuarın performansında (üretilebilirliğinde) rol oynayan önemli parametrelerden biride formasyon kayacının geçirgenliğidir. Formasyon hasarı neticesinde petrol ve doğal gaz üretimine geçmeden önce, geçirgenliğin ne kadar etkilendiğinin (geçirgenlik azalması) deneysel olarak tesbit edilmesi gerekmektedir. Kuyunun sondajı esnasında alınan karotlardan tapan karot numuneleri kullanılarak formasyon hasarının tesbit edilmesi çok önemlidir. Göreli

formasyon geçirgenlik testleriyle, tuzluluk, sıcaklık ve basıncın formasyon hasarına olan etkisi laboratuvarında rezervuar şartlarında çalışılabilmektedir.

Formasyon hasarı ile ilgili yapılan ilk deneysel çalışmalardan biri Mungan (1965) tarafından yapılmıştır. Su enjeksiyonu deneylerinde kil minerallerinin su ile karşılaşması neticesinde şişmeleri veya çözünerek askıda kalmaları neticesinde geçirgenlik azalmasına neden olduklarını belirtmiştir. Deneylerde illite veya kaolinite gibi şişemeyen killerin, askıda su içinde hareket etmeleri dolayısıyla, geçirgenliğin azalmasına neden olduğunu tesbit etmiştir. Killerin serbest kalmasına pH'daki değişimin neden olduğunu belirtmiştir.

Mehdizadeh ve diğerleri (1992), 4 ft uzunluğunda konsolide olmayan karotla yaptıkları deneylerle yüksek geçirgenlikli rezervuarlarda kuyu tamamlama sıvısının yarattığı formasyon hasarını deneysel olarak incelemişlerdir. Farklı sıvıların enjeksiyonu sırasında, model boyunca beş ayrı noktada basınç ölçümü yapmışlardır. Enjeksiyon sıvısı içerisinde farklı bentonite ve tuz konsantrasyonlarının geçirgenlik üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Ayrıca, su enjeksiyonu sırasında formasyon hasarının petrol üretimi üzerindeki etkisini de çalışmışlardır. Enjeksiyon sıvısının kompozisyonu ve miktarının gözenekli ortamın geçirgenliğini etkilediğini ve geçirgenliğin azaldığını tesbit etmişlerdir. Geçirgenlik azalmasının toplam petrol üretimini azalttığını, bunun nedeninin düşük petrol-su göreceli geçirgenlik oranı neticesinde olduğunu bulmuşlardır.

Eleri ve Ursin (1992), Berea kumtaşından alınan tapa karotları kullanarak formasyon hasarına neden olan fiziksel ve mekanik olayları çalışmışlardır. Sabit enjeksiyon debisi ve sabit basınç düşümü yöntemleriyle öteleme deneyleri yapmışlardır. Küçük kum tanecikleri (0.5-5.0 mikron) içeren enjeksiyon sıvılarıyla farklı enjeksiyon debilerinde deneyler yapmışlardır. Yüksek debili deneylerde, formasyon hasarının nedeni olan tıkanma olayı çok az olmuştur. Enjeksiyon suyu içerisinde askıda olan kum tanecikleri geçirgenliğin azalmasına neden olmuşlardır.

Dabah ve diğerleri (1992), farklı karotlarda enjekte edilen su içerisindeki farklı tuz konsantrasyonlarının göreceli geçirgenlik üzerindeki etkisini çalışmışlardır. Formasyon



litolojisinin ve enjeksiyon suyunun tuzluluğunun farklı olması nedeniyle, su-petrol görelî geçirgenlikleri düşük olmuş, kalıcı doymuşluklar artmış ve petrol üretimi azalmıştır. Çok ani su enjeksiyonunun formasyon hasarını artırdığını gözlemişlerdir. Geçirgenlik azalmasının sıcaklık ile azaldığını, bunun yanısıra basıncın formasyon hasarı üzerindeki etkisinin çok az olduğunu tesbit etmişlerdir.

Keelan ve Koepf (1977), formasyon kayacı içerisinde bulunan kilin sondaj sırasında ve su enjeksiyonunda meydana getireceği formasyon hasarının tesbit edilmesiyle ilgili olarak kumtaşı karotlarda farklı kil konsantrasyonlarında KCl ve HCl kullanarak deneyler yapmışlardır. Deneylerde formasyon hasarının farklı KCl ve HCl konsantrasyonlarında azalma gösterdiğini tesbit etmişlerdir.

Zhang ve diğerleri (1993), petrolü su enjeksiyonunun neden olduğu formasyon hasarını deneysel olarak incelemişlerdir. Deneylerde kumtaşı karot kullanmışlar ve su içerisinde petrol miktarını 40-500 ppm ve askıda kum taneciği miktarını 1-15 ppm arasında tutmuşlardır. Deneyler neticesinde, petrol damlacıkları ve askıda kum taneciklerinin geçirgenliği azalttığını gözlemişlerdir.

Tang (1982), petrol ve kum tanecikleri ihtiva eden filtre edilmiş ve edilmemiş su kullanarak öteleme deneyleri yapmıştır. 600 ppm petrol ve 14.2 ppm kum taneciği ihtiva eden üretim suyu ile yaptığı deneylerde geçirgenliğin önemli ölçüde azaldığını tesbit etmiştir.

Yıldız ve Morrow (1996), su enjeksiyonunda, enjeksiyon suyu tuz konsantrasyonunun etkisini deneysel olarak çalışmışlardır. Berea kumtaşından alınan karotlarla yaptıkları deneylerle, petrol üretiminin arttığını gözlemişler, fakat formasyon hasarı ile ilgili bir değerlendirme yapmamışlardır.

Arcia ve Civan (1992), kumtaşı karot kullanarak % 2 NaCl çözeltisi içinde quartz kum tanecikleri kullanarak su enjeksiyonu deneyleri yapmışlardır. Deneylerde üretilen sıvı içerisindeki kum taneciklerinin konsantrasyonunu ve pH'ını ölçmüşlerdir. Karotların

geçirgenliğinde azalma gözlemlenmiştir. Düşük pH değerlerinin askıda kil miktarını azalttığını, yüksek pH değerlerinin geçirgenliği azalttığını tesbit etmişlerdir.

Souto ve diğerleri (1993), su enjeksiyonu veya kimyasal enjeksiyon sırasında enjeksiyon suyu içerisindeki farklı katkı maddelerinin kil migrasyonuna olan etkisini çalışmışlardır. Karot akış deneylerinde, killi kumtaşı karotlar kullanarak, üretilen suyun pH'ı, tuzluluk ve Cl iyonlarının konsantrasyonları ölçülmüştür. Deneyler neticesinde, NaCl ve KCl ile hazırlanan enjeksiyon sularının geçirgenliğin azalmasına neden olduklarını tesbit etmişlerdir.

Khilar ve Fogler (1983), Berea kumtaşının suya olan duyarlılık mekanizmasını deneysel olarak çalışmışlardır. Deneylerde, tuz konsantrasyonunun, kritik tuz konsantrasyonu altına düşmesi durumunda, kil taneciklerinin serbest kaldıklarını gözlemlenmiştir. Serbest bırakılan bu kil taneciklerinin enjeksiyon suyu ile karot içerisinde hareket ederek daha küçük gözenekleri tıkamakta ve geçirgenliğin azalmasına neden olmaktadır.

Geçirgenlik azalımı yüksek pH'lı sıvıların formasyon ile teması sonucu meydana gelmektedir (Blauer ve Holcomb, 1975). İslatımlılık değişimi, alkali sıvı (NaOH, NaSiO<sub>4</sub>) enjeksiyonu veya yüzey geriliminin azaltılması veya kompleks hidrolik çatlatma sıvılarının kullanılması pH'a bağlı formasyon hasarının meydana gelmesine neden olmaktadır. PH değişimi 3 ile 7 arasında olan KCl sıvıları kullanıldığında formasyon hasarı azalmaktadır. Formasyon hasarı pH değeri 9 veya daha yüksek değerlerde olursa meydana gelmektedir. Bu hasar, % 30 metil alken ve % 70 KCl sıvısının kullanılmasıyla azaltılmaktadır (Coulter ve Homer, 1975). Jones (1964), taze su içerisine kalsiyum ve magnezyum iyonları eklenmesiyle, enjeksiyon sırasında geçirgenlik azalımının engellendiğini bulmuştur. CaCl<sub>2</sub> ve KCl formasyon hasarının oluşmasını engelleyen maddelerdir. Geçirgenliğin azalması enjekte edilen sıvılar ile rezerv kayacı arasındaki etkileşimden meydana gelmekte ve küçük kum taneciklerinin hareket etmesiyle oluşmaktadır. Sıcaklık, enjeksiyon sıvısının kompozisyonu, enjeksiyon debisi, pH ve kayaç mineralojisi kayaç/sıvı etkileşimini etkileyen önemli parametrelerdir.

Bazı kil mineralleri, rezervde bulunan veya enjekte edilen suyun kompozisyonu ve iyonik dayanıklılığına karşı duyarlıdır. Taze su ile temas eden smektit şişer veya kaolinite çözünür. Gözenekli ortamda kilin şişmesiyle geçirgenlik azalımı meydana gelir (Hower, 1974). Taze su tuzluluğu duyarlılığın tek nedeni olamaz. Örneğin, enjekte edilen suyun tuzluluğu arttıkça, serbest bırakılan küçük kum taneciklerinin miktarlarında artmaktadır.

Su enjeksiyonu kuyularında enjektivitinin azalmasının belirlenmesi Pang ve Sharma (1994) tarafından geliştirilen matematik model ile çalışılmıştır. Modeli literatürdeki yapılmış olan karot testleriyle denemişler ve enjektivite azalımının karotun yüzeyinde kek oluşumundan meydana geldiğini tesbit etmişlerdir.

## BÖLÜM 3

### FORMASYON HASARI

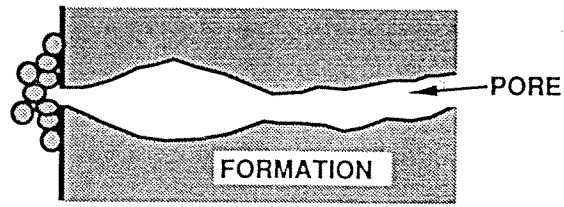
Formasyon hasarı rezervuar özelliklerine bağlı bir oluşumdur. Formasyon hasarı, sondaj, kuyu tamamlama ve kuyu canlandırma işlemlerinden veya normal operasyonlar sırasında oluşan ve neticesinde kuyulardan petrol ve gaz üretimi verimliliğinde kalıcı azalmaya veya su veya gaz enjeksiyonu verimliliğinde düşüğe sebep olan tüm olaylar olarak tanımlanabilir. Formasyona bir başka maddenin girmesi yoluyla oluşan hasarlar aşağıdaki durumlarla meydana gelmektedir ve Şekil 1'de farklı formasyon hasarına neden olan faktörler şematik olarak gösterilmiştir:

- a. Formasyona uyum sağlamayan yabancı akışkanların basılmasıyla,
- b. Doğal veya suni katı maddelerle,
- c. Birbirlerine karışmayan dışarıdan fazların oluşmasıyla,
- d. Fiziksel mekanik hasarlarla.

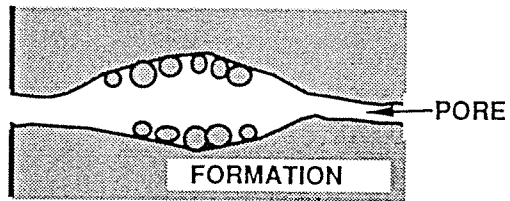
#### 3.1. Yatay ve Dikey Kuyularda Formasyon Hasarları

Yatay kuyularda oluşan formasyon hasarlarının mekanizmaları literatürde detaylı olarak verilmiştir (Bennion ve diğerleri, 1991). Bu kuyularda hasarın oluşmasında birçok neden bulunmaktadır:

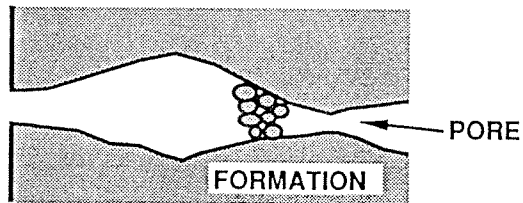
1. Sondaj esnasında uzun süreli bir operasyon boyunca sondaj sıvısındaki katı ve sıvı maddelerin formasyona girmeleriyle olmaktadır.
2. Yatay kuyuların çoğunluğu açık kuyu veya delikli (yarıklı) borularla tamamlanmaktadır. Bu nedenle, dikey kuyularda olduğu gibi fazla derine girmemiş bu hasarları perforasyonla işleme tabi tutmak mümkündür, fakat petrol veya gaz akışını engelleyen geçirgen olmayan veya çok az geçirgen olan ortamlar ortadan kaldırılamamaktadır.



CAKE FORMATION BY LARGE PARTICLES



SURFACE DEPOSITS OF ADHERING PARTICLES



PLUGGING TYPE DEPOSITS

Şekil 1. Rezervuarda oluşan formasyon hasarları.

3. Yatay kuyularda basınç düşürülmesiyle yapılan üretimler hasar görmüş olan kuyudaki toplam akışa açık alanın çok sınırlı bir kısmından olmakta ve ancak buraları temizleyebilmektedir.
4. Delikli (yarıklı) borularla tamamlanmış kuyularda yapılan kuyu canlandırma işlemlerinde başarı oranı azdır. Yatay bir kuyudaki detaylı kuyu canlandırma operasyonu genelde çok zordur ve dikey kuyuya göre çok pahalı bir işlemdir. Bu nedenlerden dolayı, maliyet ve/veya zaman kısıtlamalarıyla kuyu canlandırma operasyonları çok başarılı olmamaktadır.

### 3.2. Formasyon Hasarına Sebep Olan İşlemler

Formasyonun bir başka akışkan veya katılarla temas edebileceği işlemlerin çoğunluğu geçirgenlik hasarının oluşmasında birer potansiyel kaynaktır. Bu operasyonlar:

- a. Sondaj
- b. Kuyu tamamlama operasyonları
- c. Kuyu canlandırma operasyonları
- d. Kuyu tamamlama/akışı durdurma işlemleri
- e. Üretimi yükseltici ve atık madde basımı işlemlerinde enjeksiyon operasyonları

Bu işlemler sırasında oluşan bilinen formasyon hasarı mekanizmaları şunlardır:

- a. Sondajda oluşan formasyon hasarı mekanizmaları:

Yatay kuyu operasyonlarında en fazla hasara yol açan potansiyel işlem sondaj operasyonudur. Bu hasarları özetleyecek olursak;

Akışkan-akışkan uyumsuzluğu: Çamur kekinin petrol veya formasyon suyu ile reaksiyona girmesi, çökelti, erimeyen tortuların oluşması, asfaltik ve kalıcı emülsiyonların oluşmasından formasyon hasarı meydana gelmektedir.

Kayaç-akışkan uyumsuzluğu: Kaolinit killeriyle diflokulasyon veya smektit killeriyle şişmenin oluşmasıyla kuyu cidarlarında hasar meydana gelmektedir.

Katıların formasyona girmesi: Sondaj akışkanlarından olan ağırlık kazandıran maddelerin, sıvı kaybı maddelerinin, suni bağlayıcı maddelerin ve matkapla oluşan formasyona ait katıların formasyona zorlamayla girmeleridir. 20 micronun altındaki bu maddeler yüzey ayırıcılarında alınmamaktadır ve formasyona girmeleriyle hasar oluşmaktadır.

Faz kapanması/bloklaşma : Petrol veya su bazlı akışkanlardan formasyona girişle yüksek doymuşluklu bölgelerin yatay kuyuların civarında oluşmasıdır. Literatürde (Bennion ve diğerleri, 1993, Cimolai ve diğerleri, 1993) detaylı olarak açıklanmıştır. Basınç düşümü yeterli olmayınca bu akışkanlar formasyondan geri alınamamakta ve olumsuz kılcal basınç etkileri neticesinde kuyularda çok önemli sorunlar yaşanmaktadır.

Kimyasal tutunma/ıslatımlılık değişimi: Çamurun performansını artırması için sondaj akışkanlarında çeşitli kimyasal katkı maddeleri kullanılmaktadır. Birçok durumda, bu maddeler formasyon akışkanlarıyla veya kayaçla uyumsuzluk sergilemekte ve neticesinde tutunmalar oluşmaktadır. Neticesinde formasyon geçirgenliği azalmaktadır, polimer tutunmasıyla veya ıslatımlılık değişimi olmaktadır, yüzey aktifleyici madde tutunmasıyla (suya göre olan geçirgenliği artırmakta ve petrole göre olan geçirgenliği azaltmaktadır) hasar meydana gelmektedir.

Küçük kum taneciklerinin göçü: Dengesiz sondaj şartlarında ( $P_{rez} > P_{wb}$ ) formasyona ait parçacıklar hareketlenmekte ve akışla bazı yerleri tıkamaktadır.

Biyolojik aktivite: Oksijenli ve oksijensiz ortamlardaki bakteriyel kimyasallar, sondaj esnasında formasyona basılabilmektedir. Eğer bu kimyasallar doğru seçilmezse veya yetersiz konsantrasyonlarda sağlanırsa, bakteriyel artış, yüksek moleküler ağırlıklı polimer üreterek tutunmasıyla, korozyonla ve  $H_2S$  üretimiyle formasyon geçirgenliğinde hasara yol açabilmektedir.

b. Kuyu tamamlama ve canlandırmada formasyon hasar mekanizmaları: Sondaj akışkanlarında olduğu gibi akışkan-akışkan, kayaç-akışkan uyumsuzluğu, katıların girişi, faz kapanması/bloklaşma, kimyasal tutunma, vb, kuyu tamamlama akışkanlarında da ortak mekanizmalardır. Asit çözeltileri, emülsiyon, tortulaşma, erimeyen katıların formasyondan kopması gibi problemleri oluşturmaktadır. Kullanmadan önce ön elemeden geçirilmesi şarttır. Oksidasyon malzemeleri, çözücüler, vb üretimde azalmaya sebep olmamaları için dikkatlice değerlendirilmelidir.

c. Kuyu tamamlama/akışı durdurma akışkanlarında formasyon hasarı mekanizmaları: Yukarıda bahsedilen önlemlerin benzerleri yapılmalıdır. Özellikle başarılı bir kuyu tamamlama oluşmuş ise, filtre keki ve önleyici akışkan kaybı maddeleri formasyondan temizlenmelidir. Özellikle ( $P_{rez} > P_{wb}$ ) dengesiz basınç durumlarında problemler oluşmaktadır.

d. Enjeksiyonda formasyon hasar mekanizmaları: Gaz depolama sahalarında gaz basımı ve petrol üretimini yükseltmede, su ve kimyasal basımı, enjeksiyon işlemleridir. Potansiyel mekanizmalar şunlardır:

Su basımında:

1. akışkan-akışkan uyumsuzluğu,
2. kayaç-akışkan uyumsuzluğu,
3. basılan akışkanların yetersiz filtrasyonuyla katıların girişi,
4. yüksek enjeksiyon debileriyle küçük katıların hareketi,
5. hidrokarbon kirleticilerin rezervuara basılması,
6. aktif bakteriyel kimyasalların basılmasıdır.

Gaz basımında:

1. gaz-akışkan uyumsuzluğu (asfaltitlerin kimyasal reaksiyonla oluşması),
2. kompresörlerden otomatik olarak yağ taşınımı ve kuyu civarında kapanmasıdır.

Su enjeksiyonunda, kuyuların enjektivitesinin azalması formasyon hasarı neticesinde meydana gelmektedir. Formasyon hasarı, sıvı ve formasyon arasındaki kimyasal ve



mekanik etkileşim neticesinde oluşmaktadır. Akan sıvının pH'ındaki değişim, formasyon içerisindeki kimyasal aktivitenin önemli göstergelerinden biridir. Karbonatların çözülmesi veya mineraller ve sıvı arasındaki iyon değişimi pH değişimine neden olmaktadır. Yüksek pH (alkali ortam), gözenekli ortamda tanecik çökmesi neticesindeki formasyon hasarını göstermektedir ve sonuç olarak taneciklerin gözeneklerde birikerek tıkanmalarına neden olmaktadır. Geçirgenlik azalımı (permeability reduction) formasyon hasarının ölçüsü olarak kullanılmaktadır.

## BÖLÜM 4

### ARAŞTIRMADA KULLANILAN DENEY EKİPMANI VE PARÇALARI

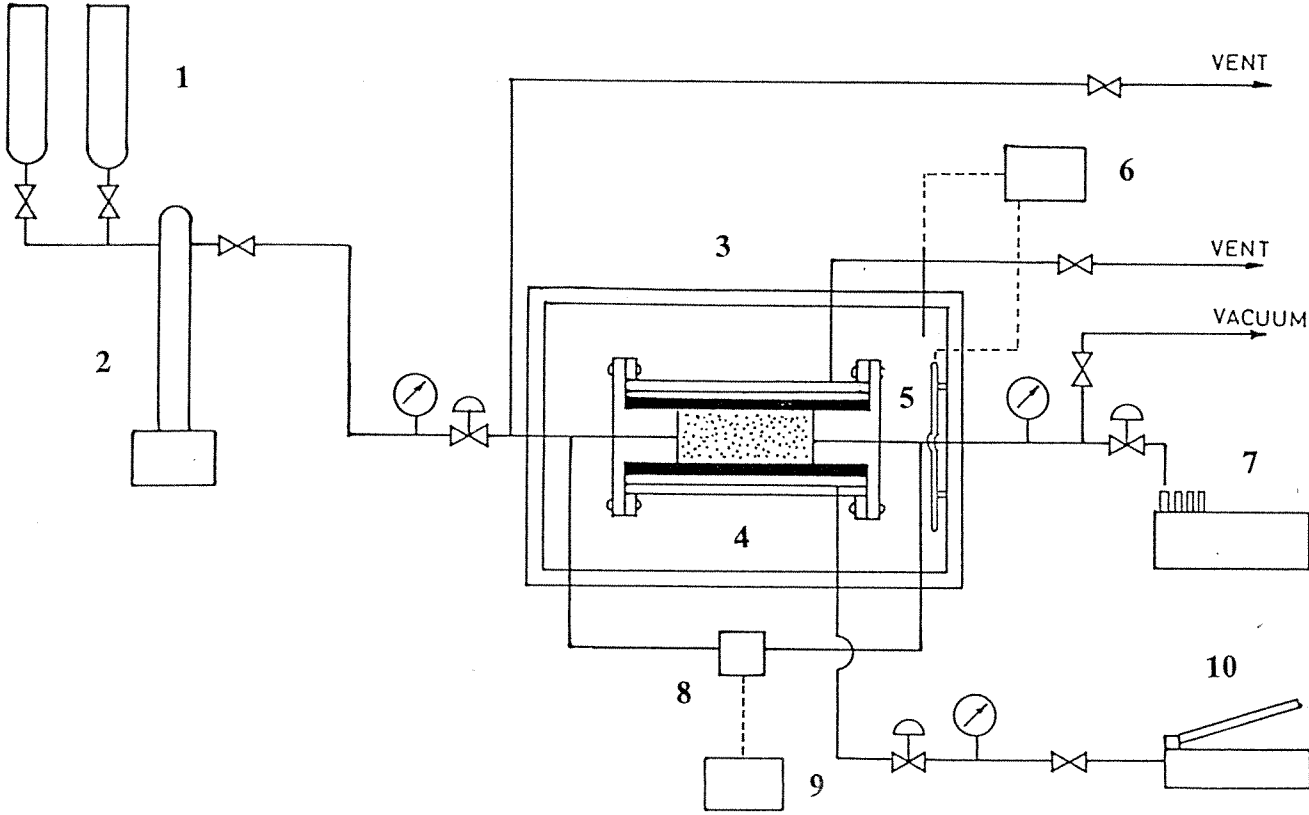
Literatür çalışmasını takiben laboratuvarında mevcut cihazların ve kullanılabilir diğer ekipmanların bakım ve onarımları yapılmıştır. Deneylede kullanılacak olan kontrol panosunun tasarımı yapıldıktan sonra gerekli malzemeler satın alınmıştır. Laboratuvarında Şekil 2’de verilen deney düzeneğinin kurulması tamamlanmış ve deneyler yapılmıştır. Deneyleler için iki ayrı model kullanılması düşünülmüştür. Şekil 3’de gösterilen 1-boyutlu model konsolide olmamış karot deneylelerinde, Şekil 4’de gösterilen karot tutucu ise konsolide karot deneylelerinde kullanılmıştır. Bütün bu kullanılan modeller fırın (hava banyosu) içersine yerleştirilerek istenilen rezervuar sıcaklığında deney yapılabilmektedir. Ayrıca bütün ölçüm yapılan ekipmanlar Şekil 5’de gösterilen kontrol panosu üzerine monte edilmişlerdir.

Deny düzeneği, ISCO pompası, 1-boyutlu model (konsolide olmamış karot ve konsolide karot için ayrı tasarlanmış), basınç göstergeleri, fark basınç ölçer ve okuyucu, termokupl, sıcaklık ölçer ve kontrol cihazı, hava banyosundan meydana gelmektedir. Öteleme deneylelerinde kullanılan deney düzeneği üç ana kısımdan oluşmaktadır:

1. 1-boyutlu model
2. Sıvı enjeksiyon sistemi
3. Veri kaydetme üniteleri

#### 1-boyutlu model

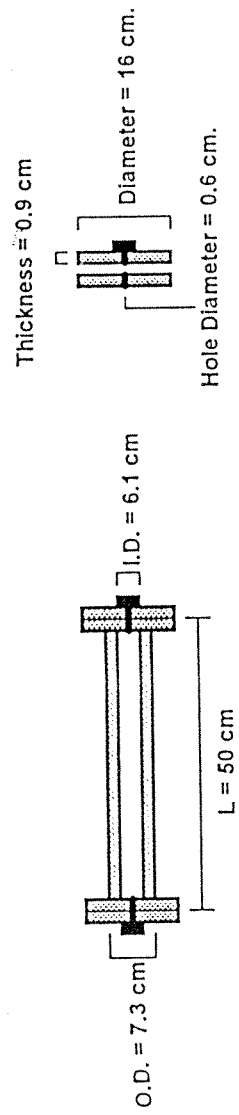
Şekil 3’de gösterilen 1-boyutlu model, 6.1 cm çapında, 50 cm uzunluğunda çelik borudan yapılmıştır. 1000 kPa çalışma basıncında test edildikten sonra deneylelerde kullanılmıştır. 1-boyutlu modelin her iki ucunda flanş kapaklar mevcut olup, bu kapaklar üzerinde giriş ve çıkış bağlantıları için bağlantı elemanları kullanılmıştır. 1- boyutlu model hava banyosu



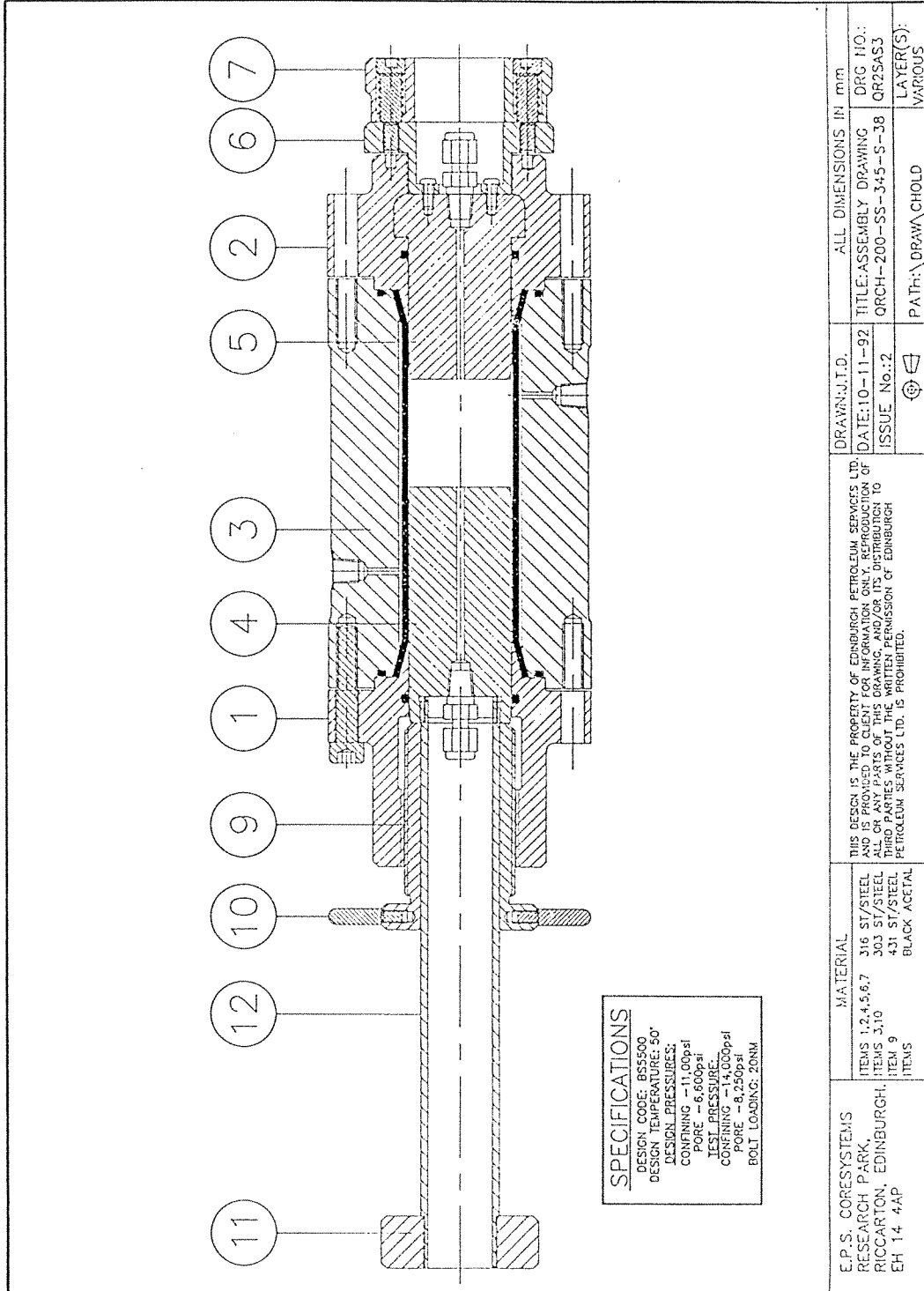
### DENEY DÜZENEĞİNDE KULLANILAN EKİPMANLAR

1. Dereceli kaplar
2. ISCO Pompası
3. Hava banyosu
4. Karot tutucu
5. Isıtıcı
6. Sıcaklık kontrol ve ölçüm cihazı
7. Numune toplayıcı
8.  $\Delta P$  transdüser
9.  $\Delta P$  dijital okuyucu
10. Hidrolik el pompası

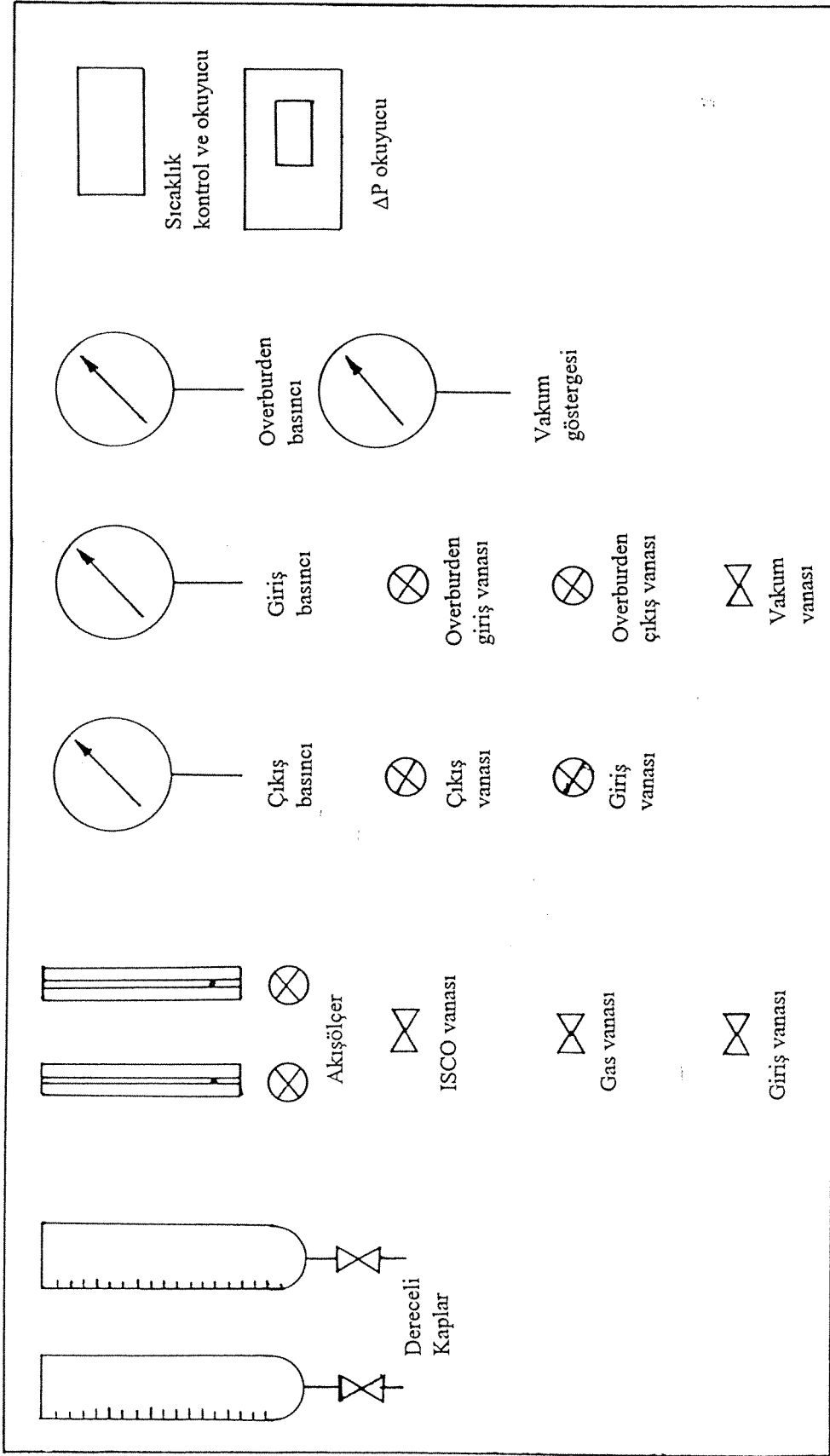
Şekil 2. Deney düzeneği



Şekil 3. 1-boyutlu model.



Şekil 4. Karot tutucu.



Şekil 5. Kontrol panosu.

içerisine yerleştirilmekte ve sıcaklık kontrol cihazı ile hava banyosunda ortam sıcaklığı rezervuar sıcaklığına yakın olarak temin edilmektedir.

#### Sıvı enjeksiyon sistemi

Sıvı enjeksiyon sistemi, sabit debili öteleme ISCO pompası, iki tane dereceli cam kap ve sıvıları basabilmek için üç ayrı bağlantı hattı ihtiva etmektedir. Alkali çözeltiler, farklı konsantrasyonlarda hazırlanmış tuzlu sular model içerisine ISCO pompa kullanılarak istenen debide basılmışlardır.

#### Veri kaydetme sistemleri

İki ayrı basınç göstergesi modelin giriş ve çıkışında enjeksiyon ve üretim basınçlarının ölçülmesinde kullanılmıştır. Model boyunca oluşan fark basınç ise fark basınç sensörü ve dijital okuyucu kullanılarak ölçülmüştür.

## BÖLÜM 5

### DENEYLERDE İZLENEN YÖNTEM

Öteleme deneylerinde Garzan petrolü kullanılmıştır. Bu petrolün özellikleri Tablo 1’de ve viskozitesinin sıcaklıkla değişimi Şekil 6’da gösterilmiştir. Garzan petrolünün farklı sıcaklıklardaki viskozitesi Haake viskometre kullanılarak ölçülmüştür.

Deneylerde, -14 +35 tanecik boyutunda olan kırılmış kireçtaşı kullanılmıştır. Bu kullanılan kireçtaşı ile % 38 gözeneklilik ve 2-13 darcy geçirgenlik modelde sağlanmıştır. 1-boyutlu modelde yaratılan gözenekli ortamın özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

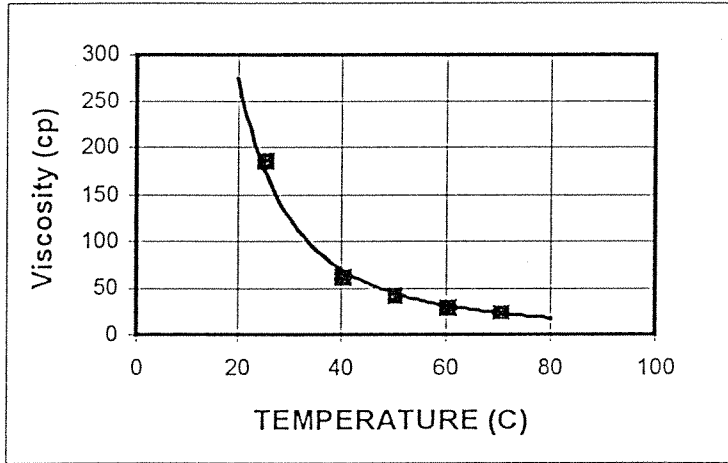
Kırılmış kireçtaşı, su ve petrol ile hazırlanan karışım 1-boyutlu modelin içerisine iyice sıkıştırılarak doldurulduktan sonra, modelin flanş kapağı kapatılıp, model hava banyosu içerisine yerleştirilerek gerekli giriş ve çıkış bağlantıları yapılmıştır. Deneylere başlamadan önce hava banyosu rezervuar sıcaklığına kadar ısıtılmıştır. Daha sonra hazırlanan enjeksiyon sıvıları modele ISCO pompa kullanılarak istenen debide basılmıştır. Deneyler sırasında üretilen sıvılar veya petrol dereceli üretim kaplarında toplanarak toplam petrol ve su üretimleri ölçülmüştür. Ayrıca enjeksiyon ve üretim basınçları, model boyunca fark basınç ölçülmüş ve kaydedilmiştir.

Gözeneklilik, geçirgenlik gibi formasyon kayacı fiziksel özellikleri, tuzluluk, pH ve kimyasal kompozisyon gibi hazırlanan tuzlu suyun özellikleri ve viskozite, yoğunluk gibi petrol özellikleri deneylerden önce ve sonra ölçülmüştür.



Tablo 1. Garzan petrolünün özellikleri

Petrol gravitesi, °API	26
Petrol yoğunluğu, gr/cc	0.8984



Şekil 6. Garzan petrolünün viskozitesinin sıcaklıkla değişimi.

## BÖLÜM 6

### VERİLERİN ANALİZİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Projede, toplam 34 adet deney yapılmıştır. Deneylerde ölçülen ve hesaplanan veriler Ek-A 'da verilmiştir. Bu deneylerin tümünün verileri değerlendirilmiştir. NaOH ve NaSiO<sub>4</sub> deneylerine başlanmadan önce kullanılan Garzan petrolü ile alkali sıvılar arasındaki yüzey gerilim ölçümleri yapılmıştır. Proje daha sonra üç aşamada yapılmıştır. 1) Alkali sıvılarla (NaOH ve NaSiO<sub>4</sub>) öteleme deneyleri , 2) Tuzlu su kullanılarak konsolide karot ve konsolide olmayan karotlarda öteleme deneyleri ve 3) Farklı tuz konsantrasyonlarında (NaCl, CaCl<sub>2</sub> ve KCl) öteleme deneyleri yapılmıştır.

#### 6.1. YÜZEY GERİLİM ÖLÇÜMLERİ

Yüzey gerilim ölçümlerinde, farklı tuzluluktaki su ile hazırlanan NaOH ve NaSiO<sub>4</sub> sıvılarla Garzan petrolü arasındaki yüzey gerilimleri ölçülmüştür. Garzan petrolü/alkali sıvı kombinasyonu ve alkali sıvıların tuzluluk değerleri ve minimum yüzey gerilim değerleri Tablo 3'de verilmiştir.

Şekil 7'de Garzan petrolü/NaOH sıvıları arasındaki yüzey gerilim ölçümleri verilmiştir. Minimum yüzey gerilim değeri, saf su ile hazırlanmış alkali sıvıda 0.4 wt % NaOH konsantrasyonunda, 20000 ppm lik tuzlu ile hazırlanmış alkali sıvıda 0.4 wt % NaOH konsantrasyonunda ve 40000 ppm lik tuzlu su ile hazırlanmış alkali sıvıda 0.6 wt % NaOH konsantrasyonunda elde edilmiştir. Garzan petrolü için, tuzluluğun artmasıyla minimum yüzey gerilimlerinde azalma gözlenmiştir. NaOH konsantrasyonunda tuzluluğun artmasıyla artış olmuştur.

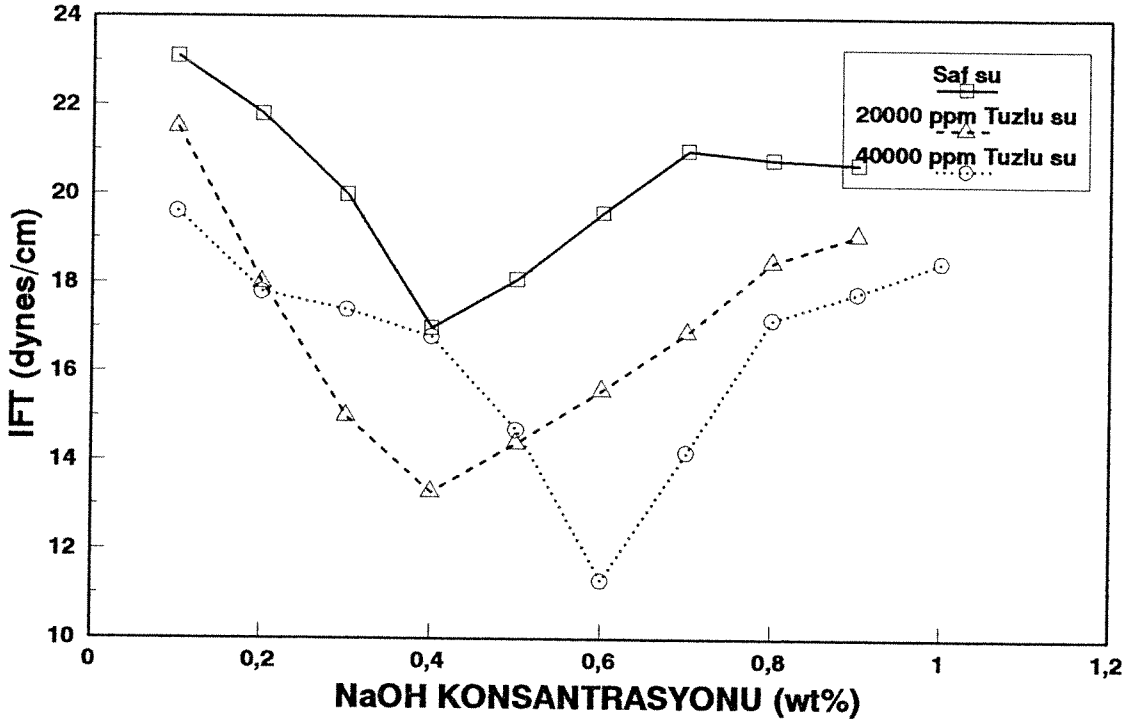
Şekil 8'de Garzan petrolü/NaSiO<sub>4</sub> sıvıları arasındaki yüzey gerilim ölçümleri verilmiştir. Minimum yüzey gerilim değeri, saf su ile hazırlanmış alkali sıvıda 0.5 wt % NaSiO<sub>4</sub> konsantrasyonunda, 20000 ppm lik tuzlu su ile hazırlanmış alkali sıvıda 1.0 wt % NaSiO<sub>4</sub> konsantrasyonunda, 40000 ppm lik tuzlu su ile hazırlanmış alkali sıvıda 5.0 wt % NaSiO<sub>4</sub>

Tablo 2. 1-boyutlu modelde yaratılan gözenekli ortamın özellikleri.

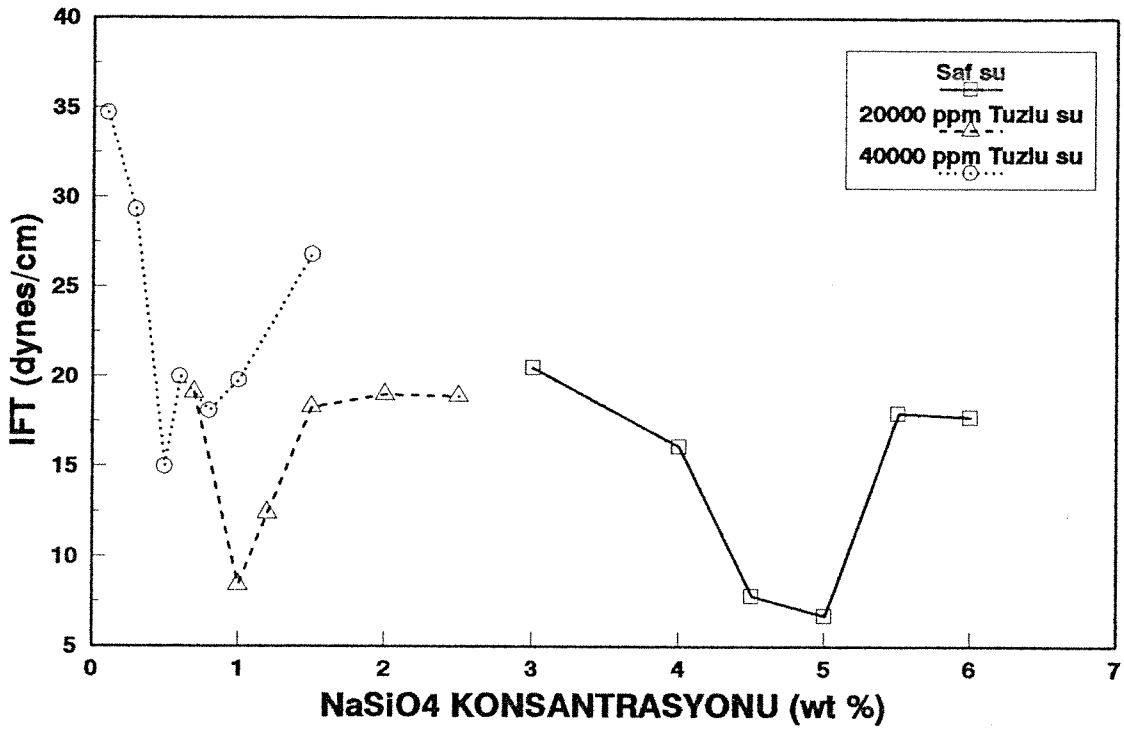
Matrix	Kireçtaşı
Gözeneklilik, %	38.0
Geçirgenlik, darcy	8
Gözenek hacmi, cc	555
Kireçtaşı yoğunluğu, gr/cc	2.65
Kireçtaşı ağırlığı, gr	2365

Tablo 3. Minimum yüzey gerilim değerleri.

Petrol-Alkali Kombinasyonu	Tuzluluk (ppm)	Minimum Yüzey Gerilimi (dynes/cm)
Garzan-NaOH	Saf su	17.0
Garzan-NaOH	20000	13.3
Garzan-NaOH	40000	11.3
Garzan-NaSiO <sub>4</sub>	Saf su	6.7
Garzan-NaSiO <sub>4</sub>	20000	8.4
Garzan-NaSiO <sub>4</sub>	40000	15.0



Şekil 7. Garzan petrolü-NaOH arasındaki yüzey gerilim değişimi.



Şekil 8. Garzan petrolü-NaSiO<sub>4</sub> arasındaki yüzey gerilim değişimi.

konsantrasyonunda elde edilmiştir. Garzan petrolü için tuzluluğun artmasıyla minimum yüzey gerilimlerinde azalma gözlenmiştir. Minimum yüzey geriliminin elde edildiği  $\text{NaSiO}_4$  konsantrasyonunda tuzluluğun artmasıyla artış gözlenmiştir. Tablo 4’de Garzan petrolü ile farklı alkali sıvılar arasındaki minimum yüzey gerilimini veren alkali sıvıların konsantrasyonları verilmiştir.

## 6.2. ALKALİ ÖTELEME DENEYLERİ

$\text{NaOH}$  ve  $\text{NaSiO}_4$  alkalilerin Garzan petrolünün üretimi üzerindeki etkilerini ve enjeksiyon sırasında oluşan formasyon hasarının tesbit edilebilmesi için 8 adet deney yapılmıştır. Yapılan deneylerin deney şartları Tablo 5’de verilmiştir. Garzan petrolünün farklı  $\text{NaOH}$  konsantrasyonlarında hazırlanan enjeksiyon suyu ile öteleme deneylerinde elde edilen petrol üretimleri Şekil 9’da gösterilmiştir.  $\text{NaOH}$ ’in petrol üretimi üzerindeki etkisi incelendiğinde, fazla miktarda  $\text{NaOH}$ ’in petrol üretimini artırdığı gözlenmiştir. Bu deneylerde, üretim ucundan üretilen suyun pH ve OH konsantrasyonu ölçülmüştür. Şekil 10 ve 11’de üretilen suyun pH’ının ve üretilen sudaki OH konsantrasyonunun (boyutsuz olarak,  $C/C_0$ ) enjekte edilen gözenek hacmine göre değişimleri verilmiştir. Üretilen suyun pH’ındaki değişim, formasyon içerisinde oluşan kimyasal aktivitenin göstergesidir. Yüksek pH (alkali ortam) gözenekli ortamda askıda taneciklerin çökmesiyle, formasyon hasarına neden olmaktadır.  $\text{NaOH}$  kullanılan deneylerde 0.5 G.H. kadar enjeksiyon suyu enjekte edildikten sonra hızlı bir pH artışı olmuştur. Bu da konsolide olmamış karotun hasara uğradığını göstermektedir. Petrol üretim grafiği incelendiğinde, 0.5 G.H. enjeksiyondan sonra petrol üretiminin fazla artmadığı gözlenmiştir. OH konsantrasyon grafiği incelendiğinde, OH kristallerinin gözeneklerde çökeldiği ve gözenekleri tıkadığı gözlenmiştir. Üretim ucunda ölçülen OH konsantrasyonunda yüksek tuzluluğu olan enjeksiyon suyu ile yapılan deneylerde azalma gözlenmiştir, bu da çökelmenin olduğunu göstermektedir.

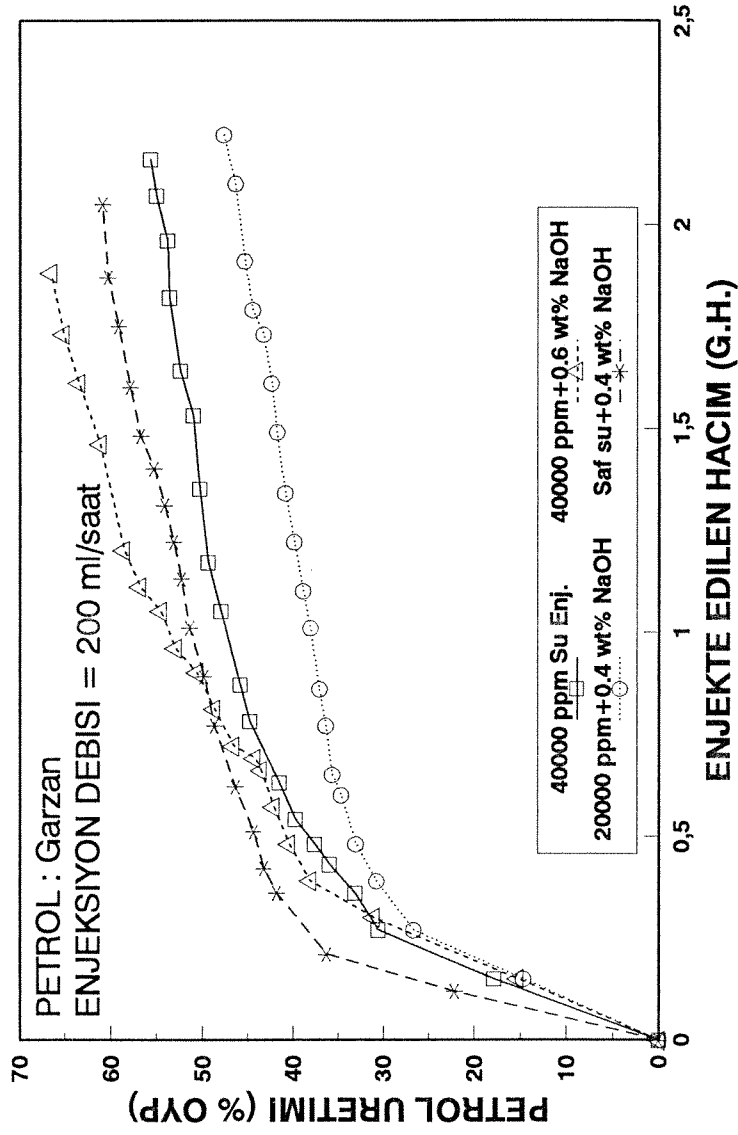
Garzan petrolünün farklı  $\text{NaSiO}_4$  konsantrasyonlarında hazırlanan enjeksiyon suyu ile öteleme deneylerinde elde edilen petrol üretimleri Şekil 12’de gösterilmiştir. Şekil 13 ve 14’de üretilen suyun pH’ının ve üretilen sudaki OH konsantrasyonunun enjekte edilen gözenek hacmine göre değişimleri verilmiştir. Yüksek pH değişimi saf su ile hazırlanan 5.0 wt %

Tablo 4. Optimum alkali sıvı konsantrasyonları.

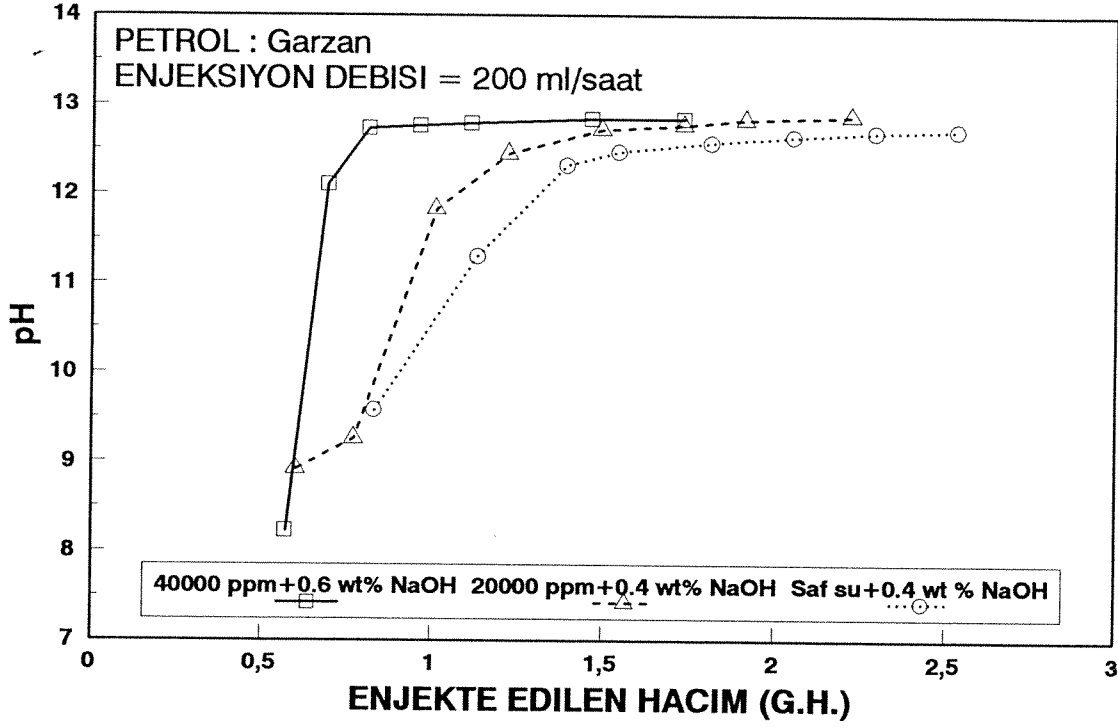
Petrol-Alkali Kombinasyonu	Tuzluluk (ppm)	Optimum Alkali Konsantrasyonu (wt%)
Garzan-NaOH	Saf su	0.4
Garzan-NaOH	20000	0.4
Garzan-NaOH	40000	0.6
Garzan-NaSiO <sub>4</sub>	Saf su	5.0
Garzan-NaSiO <sub>4</sub>	20000	1.0
Garzan-NaSiO <sub>4</sub>	40000	0.5

Tablo 5. Alkali öteleme deney şartları.

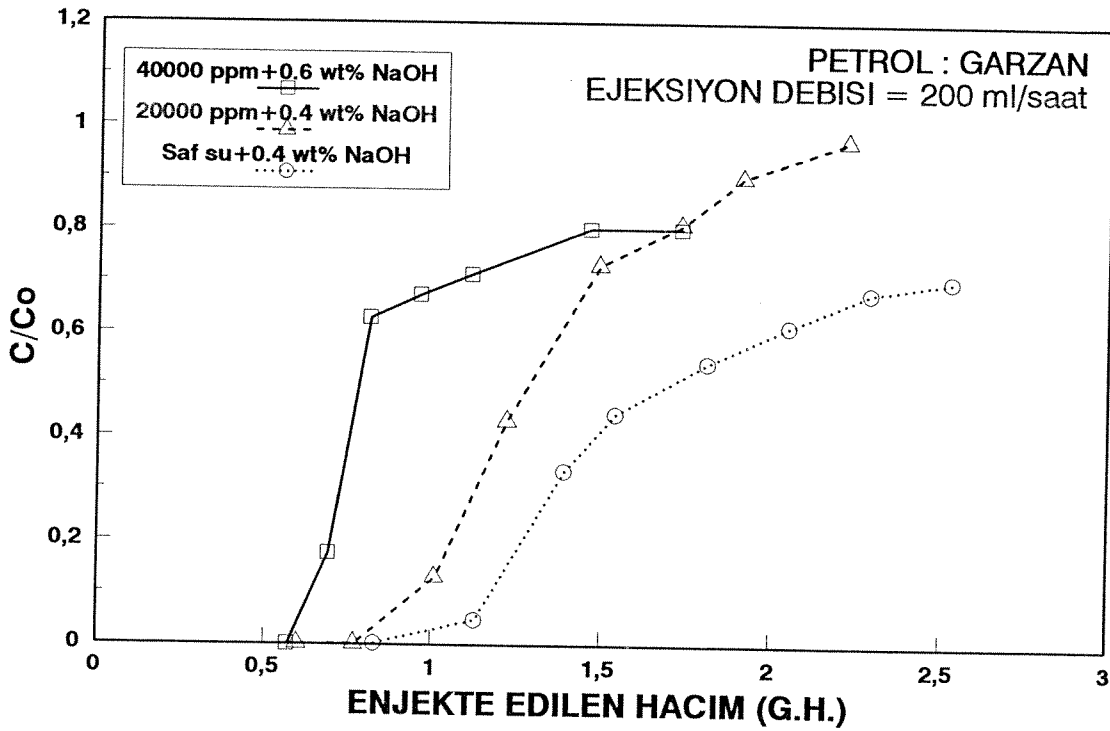
DENEY NO	Enjeksiyon Suyu Tuzluluğu (ppm)	Enjeksiyon Debisi (ml/saat)	Alkali	Alkali Konsantrasyonu (wt %)
WF1UC	40000	200	-	-
WF2UC	40000	200	NaOH	0.6
WF3UC	20000	200	NaOH	0.4
WF4UC	Saf su	200	NaOH	0.4
WF5UC	40000	200	NaSiO <sub>4</sub>	0.5
WF6UC	20000	200	NaSiO <sub>4</sub>	1.0
WF7UC	Saf su	200	NaSiO <sub>4</sub>	5.0
WF8UC	20000	200	NaSiO <sub>4</sub>	1.0



Şekil 9. Petrol üretiminin enjekte edilen hacimle değişimi (NaOH ötelemesi).

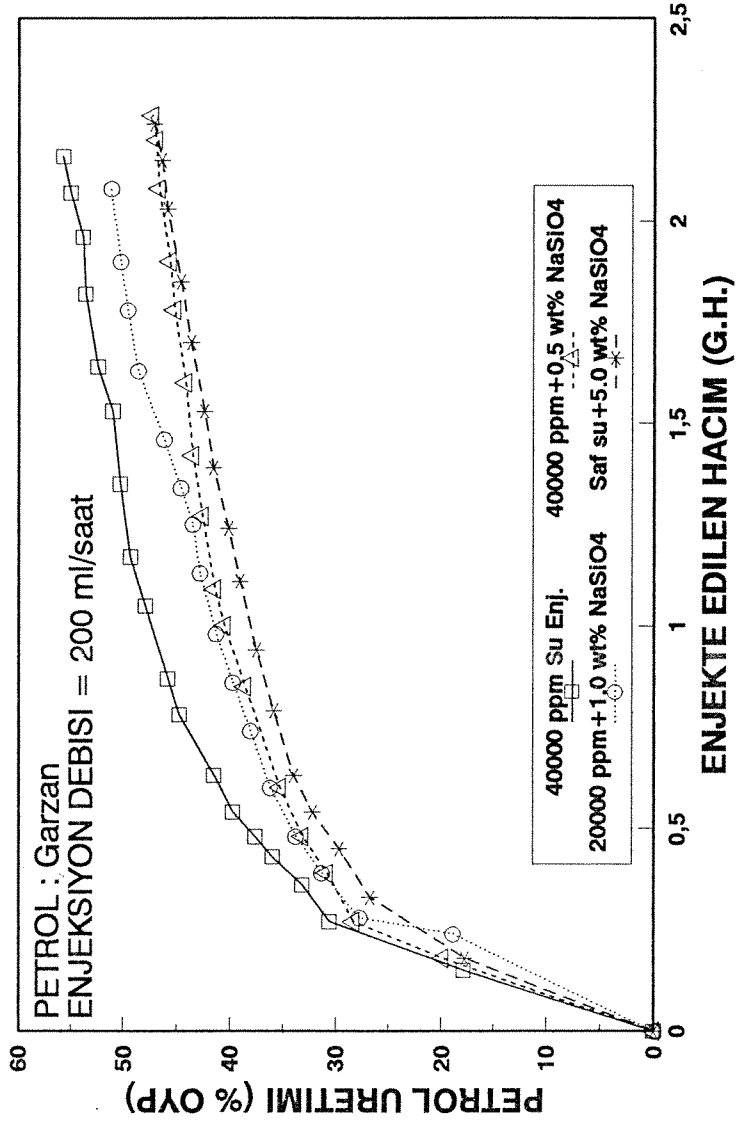


Şekil 10. Üretilen suyun pH'nın enjekte edilen hacimle değişimi (NaOH ötelemesi).

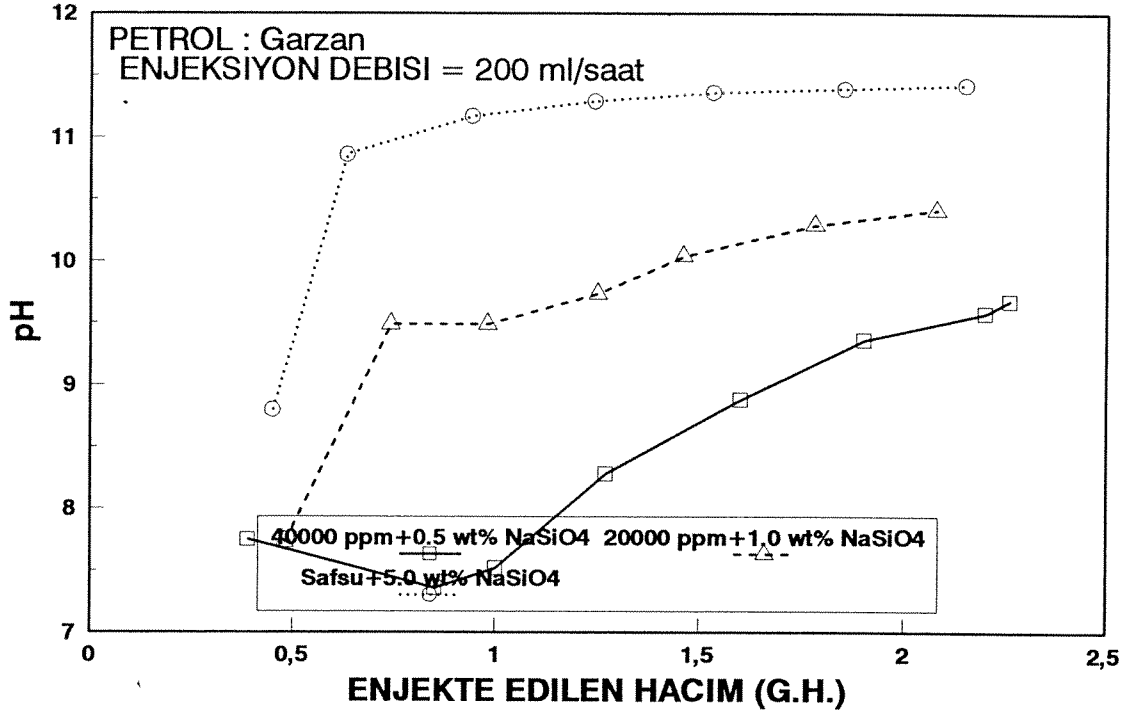


Şekil 11. C/Co 'nun enjekte edilen hacimle değişimi (NaOH ötelemesi).

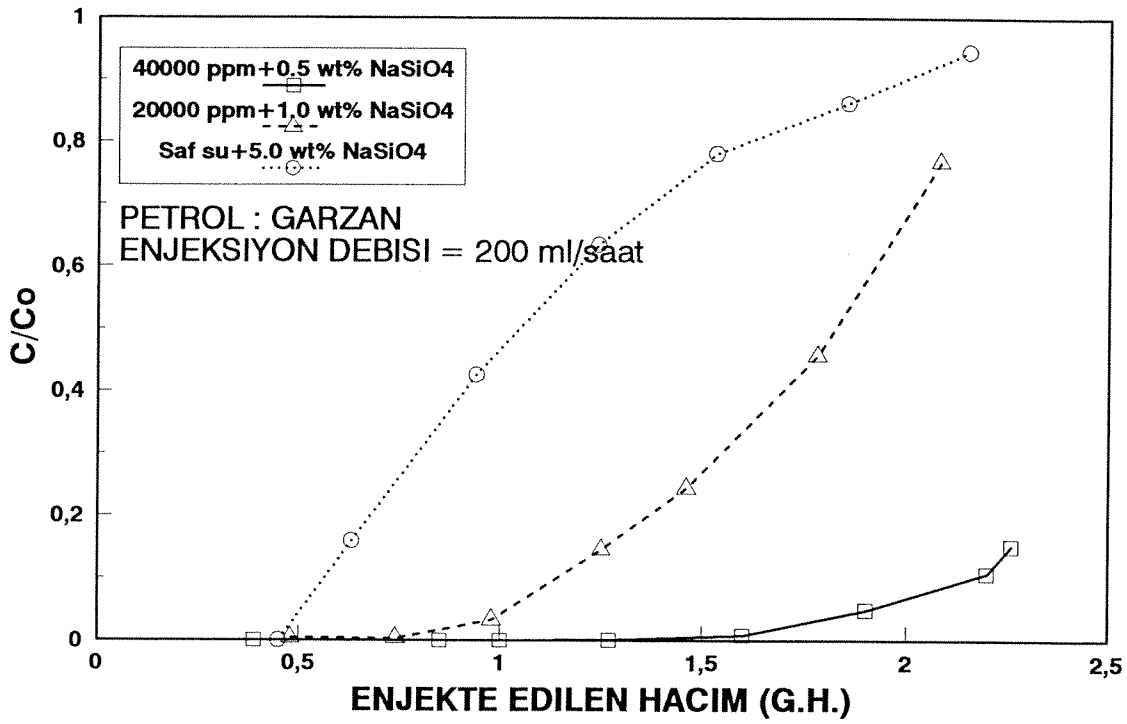




Şekil 12. Petrol üretiminin enjektörde hacimle değişimi ( $\text{NaSiO}_4$  ötelemesi).



Şekil 13. Üretilen suyun pH'nın enjekte edilen hacimle değişimi (NaSiO<sub>4</sub> ötelemesi).



Şekil 14. C/C<sub>0</sub>'nun enjekte edilen hacimle değişimi (NaSiO<sub>4</sub> ötelemesi).

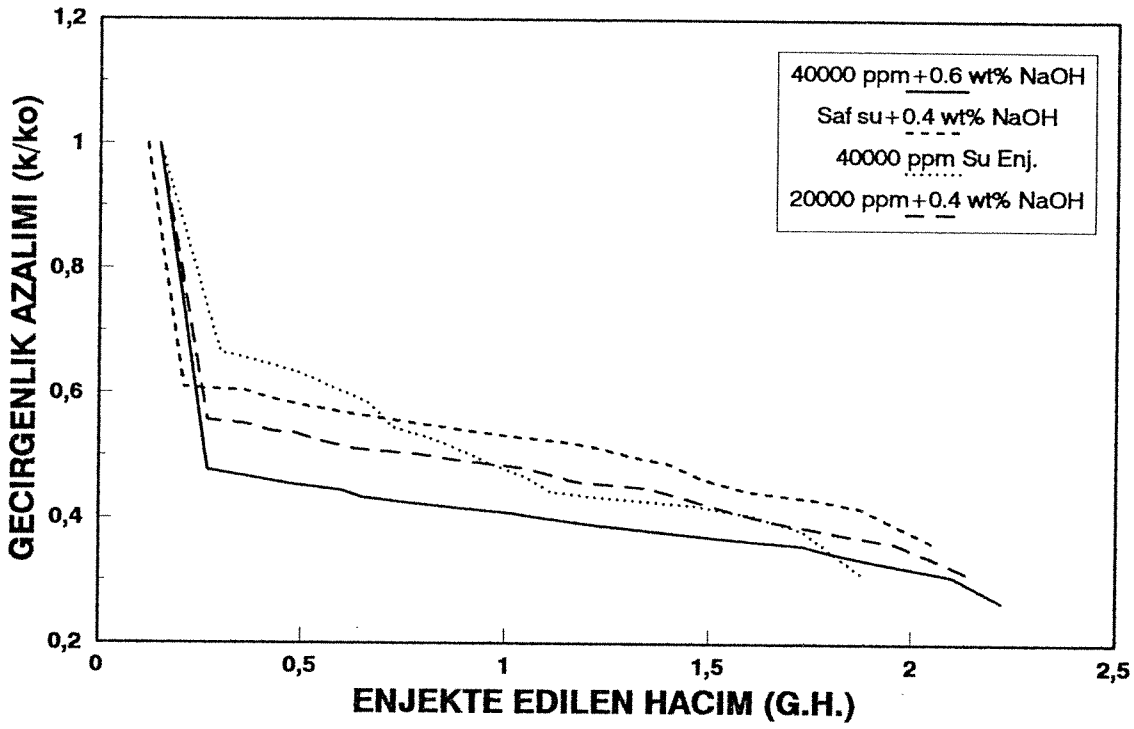
NaSiO<sub>4</sub> alkali sıvı ile yapılan deneyde gözlenmiştir. Bu deneyde üretim ucunda ölçülen SiO<sub>4</sub> konsantrasyonunda, artma gözlenmiştir, buda çökmenin olduğunu ve petrol üretiminin azalmasına neden olduğunu göstermektedir. Çökme problemi, 40000 ppm lik tuzlu su ile hazırlanan NaSiO<sub>4</sub> alkali sıvı ile yapılan deneyde gözlenmiştir. Bu deneyde üretilen suyun pH'ında yapılan ölçümlerde, pH değerinin hızla artmadığı gözlenmiştir. SiO<sub>4</sub> konsantrasyonunda fazla artış olmamış ve petrol üretiminde fazla olmamıştır. Şekil 15 ve 16'da NaOH ve NaSiO<sub>4</sub> deneyleri neticesinde hesaplanan geçirgenlik azalımının enjekte edilen hacimle değişimleri gösterilmiştir. NaOH ile yapılan deneylerde deney başlangıcında geçirgenliğin hızla azaldığı gözlenmiştir. Bunun nedeni deney başlangıcında basınç farkının yüksek olmasıdır. 40000 ppm lik tuzlu su 0.6 wt% NaOH karışımı ile yapılan deneyde geçirgenlik azalımı az olmuş ve neticede petrol üretiminde artış gözlenmiştir. NaSiO<sub>4</sub> ile yapılan deneylerde, genelde geçirgenlik azalımı yine deney başlangıcında gözlenmiştir. Petrol üretimleri NaOH ile yapılan deneylere göre daha fazla olmuştur. Buda NaSiO<sub>4</sub> ün enjeksiyon suyunda kullanılmasıyla formasyon hasarının daha az olacağını ve petrol üretimini fazla etkilemeyeceğini göstermiştir.

### **6.3. TUZLU SU ÖTELEME DENEYLERİ**

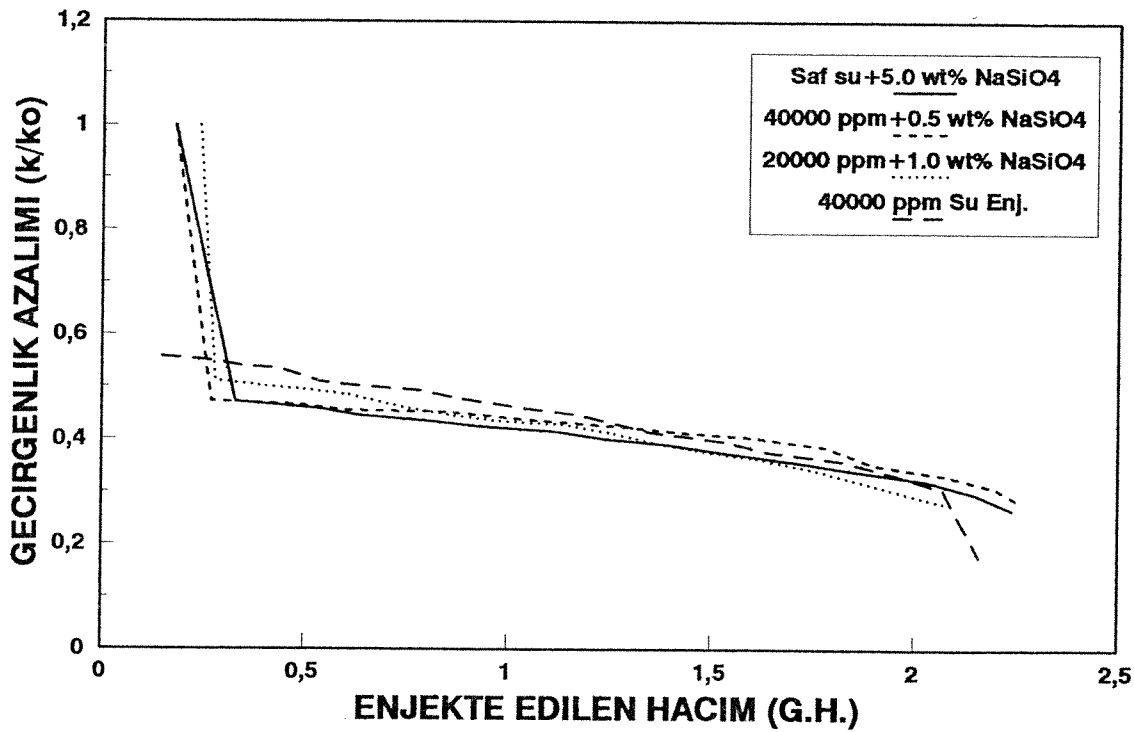
#### **6.3.1. Petrolsüz Deneyler**

Farklı konsantrasyonlarda hazırlanan tuzlu su ile konsolide olmayan ve konsolide olan karotlarda toplam 13 adet deney yapılmıştır. Yapılan deneylerin deney şartları Tablo 6'da verilmiştir. Tablo 7'de kullanılan konsolide ve konsolide olmamış karotlarla deneylere başlamadan önce yapılan geçirgenlik deneylerinin deney şartları verilmiştir.

Konsolide olmayan karotlarda (kırılmış kireçtaşı) farklı NaCl konsantrasyonu ile yapılan deneylerde elde edilen  $\Delta P$  ölçümleri Şekil 17'de gösterilmiştir. Bu şekilden görüldüğü gibi, farklı NaCl konsantrasyonunun neticesinde karotun girişinde deney başlangıcında basınç yükselimi ve daha sonra sabitlenmiş basınç ölçümü gözlenmiştir. Basınç yükseliminin nedeni, tuz kristallerinin gözeneklerde çökerek, boşlukları tıkmaması ve formasyon hasarına neden olmasıdır.



Şekil 15. Geçirgenlik azalımının enjekte edilen hacimle değişimi (NaOH ötelemesi).



Şekil 16. Geçirgenlik azalımının enjekte edilen hacimle değişimi (NaSiO<sub>4</sub> ötelemesi).

Tablo 6. Tuzlu su öteleme deney şartları.

DENEY NO	Enjeksiyon Suyu Tuzluluğu (ppm)	Enjeksiyon Debisi (ml/saat)	Ötelenen Su Tuzluluğu (ppm)
1UC	5000	200	Saf su
2UC	10000	200	Saf su
3UC	20000	200	Saf su
4UC	30000	200	Saf su
5UC	40000	200	Saf su
1C	20000	15	10000
2C	Saf su	15	20000
3C	10000	15	5000

Tablo 7. Geçirgenlik deney şartları.

DENEY NO	Karot Tipi	Tuzluluk (ppm)	Overburden Basıncı (psi)
LP1C	Konsolide	Saf su	1500
LP2C	Konsolide	5000	1500
LP3C	Konsolide	10000	1500
LP4C	Konsolide	20000	1500
LPUC	Konsolide olmamış	Saf su	Uygulanmadı

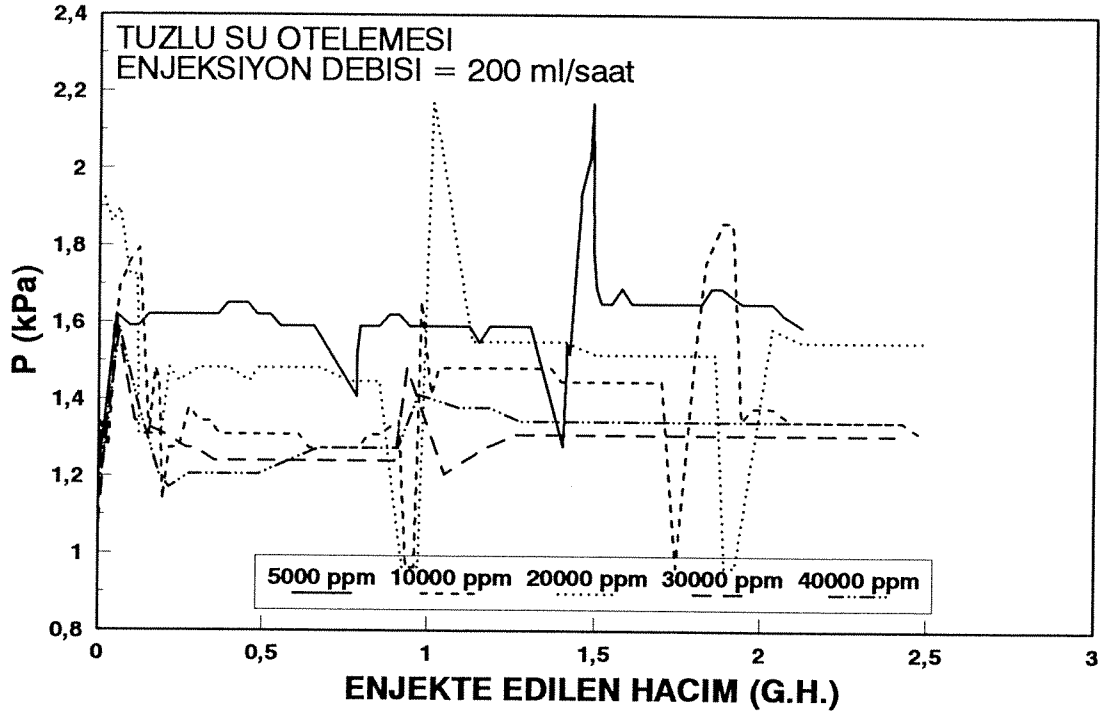
Konsolide karot kullanılarak yapılan deneylerde farklı NaCl konsantrasyonlarında hazırlanan enjeksiyon suyunun farklı NaCl konsantrasyonlarında yerinde suyun ötelenmesinde ölçülen  $\Delta P$  ölçümleri Şekil 18’de gösterilmiştir. Bu şekilden görüldüğü gibi, farklı NaCl konsantrasyonunda hazırlanan tuzlu su ile yapılan su öteleme deneylerinde, deney başlangıcında basınç yükselimi ve daha sonra sabitlenmiş basınç ölçümü gözlenmiştir. Özellikle 20000 ppm’lik tuzlu su ile saf suyun ötelenmesi deneyinde 0.7 G.H. (Gözenek Hacmi) kadar tuzlu su enjeksiyonundan sonra ani basınç yükselimi gözlenmiştir. Bu da karotun giriş kısımlarında formasyon hasarının meydana geldiğini göstermektedir. Ayrıca, farklı NaCl konsantrasyonlarının basınç yükselmelerine ve formasyonda hasara neden olduklarında gözlenmiştir.

### 6.3.2. Petrollü Deneyler

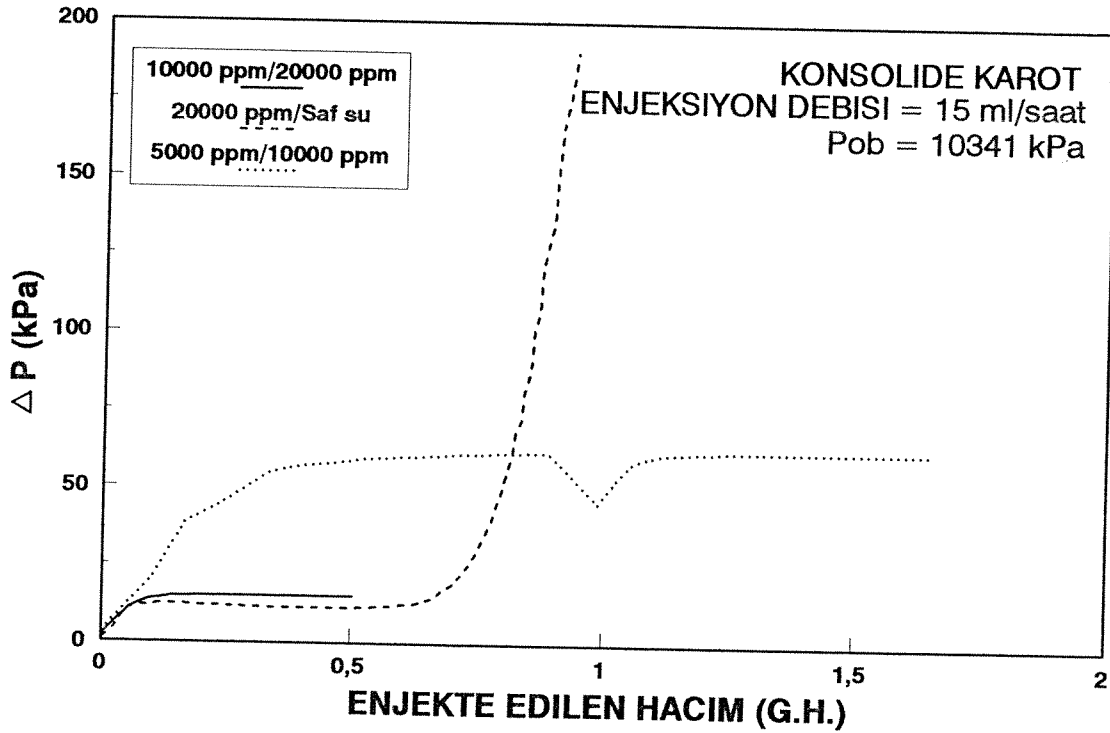
Farklı konsantrasyonlarda hazırlanan tuzlu su (NaCl),  $CaCl_2$  ve KCl ve karışımları kullanılarak toplam 13 adet deney yapılmıştır. Yapılan deneylerin deney şartları Tablo 8’de verilmiştir. Konsolide olmayan karotlarda farklı NaCl konsantrasyonu ile yapılan deneylerde elde edilen  $\Delta P$  ölçümleri Şekil 19’da gösterilmiştir. Bu şekilden görüldüğü gibi, farklı NaCl konsantrasyonu neticesinde karotun girişinde deney başlangıcında basınç yükselimi ve daha sonra azalan ve sabitlenen basınç ölçümü gözlenmiştir. Basınç yükseliminin nedeni, tuz kristallerinin gözeneklerde çökerek, boşlukları tıkaması ve formasyon hasarına neden olmasıdır. Şekil 20 ve 21 ‘de farklı tuz konsantrasyonlarında yapılan öteleme deneylerinde üretilen suyun pH ve Cl konsantrasyonunun enjekte edilen hacimle değişimleri gösterilmiştir. Bu şekiller incelendiğinde, deney başlangıcından itibaren modele 0.5 G.H. kadar tuzlu su enjekte edildikten sonra pH değerlerinde artma olmuştur. pH’ın artmasıyla gözeneklerde çökelmenin başladığı ve tuzlu konsantrasyonunun fazla etki etmediği gözlenmiştir. Cl konsantrasyonlarında en yüksek tuzluluğa sahip olan deneyde elde edilen Cl konsantrasyonu diğerlerine göre fazla olmuştur. Şekil 22’de petrol üretiminin enjekte edilen hacimle değişimi gösterilmiştir. 20000 ppm’lik tuzlu su ile yapılan deneylerde, diğer tuzluluk konsantrasyonlarına göre daha fazla petrol üretilmiştir. 10000, 30000 ve 40000 ppm’lik deneylerde basınç yükselimi fazla olmuştur ve geçirgenlik azalımındaki düşme daha fazladır. Geçirgenlik azalımındaki yükseliş petrol üretiminin azalmasına neden olmuştur. 40000 ppm

Tablo 8. NaCl, CaCl<sub>2</sub> ve KCl öteleme deney şartları.

DENEY NO	Enjeksiyon Suyu Tuzluluğu (ppm)	Enjeksiyon Debisi (ml/saat)	Tuzlu Su Konsantrasyonu (wt %)
BFUC1	10000	200	1 wt % NaCl
BFUC2	20000	200	2 wt % NaCl
BFUC3	30000	200	3 wt % NaCl
BFUC4	40000	200	4 wt % NaCl
UCA1	-	200	2 wt % CaCl <sub>2</sub>
UCA2	-	200	5 wt % CaCl <sub>2</sub>
UCA3	-	200	10 wt % CaCl <sub>2</sub>
UCK1	-	200	2 wt % KCl
UCK2	-	200	5 wt % KCl
UCWF	-	200	-
UCMX1	-	200	5 wt % CaCl <sub>2</sub> + 2 wt % KCl
UCMX2	-	200	5 wt % CaCl <sub>2</sub> + 2 wt % NaCl
UCMX3	-	200	2 wt % KCl+ 2 wt % NaCl

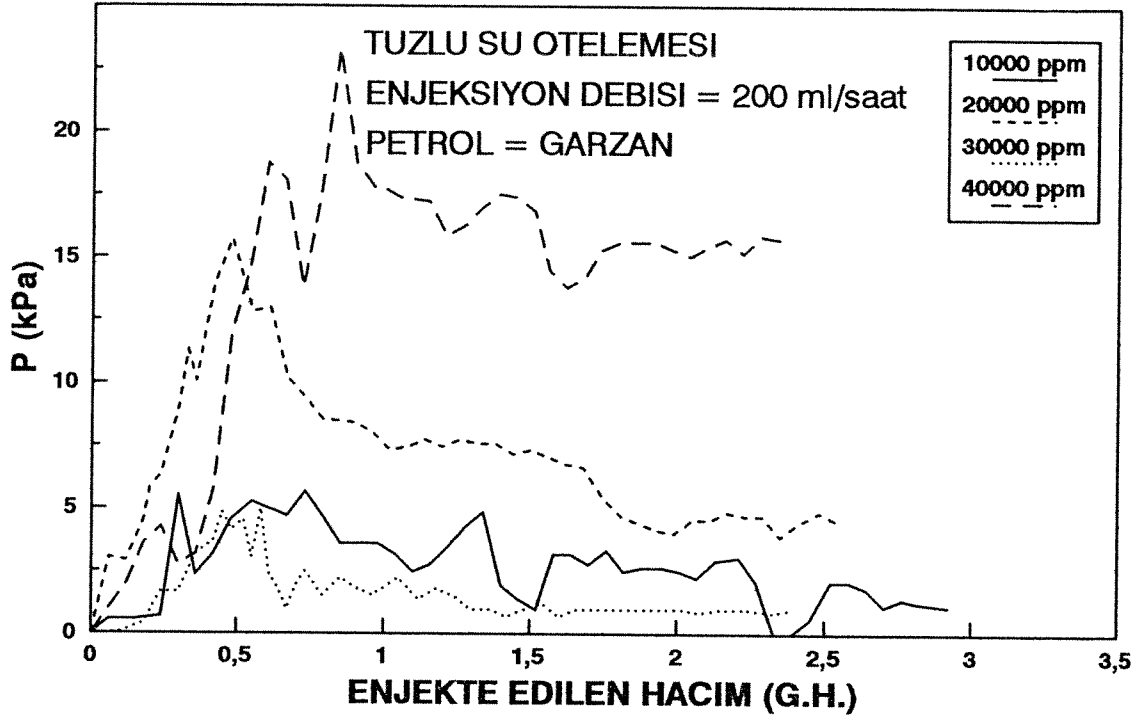


Şekil 17.  $\Delta P$  'nin enjekte edilen hacimle değişimi (Konsolide olamayan karot).

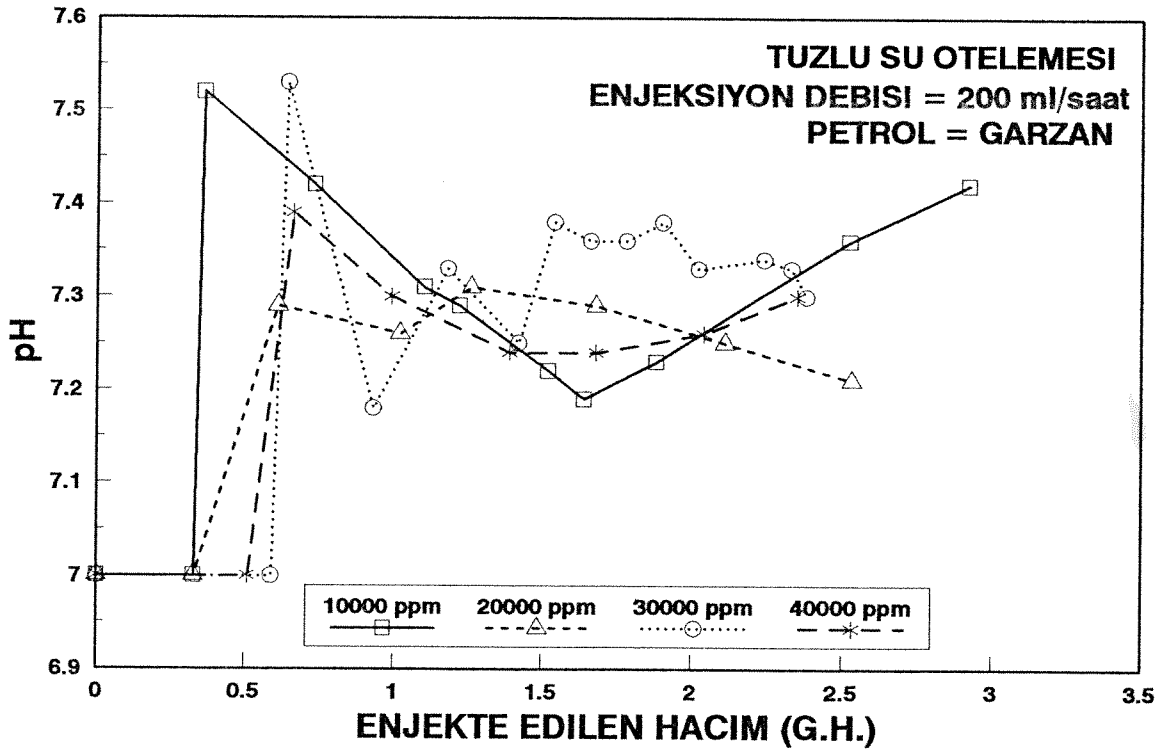


Şekil 18.  $\Delta P$  'nin enjekte edilen hacimle değişimi (Konsolide karot).

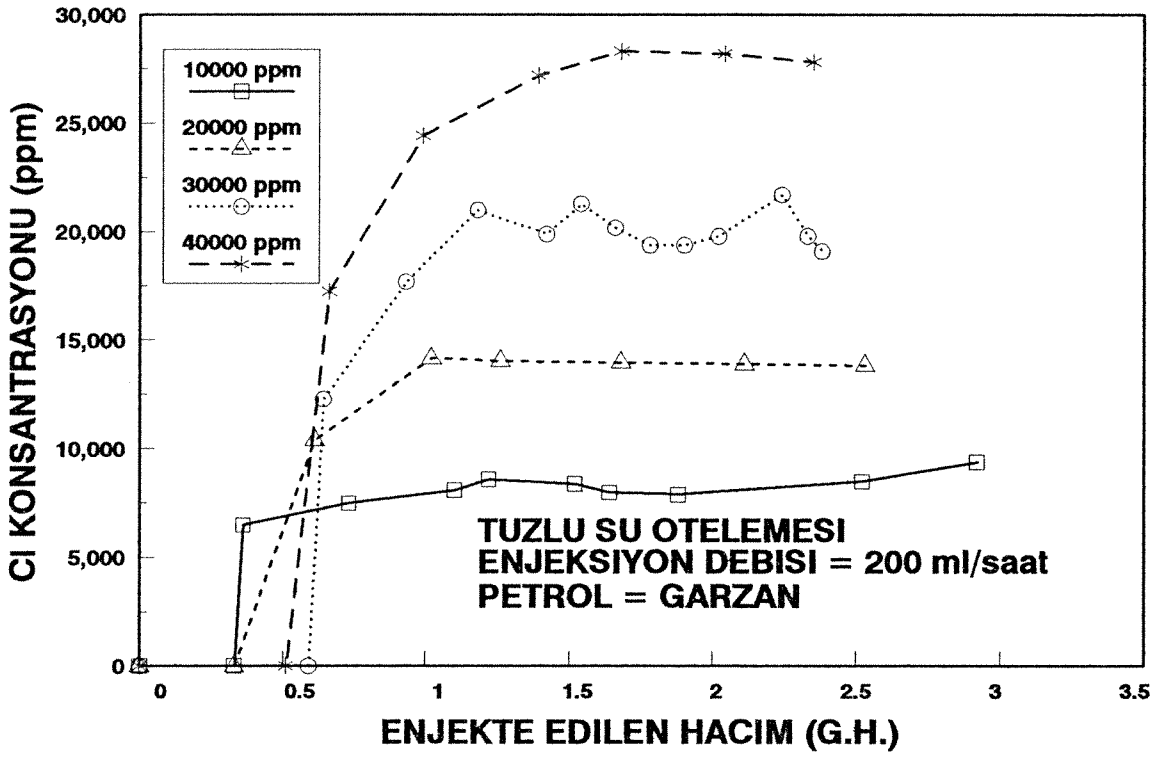




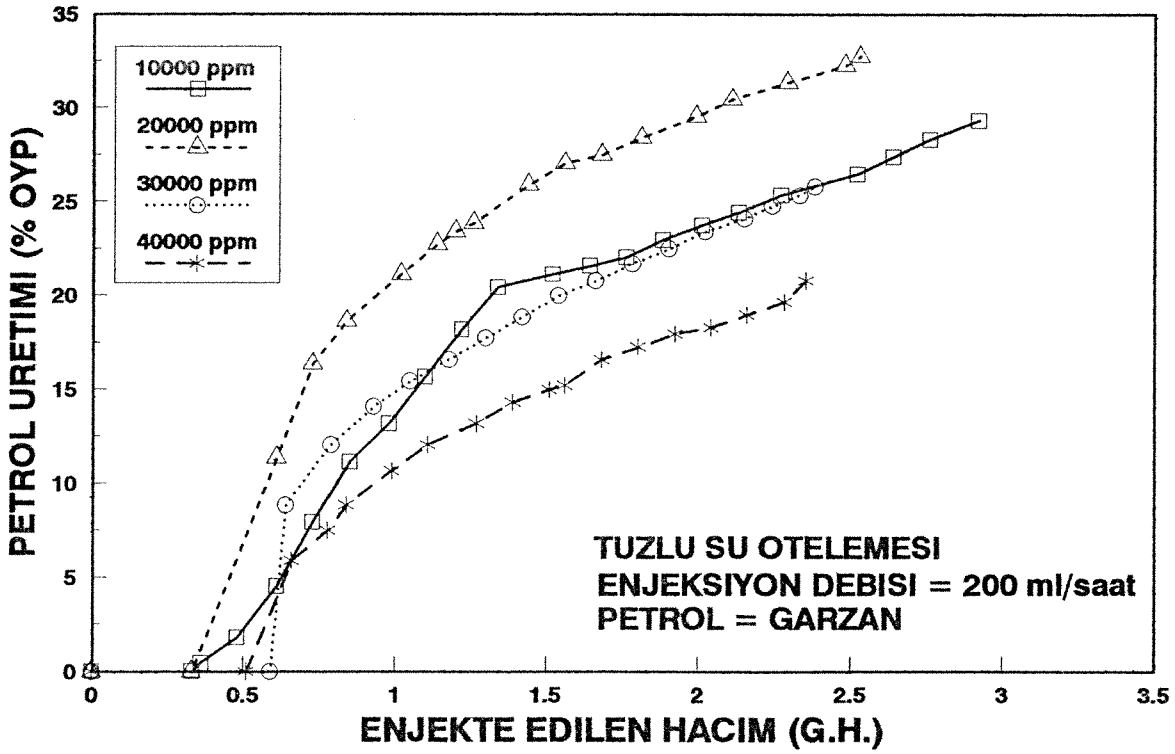
Şekil 19.  $\Delta P$  'nin enjekte edilen hacimle değişimi (NaCl ötelemesi).



Şekil 20. Üretilen suyun pH'ının enjekte edilen hacimle değişimi (NaCl ötelemesi).



Şekil 21. Cl konsantrasyonunun enjekte edilen hacimle değişimi (NaCl ötelemesi).



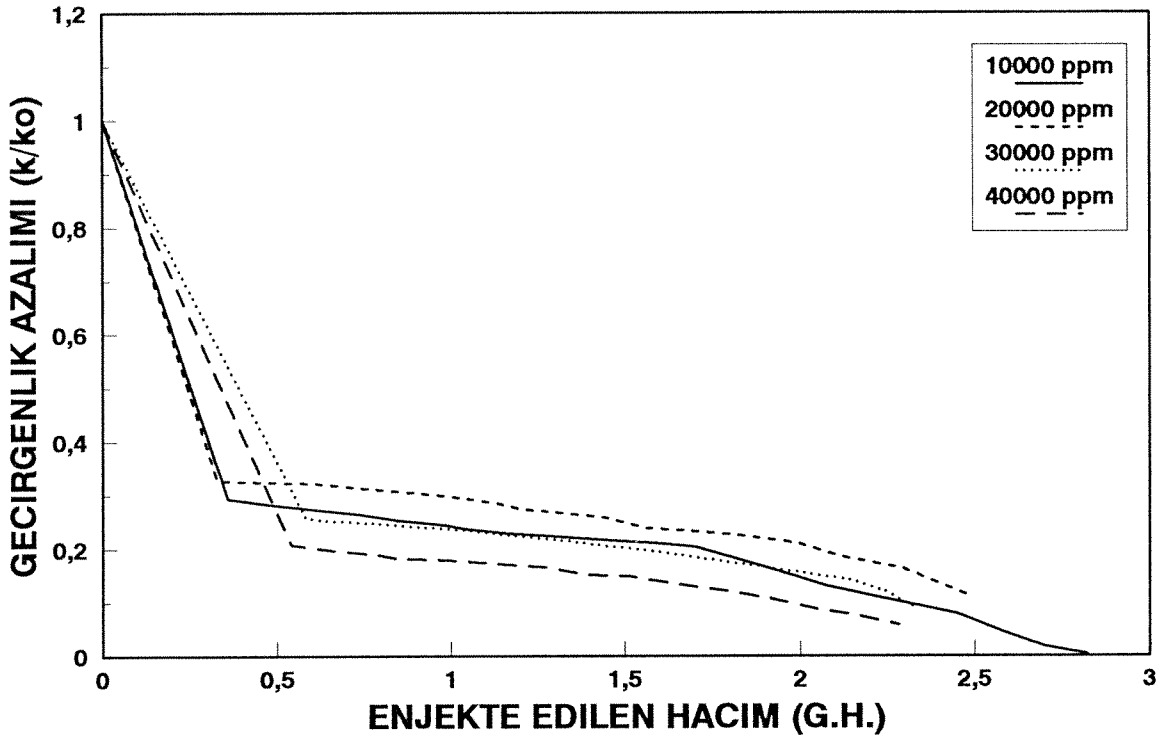
Şekil 22. Petrol üretiminin enjekte edilen hacimle değişimi (NaCl ötelemesi).

lik tuzlu enjeksiyonunda en düşük petrol üretimi olmuştur. Bunun sebebi, 40000 ppm lik tuzlu suyun gözeneklerde çökmesi diğer tuzluluk oranlarına göre daha fazla olmuştur ve petrol üretimi azalmıştır.

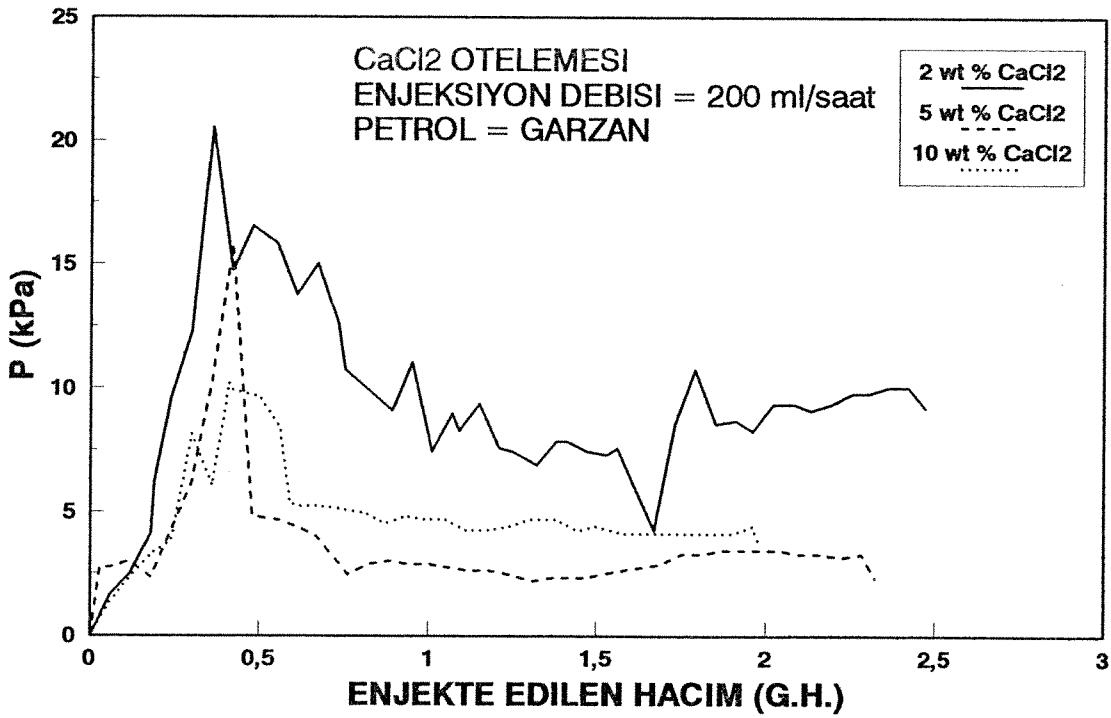
Şekil 23'de tuzlu su ile yapılan öteleme deneylerinde hesaplanan geçirgenlik azalımının enjekte edilen hacimle değişimi gösterilmiştir. 20000 ppm lik tuzlu su ile yapılan öteleme deneyinde geçirgenlik azalımı az olmuş ve neticesinde en yüksek petrol üretimi elde edilmiştir. NaCl konsantrasyonunun artmasıyla gözeneklerde tıkanma başlamakta ve geçirgenliğin azalmasıyla formasyon hasarı meydana gelmektedir.

Farklı tuzlu su konsantrasyonlarında yapılan deneylerden sonra farklı tuzlar, CaCl<sub>2</sub> ve KCl kullanılarak öteleme deneyleri yapılmıştır. CaCl<sub>2</sub> kullanılarak 3 deney, KCl kullanılarak 2 deney yapılmıştır. Şekil 24'de ΔP'nin enjekte edilen hacimle değişimi gösterilmiştir. Bu şekilde görüldüğü gibi, 2 wt% lik CaCl<sub>2</sub> enjeksiyonunda deney başlangıcında en yüksek basınç farkı elde edilmiştir. CaCl<sub>2</sub> konsantrasyonu arttıkça model girişinde oluşan basınç farkı azalma göstermiştir. Şekil 25 ve 26'da CaCl<sub>2</sub> öteleme deneylerinde üretilen suyun pH ve Cl konsantrasyonlarının enjekte edilen hacimle değişimleri gösterilmiştir. 2 wt% ve 5 wt% konsantrasyonlarında yapılan deneylerde başlangıçta pH yükselimi olmasına rağmen 1 G.H. hacim enjeksiyondan sonra pH 'ın değişmediği ve sabitlendiği gözlenmiştir. 10 wt% lik yapılan öteleme deneyinde pH'da azalma gözlenmiştir. Buda formasyonda bir hasarın meydana gelmediğini göstermiştir. Cl konsantrasyonlarında CaCl<sub>2</sub> nin konsantrasyonu arttıkça enjekte edilen hacimle artış gözlenmiştir. Şekil 27'de üretilen petrolün enjekte edilen hacimle değişimi gösterilmiştir. 5 wt% lik CaCl<sub>2</sub> konsantrasyonunda en fazla petrol üretimi elde edilmiştir. CaCl<sub>2</sub> ile yapılan öteleme deneylerinde formasyon hasarının çok fazla oluşmadığı tesbit edilmiştir.

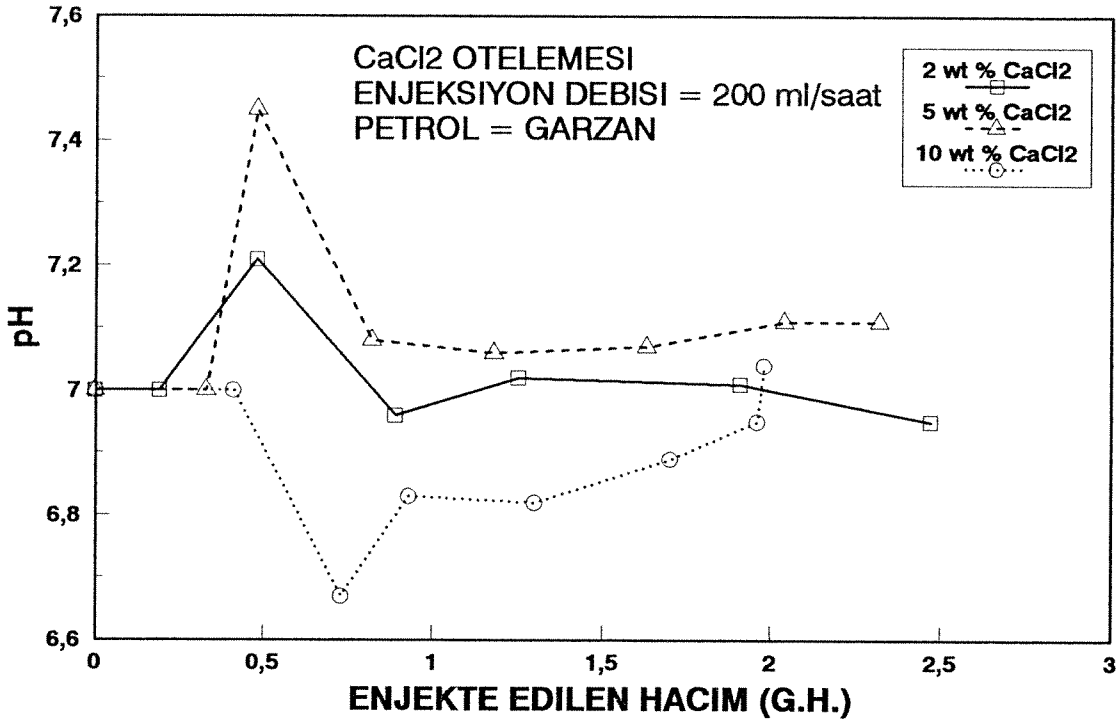
Şekil 28'de CaCl<sub>2</sub> öteleme deneylerinde hesaplanan geçirgenlik azalımının enjekte edilen hacimle değişimi gösterilmiştir. Bu şekil incelendiğinde, 5 wt % CaCl<sub>2</sub> konsantrasyonunda geçirgenlik azalımı fazla olmamıştır. Deney başlangıcında tüm kullanılan CaCl<sub>2</sub> konsantrasyonlarında basınç farkının yüksek olması neticesinde geçirgenlik azalımları gözlenmiştir.



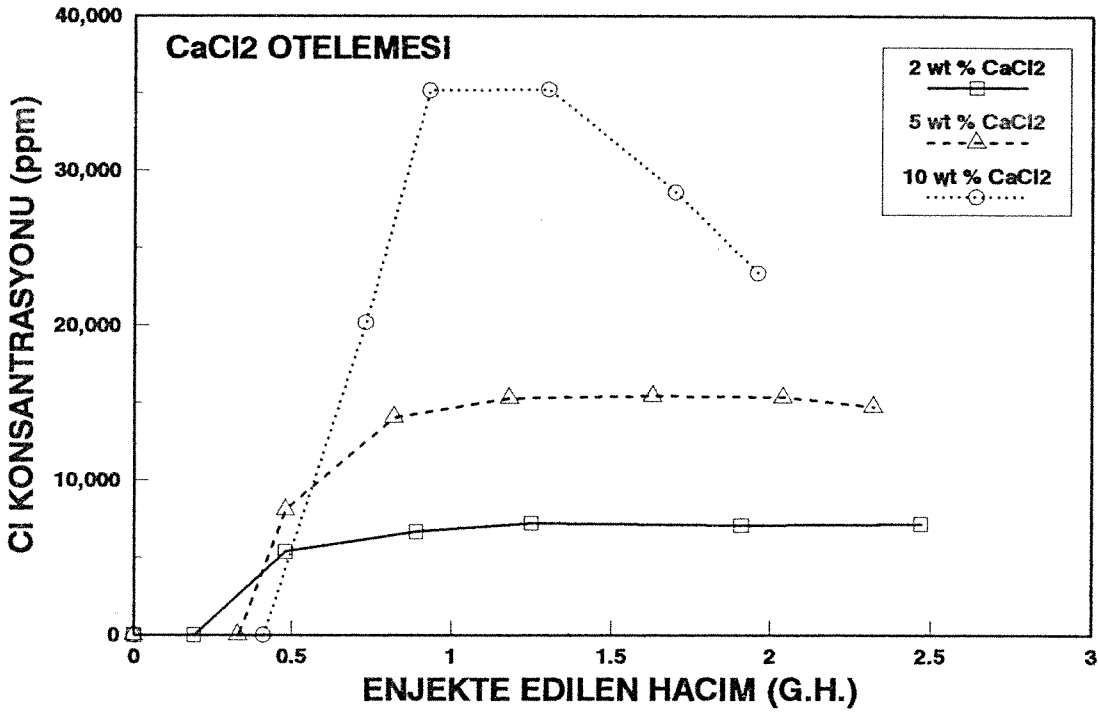
Şekil 23. Geçirgenlik azalımının enjekte edilen hacimle değişimi (NaCl ötelemesi).



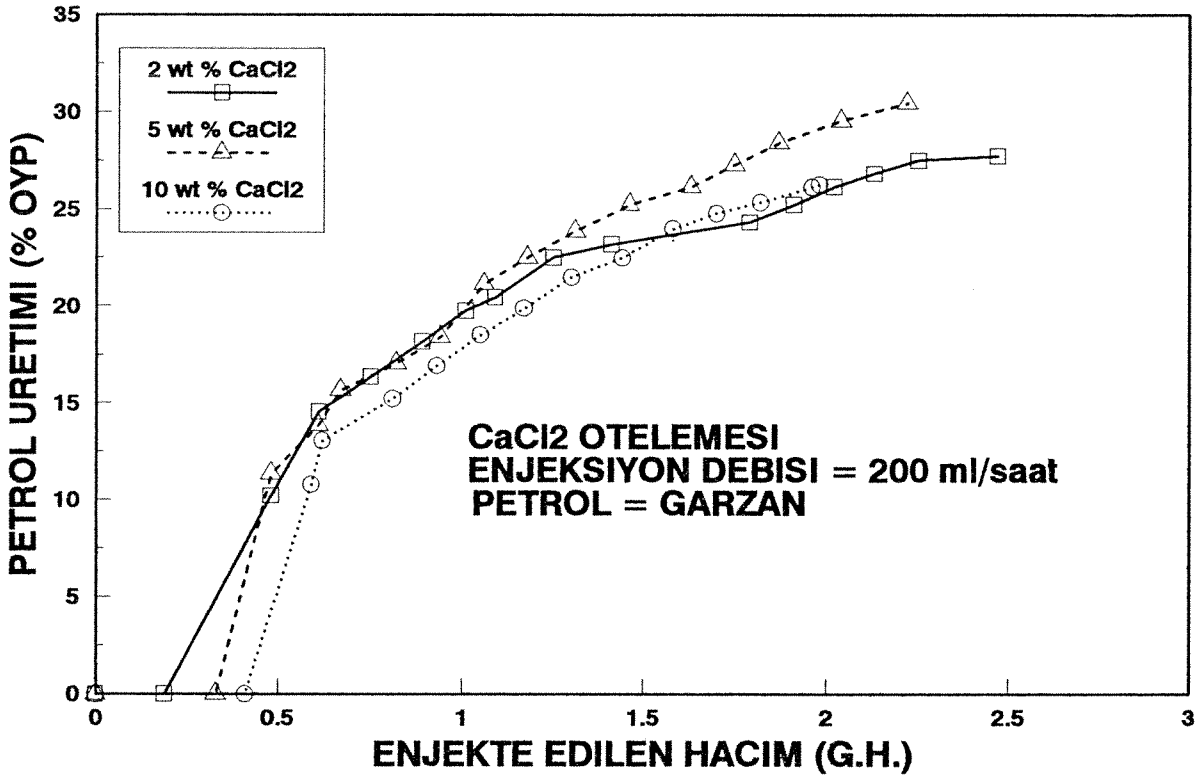
Şekil 24.  $\Delta P$  'nin enjekte edilen hacimle değişimi ( $\text{CaCl}_2$  ötelemesi).



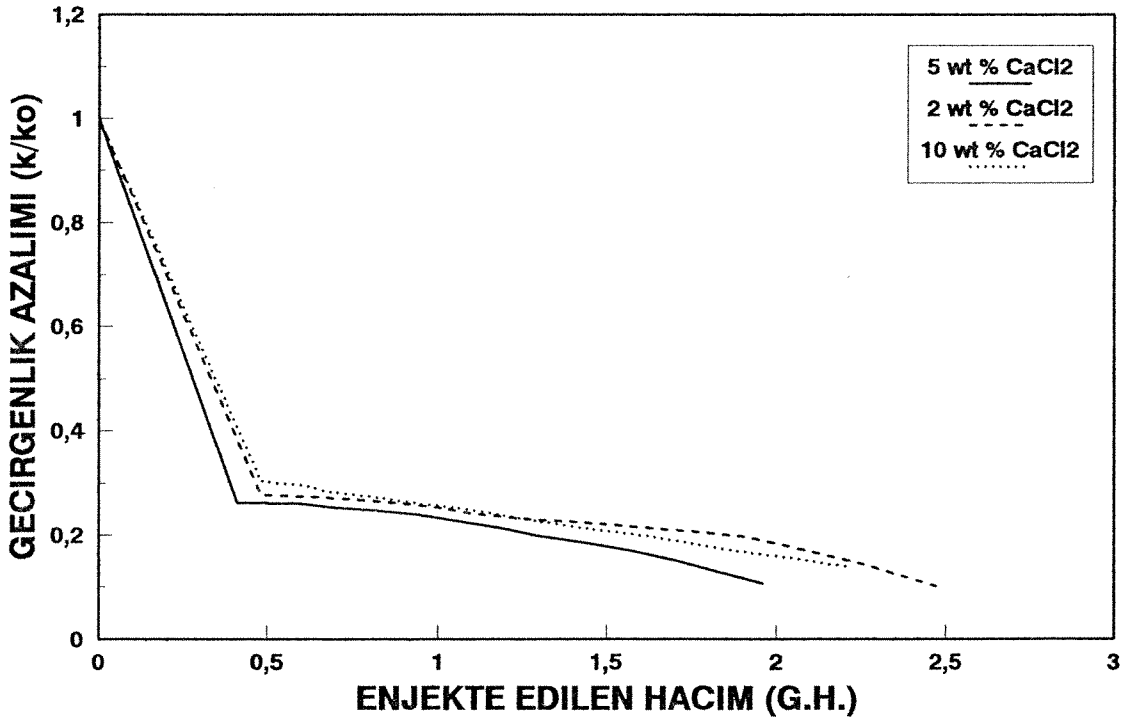
Şekil 25. Üretilen suyun pH'ının enjekte edilen hacimle değişimi (CaCl<sub>2</sub> ötelemesi).



Şekil 26. Cl konsantrasyonunun enjekte edilen hacimle değişimi (CaCl<sub>2</sub> ötelemesi).



Şekil 27. Petrol üretiminin enjekte edilen hacimle değişimi (CaCl<sub>2</sub> ötelemesi).

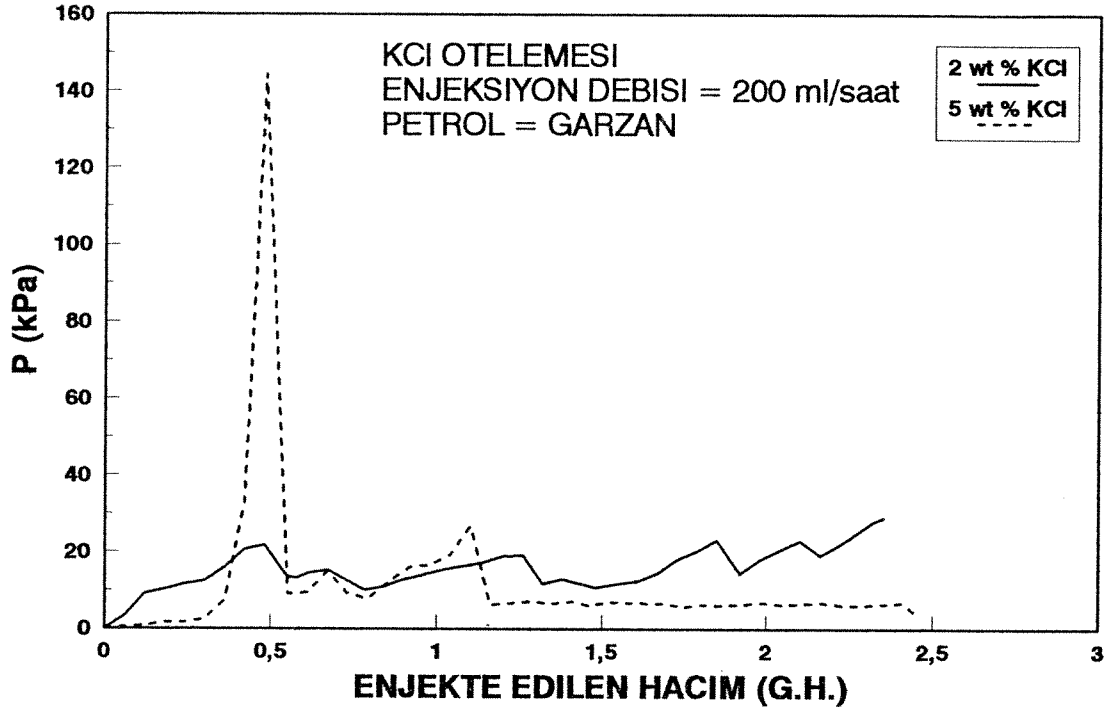


Şekil 28. Geçirgenlik azalımının enjekte edilen hacimle değişimi (CaCl<sub>2</sub> ötelemesi).

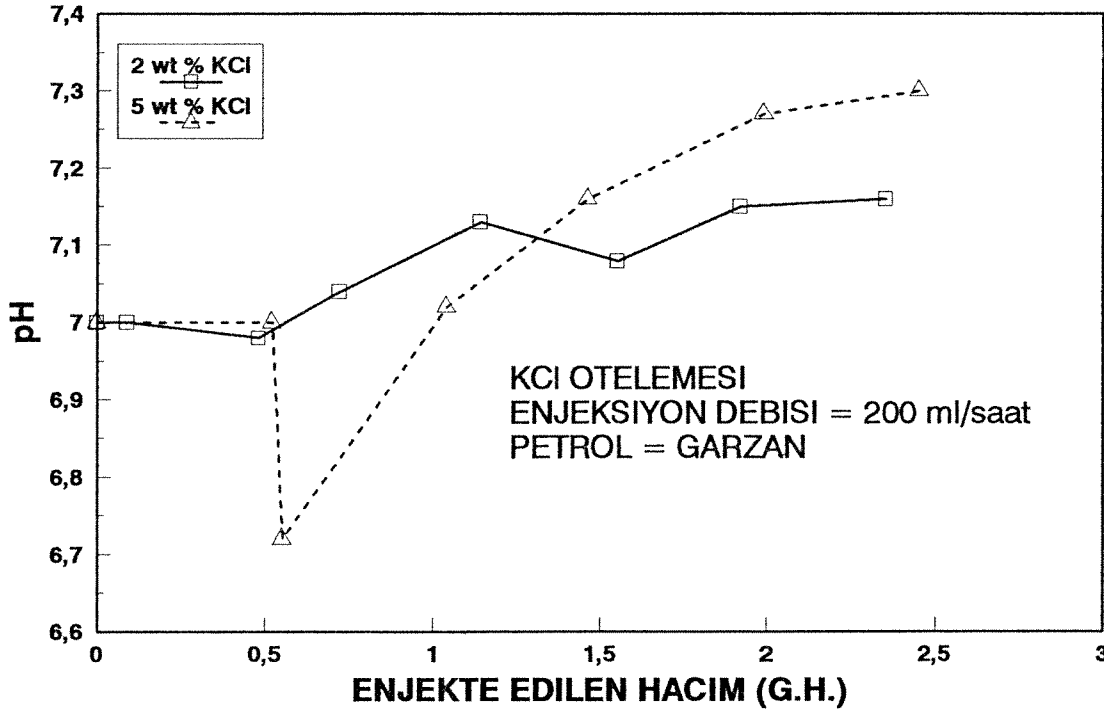
KCl kullanılarak yapılan öteleme deneylerinde ölçülen basınç farklarının enjekte edilen hacimle değişimleri Şekil 29'da verilmiştir. 2 wt% lik KCl konsantrasyonu kullanılarak yapılan öteleme deneyinde basınç farkı deney başlangıcında ani artış göstermemiştir. Bununla beraber, 5 wt% lik KCl konsantrasyonu kullanılarak yapılan öteleme deneyinde 0.5 G.H. hacmi kadar KCl çözeltisi basılınca basınç farkı çok yüksek olmuş ve daha sonra düşerek, sabit bir seviyede kalmıştır. 5 wt % lik KCl konsantrasyonu kullanılarak yapılan deneyde basınç farkının deney başlangıcında yüksek olmasının nedeni, KCl tuzlarının gözenekleri tıkanmasıdır. 10 wt % lik KCl konsantrasyonu ile yapılan deneyde gözenekler tamamıyla tıkanmış ve basınç aniden artmış ve karot boyunca akış elde edilememiştir. pH ve Cl konsantrasyonunun enjekte edilen hacimle değişimleri Şekil 30 ve 31'de gösterilmiştir. pH'ın 2 wt%lik KCl konsantrasyonlu deneyde fazla değişmediği gözlenmiştir. 5 wt% lik deneyde önce azalma göstermiş daha sonra artmış ve gözeneklerde az da olsa tıkanmaya neden olmuştur. Cl konsantrasyonlarında her iki deneyde de başlangıçta artış ve daha sonra sabit Cl değerleri ölçülmüştür. Şekil 32'de petrol üretiminin enjekte edilen hacimle değişimi gösterilmiştir. En yüksek petrol üretimi, pH'ın fazla değişmediği 2 wt% lik KCl enjeksiyonunda elde edilmiştir.

Şekil 33'de KCl öteleme deneylerinde hesaplanan geçirgenlik azalımının enjekte edilen hacimle değişimleri gösterilmiştir. 2 wt % KCl konsantrasyonunda geçirgenlik azalımı daha az olmuş ve daha fazla petrol üretilmiştir.

$\text{CaCl}_2$ , KCl ve NaCl tuzları ile hazırlanan farklı sıvılarla öteleme deneyleri yapılmış ve formasyon hasarı incelenmiştir. Şekil 34'de basınç farkının enjekte edilen hacimle değişimi gösterilmiştir. Bu şekilden görüldüğü gibi, 5 wt %  $\text{CaCl}_2$  ve 2 wt % KCl konsantrasyonlarında hazırlanan tuzlu su ile yapılan öteleme deneyinde, basınç farkı 0.5 G.H. hacminde çok yüksek olmuş ve daha sonra basınç farkı sabitlemiştir. Diğer hazırlanan tuzlu sularla yapılan deneylerde basınç farkı yine deney başlangıcında yüksek olmuş ve daha sonra düşerek sabitlenmiştir. Şekil 35'de  $\text{CaCl}_2$  ile hazırlanan sıvılarla yapılan deneylerde pH azalırken, KCl+NaCl ile yapılan deneyde artış göstermiştir. Bu şekilden izlendiği gibi,  $\text{CaCl}_2$  'nin formasyon hasarını azaltıcı bir etkisi vardır ve diğer tuzların etkisini de azaltmaktadır. Şekil

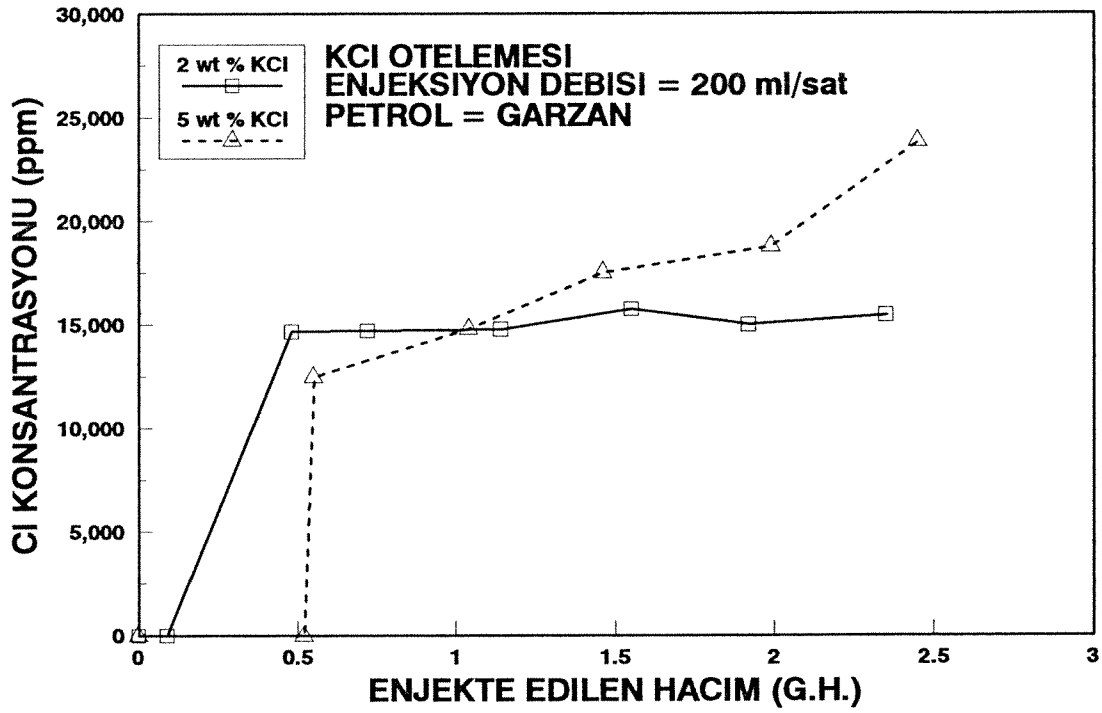


Şekil 29. ΔP 'nin enjekte edilen hacimle değişimi (KCl ötelemesi).

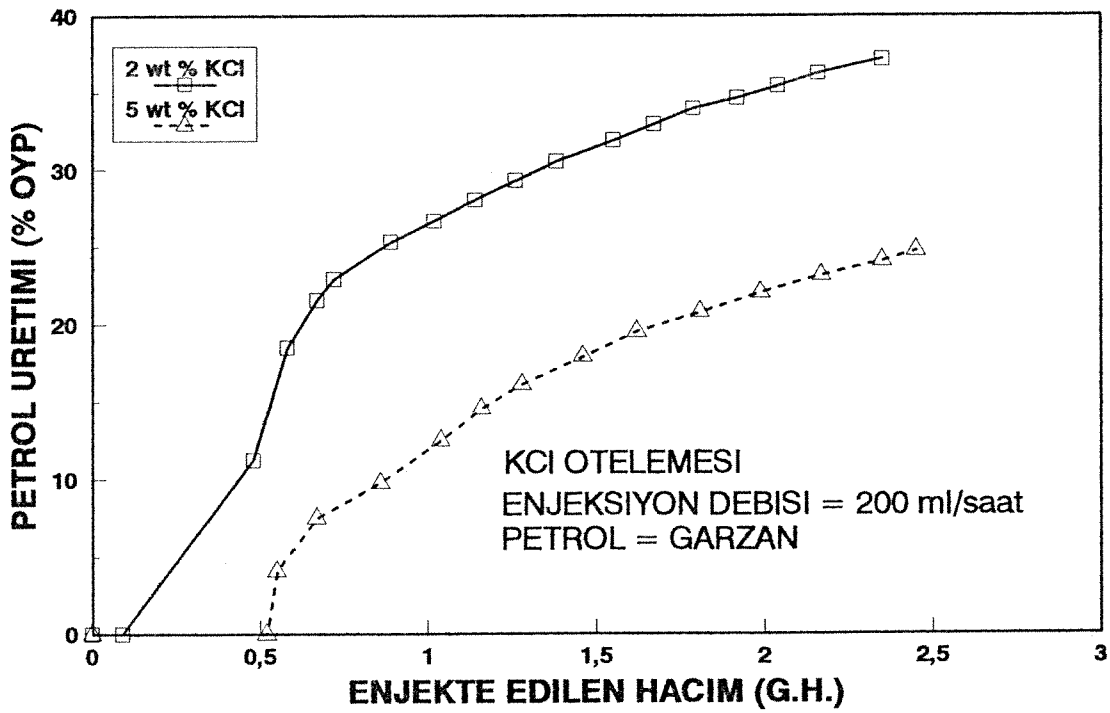


Şekil 30. Üretilen suyun pH'ının enjekte edilen hacimle değişimi (KCl ötelemesi).

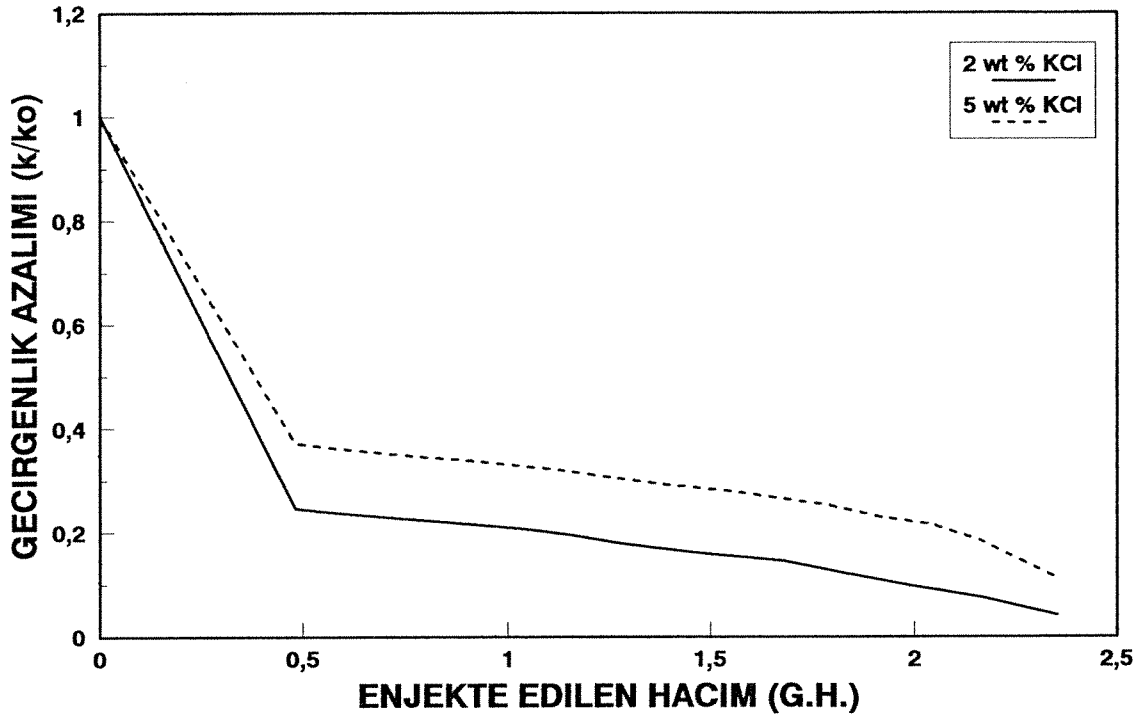




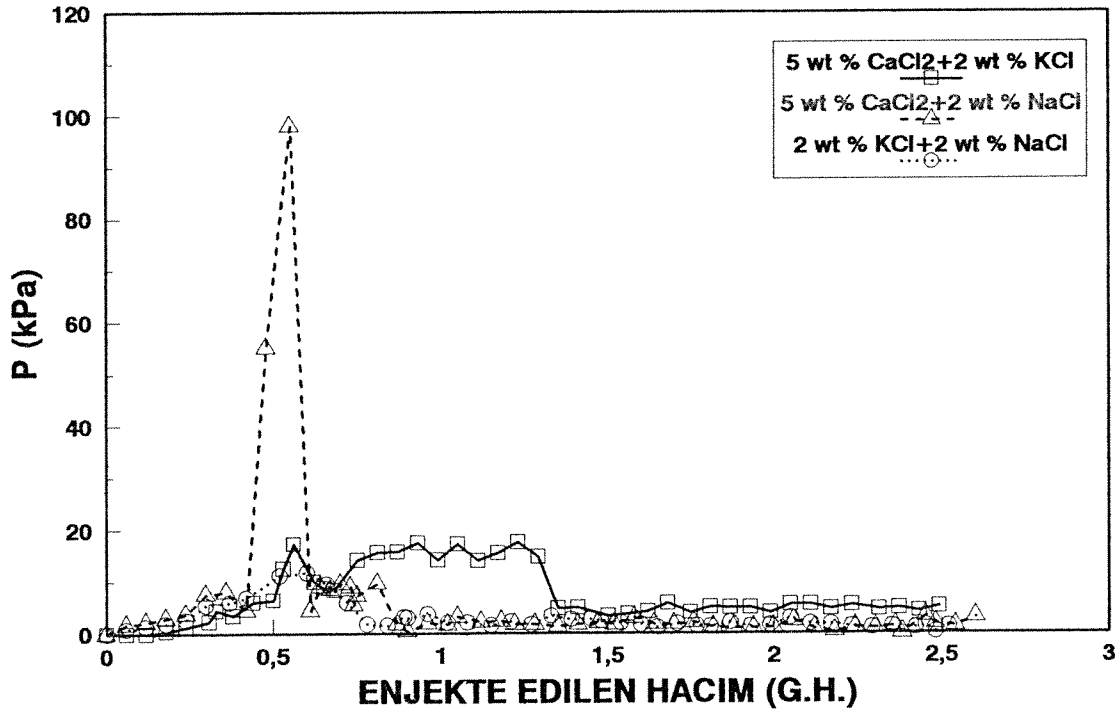
Şekil 31. Cl konsantrasyonunun enjekte edilen hacimle değişimi (KCl ötelemesi).



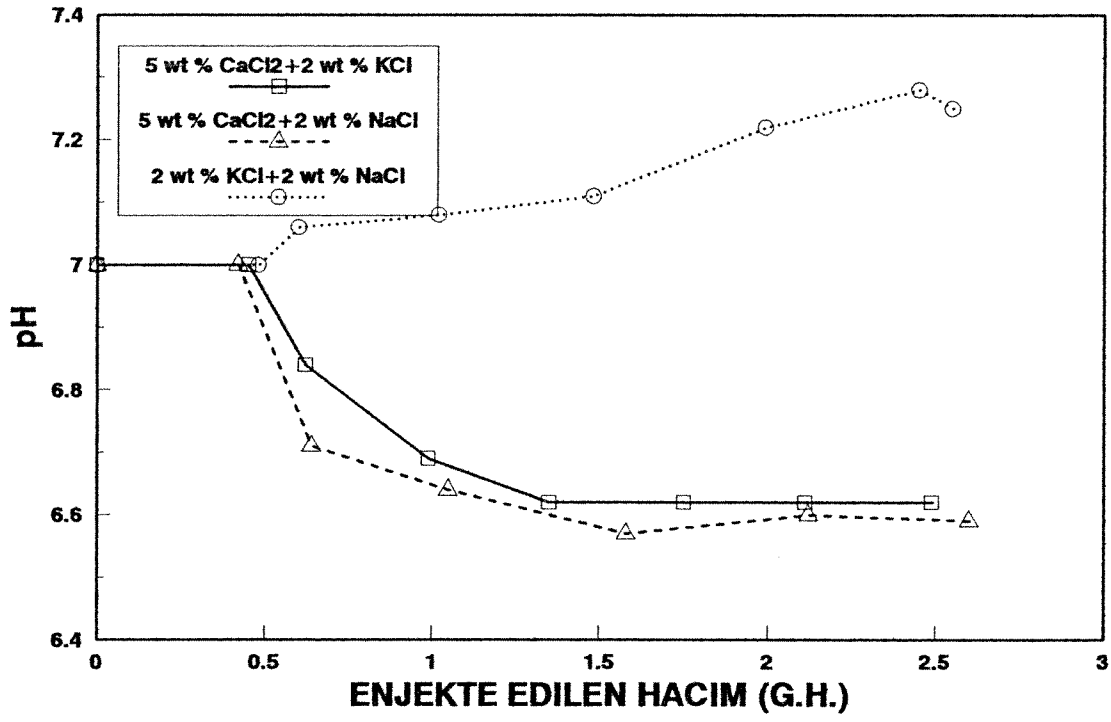
Şekil 32. Petrol üretiminin enjekte edilen hacimle değişimi (KCl ötelemesi).



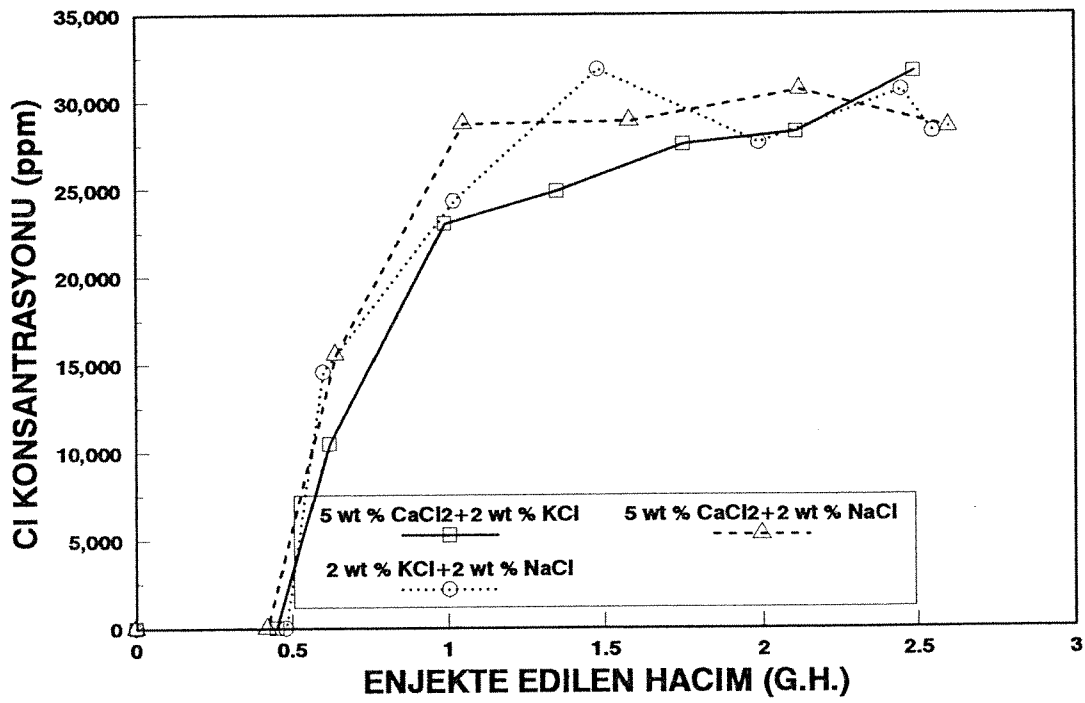
Şekil 33. Geçirgenlik azalımının enjekte edilen hacimle değişimi (KCl ötelemesi).



Şekil 34.  $\Delta P$  'nin enjekte edilen hacimle değişimi (Karişım ötelemesi).



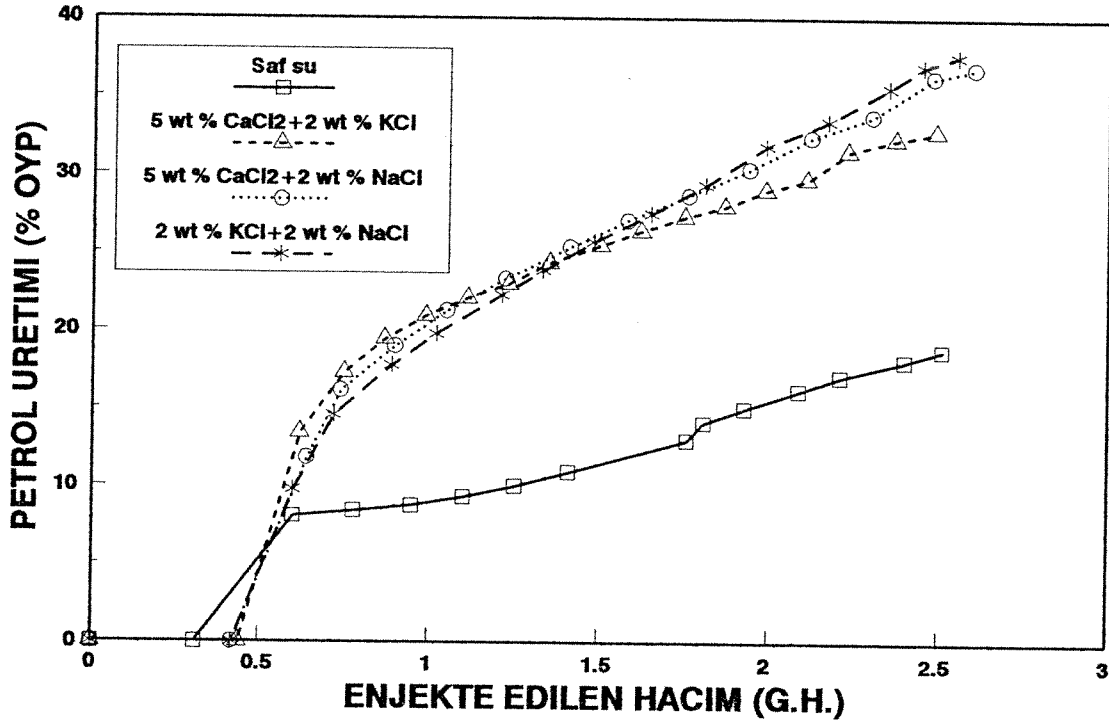
Şekil 35. Üretilen suyun pH'nın enjekte edilen hacimle değişimi (Karışım ötelemesi).



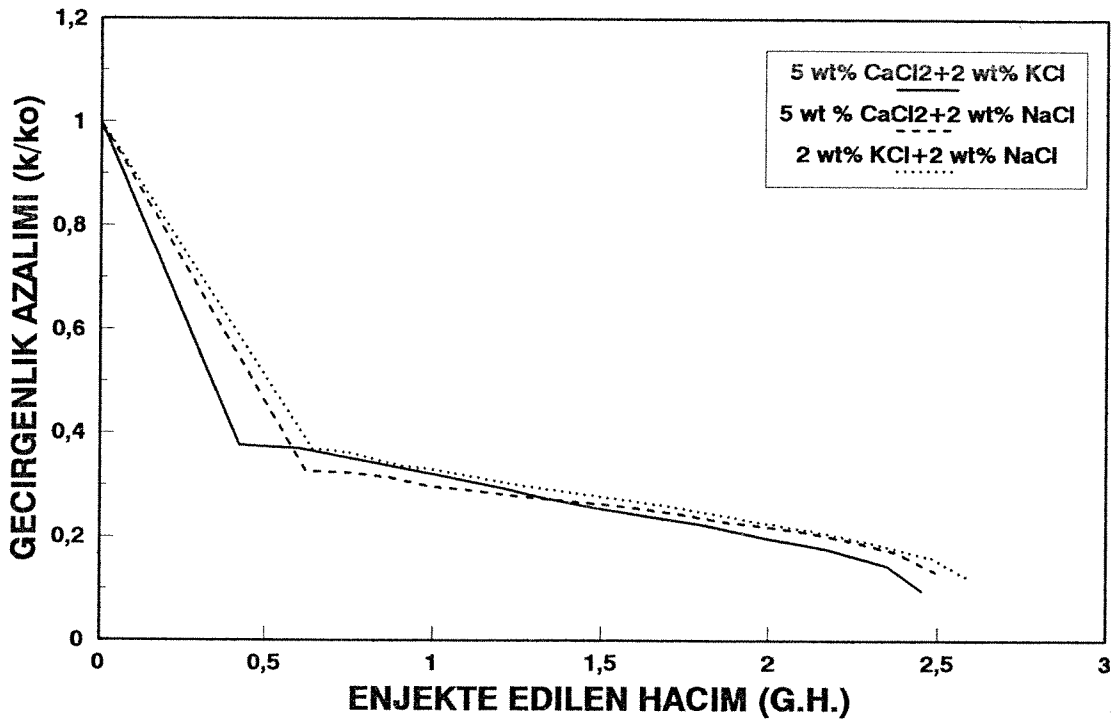
Şekil 36. Cl konsantrasyonunun enjekte edilen hacimle değişimi (Karışım ötelemesi).

36'da Cl konsantrasyonunun enjekte edilen hacimle değişimi gösterilmiştir. Cl konsantrasyonlarında farklılık yoktur, sadece enjekte edilen hacimle artış göstermektedir. Şekil 37'de petrol üretiminin enjekte edilen hacimle değişimi gösterilmiştir. Farklı tuz karışımlarının petrol üretimi üzerinde etkisi fazla olmamıştır. Saf su ile yapılan deneye göre petrol üretimi artış göstermiştir. Farklı tuz karışımlarının formasyon hasarına fazla neden olmamaları neticesinde petrol üretimleri daha fazla olmuştur.

Şekil 38'de farklı tuz karışımları ile yapılan öteleme deneylerinde hesaplanan geçirgenlik azalımının enjekte edilen hacimle değişimleri gösterilmiştir. NaCl, KCl ve CaCl<sub>2</sub> karışımlarının fazla geçirgenlik azalımına neden olmadıkları gözlenmiştir. Tüm deneylerde, deney başlangıçlarında yüksek basınç farklarından dolayı geçirgenliğin azaldığı ve petrol üretiminin saf su ile yapılan denylere göre az olduğu tesbit edilmiştir.



Şekil 37. Petrol üretiminin enjekte edilen hacimle değişimi (Karışım ötelemesi).



Şekil 38. Geçirgenlik azalımının enjekte edilen hacimle değişimi (Karışım ötelemesi).

## BÖLÜM 7

### SONUÇLAR

1. Kireçtaşı formasyonlarda, enjeksiyonda kullanılan formasyon suyu veya yapay olarak farklı konsantrasyonlarda hazırlanan tuzlu su formasyonunda geçirgenlik azalımına neden olmuş ve formasyon hasarına neden olmuştur.
2. Üretilen suyun pH'ının ölçülmesiyle yüksek pH değerlerinin geçirgenliği azaltığını ve formasyonda gözeneklerde tıkanma meydana geldiği ve neticesinde formasyon hasarının olduğu tesbit edilmiştir.
3. Alkali öteleme deneylerinde, geçirgenlik azalımı yüksek pH'lı sıvıların formasyon ile teması sonucunda meydana geldiği gözlenmiştir. NaOH ve NaSiO<sub>4</sub> ile yapılan deneylerde yüksek pH değerleri ölçülmüş ve formasyon hasarı meydana gelmiştir.
4. pH değişimi 3 ile 7 arasında olan KCl öteleme deneylerinde formasyon hasarı azalmıştır. CaCl<sub>2</sub> ve KCl formasyon hasarını engellemişlerdir. NaCl, KCl ve CaCl<sub>2</sub> karışımlarıyla yapılan deneylerde geçirgenlik azalımının engellendiği ve petrol üretiminin arttığı gözlenmiştir. Bu sıvılar ile yapılan deneylerde geçirgenlik azalımının engellendiği tesbit edilmiştir.
5. Deneylerde, tuz konsantrasyonunun kritik tuz konsantrasyonu altına düşmesi durumunda, kil taneciklerinin serbest kalarak, enjeksiyon suyu ile birlikte hareket ettikleri ve gözenekleri tıkayarak, geçirgenlik azalmasına neden olmuş ve formasyon hasarı meydana gelmiştir. Konsolide karot kullanılarak yapılan deneylerde, NaCl konsantrasyonunun artmasıyla basınç farkında artma gözlenmiş ve 30000 ppm lik tuzlu su ile yapılan deneyde, gözenekler tıkanmış ve formasyon hasarı meydana gelmiştir.

## BÖLÜM 8

### KAYNAKLAR

1. Mungan, N.: "Permeability reduction through changes in pH and salinity", JPT, December 1965, 1449-1453.
2. Khilar, K.C. and Fogler, H.S.: "Water sensitivity of sandstones", Soc. Of Pet. Eng. Journal, February 1983, 55-64.
3. Arcia, E.M. and Civan, F.: "Characterization of formation damage by particulate processes", J. of Can. Pet. Tech., Vol.31, No.3, March 1992, 27-33.
4. Mehdizadeh, A.; Hashemi, R. and Caothien, S.: "Laboratory Investigation of the effects of formation damage in a high-permeability reservoir", SPE Paper 23826, Proceeding of SPE Intl. Symp. On Formation Damage Control, Lafayette, Louisiana, February 26-27, 1992, 523-532.
5. Dabah, A.S., Omar, A.E., El-Gassier, M.M. and El-Kariem, H.A.: "Formation damage effects due to salinity, temperature and pressure in sandstone reservoirs as indicated by relative permeability measurements", J. of Pet. Scien. And Eng. 6, (1992), 403-412.
6. Kreuger, R.F.: "An overview of formation damage and well productivity in oilfield operations", J. of Pet. Tech., February 1986, 131-152.
7. Yıldız, H.O, and Morrow, N.R.: "Effect of brine composition on recovery of Mountary crude oil by waterflooding", J. of Pet. Scienc. And Eng., 14, (1996), 159-168.
8. Tang, J.: "Injectivity damage caused by reinjection of oily produced water", Petroleum Society of CIM, 1982.
9. Souto, E., Bazin, B. and Sardin. M.: "Ion exchange between hydrogen and homoionic brines related to permeability reduction", SPE paper 25203, Proceeding of SPE Intl. Symposium on Oilfield Chemistry, New Orleans, LA, March 2-5, 1993, 491-500.
10. Porter, K.E.: "An overview of formation damage", J. of Pet. Tech., August 1989, 780-786.
11. Keelan, D.K. and Koepf, E.H.: "The role of cores and core analysis in evaluation of formation damage", J. of Pet. Tech., May 1977, 482-490.
12. Zhang, N.S., Somerville, J.M. and Todd, A.C.: "An experimental investigation of the formation damage caused by produced oily water injection", SPE paper 26702, Proceeding of Offshore European Conference, Aberdeen, 7-10 September 1993, 265-274.

13. Eleri, O.O. and Ursin, J.R.: "Physical aspects of formation damage in linear flooding experiments", SPE paper 23784, Proceeding of SPE Intl. Symposium on Formation Damage Control, Lafayette, Louisiana, February 26-27, 1992, 179-193.
14. Bennion, D.B., Thomas, F.B. and Bennion, D.W., : "Effective laboratory coreflood tests to evaluate and minimize formation damage in horizontal wells", presented at the Third International Conference on Horizontal Well Technology, November 12-14, 1991, Houston, TX, 1991.
15. Bennion, D.B., Cimolai, M.P., Bietz, R.F. and Thomas, F.B. : "Reductions in the productivity of oil and gas reservoirs due to aqueous phase trapping". 1993.
16. Cimolai, M.P., Gies, R.M., Bennion, D.B. and Myres, D.L.: "Mitigating horizontal well formation damage in a low permeability conglomerate gas reservoir", presented at the SPE Gas Technology Symposium held in Calgary, AB, Canada, June 28-30, 1993.
17. Blauer, R.E. and Holcomb, D.C. : "Foam Fracturing-Application and History", Proc. 22<sup>nd</sup> Annual Southwestern Petroleum Short Course", Texas Tech U. Lubbock, (April 17-18, 1975), 85-90.
18. Coulter, G.R. and Homer, W.: "The effect of fluid pH and clays and resulting formation permeability", Proc. 22<sup>nd</sup> Annual Southwestern Petroleum Short Course, Texas Tech U., Lubbock, (April 17-18, 1975), 115-118.
19. Jones, F.O., Jr.: "Influence of chemical composition of water on clay blocking of permeability", JPT, (April, 1964) 441-446.
20. Hower, W.F.: "Influence of clays on the production of hydrocarbons", SPE Paper 4785, presented at 1974 SPE Symposium on Formation Damage Control, New Orleans, February 7-8, 1974.
21. Pang, S. and Sharma, M. M. : "A model for predicting injectivity decline in water injection wells", SPE Paper 28489, presented at SPE 69 th Annual Technical Conference and Exhibition, New Orleans, 25-28 September 1994, 275-290.



**EK - A**  
**DENEY VERİLERİ**

Alkali : NaOH+Saf su  
Petrol : Garzan

Alkali Konsantrasyonu (wt %)	Yüzey Gerilimi IFT, (dynes/cm)
0.1	23.1
0.2	21.8
0.3	20.0
0.4	17.0
0.5	18.1
0.6	19.6
0.7	21.0
0.8	20.8
0.9	20.7

Alkali :NaOH+20000 ppm Tuzlu su  
Petrol : Garzan

Alkali Konsantrasyonu (wt %)	Yüzey Gerilimi IFT, (dynes/cm)
0.1	21.5
0.2	18.0
0.3	15.0
0.4	13.3
0.5	14.4
0.6	15.6
0.7	16.9
0.8	18.5
0.9	19.1

Alkali : NaOH+40000 ppm Tuzlu su  
Petrol : Garzan

Alkali Konsantrasyonu (wt %)	Yüzey Gerilimi IFT, (dynes/cm)
0.1	19.6
0.2	17.8
0.3	17.4
0.4	16.8
0.5	14.7
0.6	11.3
0.7	14.2
0.8	17.2
0.9	17.8
1.0	18.5

Alkali : NaSiO<sub>4</sub>+Saf su  
Petrol : Garzan

Alkali Konsantrasyonu (wt %)	Yüzey Gerilimi IFT, (dynes/cm)
3.0	20.5
4.0	16.1
4.5	7.8
5.0	6.7
5.5	18.0
6.0	17.8

Alkali : NaSiO<sub>4</sub>+20000 ppm Tuzlu su  
Petrol : Garzan

Alkali Konsantrasyonu (wt %)	Yüzey Gerilimi IFT, (dynes/cm)
0.7	19.1
1.0	8.4
1.2	12.4
1.5	18.3
2.0	19.0
2.5	18.9

Alkali : NaSiO<sub>4</sub>+40000 ppm Tuzlu su  
Petrol : Garzan

Alkali Konsantrasyonu (wt %)	Yüzey Gerilimi IFT, (dynes/cm)
0.1	34.7
0.3	29.3
0.5	15.0
0.6	20.0
0.8	18.1
1.0	19.8
1.5	26.8

Deney : WFIUC

Deney tipi : Su Ötelemesi

Alkali :

Enjeksiyon suyu tuzululuğu : 40000 ppm

Enjeksiyon debisi : 200 ml/saat

Alkali konsantrasyonu :

Petrol : Garzan

Zaman (dak)	Enj. Basıncı (kPa)	Petrol (ml)	Su (ml)	Petrol Üretimi (% OYP)	Enjekte Edilen Hacim G.H.
0	116				
5	122				
10	136				
15	119				
20	110				
25	108	76	0	17.88	0.15
30	109				
35	122				
40	132				
45	94	130	13	30.59	0.27
50	96				
55	143				
60	109	141	50	33.18	0.36
72	65	153	93	36	0.43
75	39				
80	53	160	127	37.65	0.48
85	59				
90	46	169	171	39.76	0.54
95	45				
100	46				
105	32	177	221	41.53	0.63
110	31				
115	32				
120	36				
125	34				
130	39	191	275	44.82	0.78
135	38				
140	47				
145	29	195	337	45.88	0.87
150	28				
160	53				
165	60				

170	48				
175	38	204	418	48	1.05
180	34				
185	32				
190	32				
195	32	210	485	49.41	1.17
205	43				
210	46				
215	53				
220	56				
225	60	214	570	50.35	1.35
235	46				
240	60				
245	67				
250	69				
255	51	217	667	51.06	1.53
259	51				
264	30				
269	24				
274	26	223	747	52.47	1.64
279	24				
284	23				
289	25				
294	24				
299	29				
304	32	228	822	53.65	1.82
314	53				
319	53				
326	19	229	914	53.88	1.96
334	17				
339	17				
324	75				
344	15	234	1002	55.06	2.07
349	11				
354	10				
359	11	237	1068	55.76	2.16

Deney : WF2UC

Deney tipi : Alkali Ötelemesi

Alkali : NaOH

Enjeksiyon suyu tuzululuğu : 40000 ppm

Enjeksiyon debisi : 200 ml/saat

Alkali konsantrasyonu : 0.6 %wt

Petrol : Garzan

Zaman (dak)	Enj. Basıncı (kPa)	Petrol (ml)	Su (ml)	Petrol Üretimi (% OYP)	Enjekte Edilen Hacim G.H.
0	73				
5	82				
10	94				
15	121				
20	95				
25	87	65	1	15.29	0.15
30	82				
35	80				
40	81				
45	96				
50	108	132	2	31.06	0.30
55	109				
60	121				
65	97	162	25	38.12	0.39
70	108				
75	115				
80	121	172	56	40.47	0.48
85	114				
90	142				
95	117	179	96	42.12	0.57
100	122				
105	130				
110	101	185	147	43.53	0.66
115	57	188	180	44.24	0.69
120	48	198	243	46.59	0.72
125	44				
130	44				
135	45	207	309	48.71	0.81
140	89				
150	151	215	364	50.59	0.90
155	140				
160	51	225	464	52.94	0.96

165	79				
170	78	232	517	54.59	1.05
175	78				
180	39	242	572	56.82	1.11
185	30				
190	45				
195	32	249	614	58.59	1.20
200	33				
205	41				
209	44				
214	45				
219	7				
224	7				
229	8				
234	8				
239	8	260	665	61.18	1.46
244	9				
249	22				
254	18				
259	25				
264	22	270	743	63.53	1.61
269	14				
274	8				
279	8				
284	8	277	808	65.18	1.73
289	9				
294	9				
299	15				
304	9				
309	8	283	882	66.59	1.88

Deney : WF3UC  
Deney tipi : Alkali Ötelemesi  
Alkali : NaOH  
Enjeksiyon suyu tuzululuğu : 20000 ppm  
Enjeksiyon debisi : 200 ml/saat  
Alkali konsantrasyonu : 0.4 %wt  
Petrol : Garzan

Zaman (dak)	Enj. Basıncı (kPa)	Petrol (ml)	Su (ml)	Petrol Üretimi (% OYP)	Enjekte Edilen Hacim G.H.
0	137				
5	145				
10	150				
15	117				
20	113				
25	111	72	0	14.7	0.15
30	110				
35	114				
40	113				
45	122	131	0	26.7	0.27
50	130				
55	159				
60	166				
65	104	151	43	30.8	0.39
70	107				
75	85				
80	84	163	84	33.1	0.48
85	144				
90	95				
95	98				
100	133	171	126	34.7	0.60
108	79	176	176	35.7	0.65
114	41				
119	42				
124	41				
129	44	179	228	36.4	0.77
134	46				
139	45				
144	33	182	285	37.1	0.86
149	40				
154	42				
159	44				



161	49				
164	68				
169	64	187	340	38.1	1.01
179	45				
184	75				
189	112	191	409	38.9	1.10
194	92				
199	74				
204	95				
209	105	196	476	39.9	1.22
214	68				
219	78				
224	88				
229	88	201	546	40.9	1.34
234	79				
239	108				
244	142				
249	101				
254	210	205	604	41.8	1.49
259	106				
264	100				
269	213				
274	136	208	658	42.4	1.61
279	184				
284	85				
289	160				
294	66	213	728	43.3	1.73
299	123				
314	65	219	780	44.5	1.79
319	64				
324	116				
329	83				
334	105	223	862	45.4	1.91
344	119				
354	67				
359	123	228	941	46.4	2.10
364	94				
369	64				
374	67				
379	68	234	1004	47.7	2.22

Deney : WF4UC

Deney tipi : Alkali Ötelemesi

Alkali : NaOH

Enjeksiyon suyu tuzululuğu : Saf su

Enjeksiyon debisi : 200 ml/saat

Alkali konsantrasyonu : 0.4 %wt

Petrol : Garzan

Zaman (dak)	Enj. Basıncı (kPa)	Petrol (ml)	Su (ml)	Petrol Üretimi (% OYP)	Enjekte Edilen Hacim G.H.
0	89				
5	101				
10	101				
15	107				
20	100	77	1	22.19	0.12
25	101				
30	107				
35	122	126	6	36.31	0.21
40	121				
45	93				
50	135				
55	121				
60	121	145	58	41.79	0.36
65	107				
70	112	150	99	43.23	0.42
75	86				
80	114				
85	98	154	147	44.38	0.51
90	72				
95	63				
98	100				
103	52	161	196	46.4	0.62
108	8				
115	14				
120	15				
125	17				
130	18	169	243	48.7	0.77
135	15				
140	15				
145	17				
150	15	173	305	49.86	0.89
155	16				

160	16				
165	17				
170	17	179	357	51.44	1.01
175	18				
180	115				
185	134				
190	116	182	418	52.31	1.13
195	115				
200	120				
205	128	185	470	53.17	1.22
210	148				
215	107				
220	127	188	526	54.18	1.31
230	79				
235	77				
240	95	192	588	55.33	1.4
245	107				
250	86				
259	87	197	653	56.77	1.48
264	134				
269	73				
274	72				
279	77	201	725	57.93	1.6
284	74				
289	59				
294	65				
299	93				
304	91	206	792	59.22	1.75
309	83				
314	81				
319	84				
324	94	210	866	60.37	1.87
329	88				
334	58				
339	66				
344	88				
349	100				
354	107	212	935	60.95	2.05

Deney : WF5UC

Deney tipi : Alkali Ötelemesi

Alkali : NaSiO<sub>4</sub>

Enjeksiyon suyu tuzululuğu : 40000 ppm

Enjeksiyon debisi : 200 ml/saat

Alkali konsantrasyonu : 0.5 %wt

Petrol : Garzan

Zaman (dak)	Enj. Basıncı (kPa)	Petrol (ml)	Su (ml)	Petrol Üretimi (% OYP)	Enjekte Edilen Hacim G.H.
0	136				
10	152				
20	158				
30	110	94.5	0	19.89	0.18
35	111				
40	128				
45	172	134.5	15	28.32	0.27
50	192				
55	96				
60	144				
65	147	146.5	56	30.84	0.39
70	171				
75	116				
80	89	157.5	106	33.16	0.48
90	138				
95	114				
100	82	167.5	161	35.26	0.60
112	119				
117	102				
122	88				
137	146				
142	123	183.5	234	38.63	0.85
147	171				
157	81				
162	92				
167	56	192.5	310	40.53	1.00
172	144				
182	88	197	380.5	41.47	1.09
197	151				
202	81				
207	135				
212	102	202.5	441.5	42.63	1.27
217	240				

222	109				
232	109				
237	157	207	513.5	43.58	1.42
247	54				
252	73				
262	68	210	582.5	44.21	1.60
272	67				
277	105				
282	140				
292	60	215	657.5	45.26	1.78
302	94				
312	116	217	725.5	45.68	1.90
322	65				
332	185				
342	157	222	793.5	46.74	2.08
352	190				
362	88	223	868.5	46.95	2.20
372	88	225	929.5	47.37	2.26

Deney : WF6UC

Deney tipi : Alkali Ötelemesi

Alkali : NaSiO<sub>4</sub>

Enjeksiyon suyu tuzululuğu : 20000 ppm

Enjeksiyon debisi : 200 ml/saat

Alkali konsantrasyonu : 1.0 %wt

Petrol : Garzan

Zaman (dak)	Enj. Basıncı (kPa)	Petrol (ml)	Su (ml)	Petrol Üretimi (% OYP)	Enjekte Edilen Hacim G.H.
0	132				
4	123				
10	113				
15	122				
20	132				
30	130				
40	162	85	0		
47	151				
50	135	125	18	18.89	0.24
55	125				
60	186				
65	137	141	64	27.78	0.28
70	166				
75	211				
80	105	152	110	31.33	0.39
85	137				
90	106				
95	117				
100	158	163	161	33.78	0.48
108	156				
118	150				
123	134	171.5	229.5	36.22	0.60
133	131				
138	164				
143	172	179	282.5	38.11	0.74
148	143				
153	179				
158	154				
163	124	186	351.5	39.78	0.86
173	176				
178	131				
183	162				
188	196	193	420.5	41.33	0.98

193	146				
198	146				
203	135				
208	118	196	482.5	42.89	1.13
213	180				
218	104				
223	156	201	545.5	43.56	1.25
228	83				
238	175				
243	108	208	614.5	44.67	1.34
248	109				
253	131				
257	136				
262	88				
267	154				
272	158	219	679.5	46.22	1.46
277	163				
282	205				
287	146				
292	172				
297	177	223.5	759.5	48.67	1.63
302	155				
307	152				
312	217				
317	177	226.5	832.5	49.67	1.78
322	139				
327	254				
337	130				
342	140				
347	154	230.5	910.5	50.33	1.90
352	222				
357	172				
362	250	232.5	969.5	51.22	2.08

Deney : WF7UC

Deney tipi : Alkali Ötelemesi

Alkali : NaSiO<sub>4</sub>

Enjeksiyon suyu tuzululuğu : Saf su

Enjeksiyon debisi : 200 ml/saat

Alkali konsantrasyonu : 5.0 %wt

Petrol : Garzan

Zaman (dak)	Enj. Basıncı (kPa)	Petrol (ml)	Su (ml)	Petrol Üretimi (% OYP)	Enjekte Edilen Hacim G.H.
0	132				
5	123				
12	113				
20	122				
25	132				
30	130	85	0	17.78	0.18
35	162				
40	151				
50	135	128	12	26.78	0.33
55	125				
60	186				
65	137				
70	166	142	60	29.71	0.45
80	211				
85	105	154	105	32.22	0.54
90	137				
95	106				
100	117	162.5	139	34.00	0.63
107	158				
112	156				
117	150				
122	134				
127	131	171.5	207	35.88	0.79
132	164				
137	172				
142	143				
147	179				
152	154	179.5	277	37.55	0.94
162	124				
172	176				
180	131	187	353.5	39.12	1.11
187	162				
197	196				



202	146	192	425.5	40.17	1.24
212	146				
217	135				
227	118	199	511.5	41.63	1.39
237	180				
242	104				
247	156				
250	83	203	574.5	42.47	1.53
260	175				
265	108				
275	109				
280	131	209	669.5	43.72	1.70
293	136				
294	88				
299	154				
304	158	213.5	737.5	44.67	1.85
309	163				
314	205				
319	146				
324	172				
334	177	219.5	815.5	45.92	2.03
339	155				
349	152				
354	217	222	901	46.44	2.15
364	177				
369	139	225.5	948.5	47.18	2.24

Deney : WF8UC

Deney tipi : Alkali Ötelemesi

Alkali : NaSiO<sub>4</sub>

Enjeksiyon suyu tuzululuğu : 20000 ppm

Enjeksiyon debisi : 200 ml/saat

Alkali konsantrasyonu : 1.0 %wt

Zaman (dak)	Enj. Basıncı (kPa)	Petrol (ml)	Su (ml)	Petrol Üretimi (% OYP)	Enjekte Edilen Hacim G.H.
0	56				
10	58				
20	58				
30	58		72		0.18
40	59				
50	59				
60	63		141		0.36
70	65				
80	65				
90	71		210		0.54
100	72				
112	70				
117	71		272		0.70
127	71				
137	71				
147	70		350		0.88
157	64				
167	63				
177	59		430		1.06
187	59				
197	58				
207	57		506		1.24
217	58				
227	57				
237	62		581		1.42
247	64				
260	64		636		1.56
275	65				
290	64		713		1.74
300	58				
310	59				
320	57		800		1.92
332	56				

342	50				
352	50		885		2.11
365	50				
375	50				
380	51		960		2.11
395	51				
401	51		1021		2.28

Deney : WF2UC  
Deney tipi : Alkali Ötelemesi  
Alkali : NaOH  
Enjeksiyon suyu tuzluluğu : 40000 ppm  
Enjeksiyon debisi : 200 ml/saat  
Alkali konsantrasyonu : 0.6 %wt  
Petrol : Garzan

Zaman (dak)	Enjekte edilen hacim (G.H.)	pH	C/C <sub>o</sub>
95	0.57	8.23	5.69x10 <sup>-5</sup>
115	0.69	12.11	0.175
135	0.81	12.73	0.629
160	0.96	12.76	0.673
180	1.11	12.79	0.713
239	1.46	12.84	0.801
284	1.73	12.84	0.801

Deney : WF3UC  
Deney tipi : Alkali Ötelemesi  
Alkali : NaOH  
Enjeksiyon suyu tuzluluğu : 20000 ppm  
Enjeksiyon debisi : 200 ml/saat  
Alkali konsantrasyonu : 0.4 %wt  
Petrol : Garzan

Zaman (dak)	Enjekte edilen Hacim (G.H.)	pH	C/C <sub>o</sub>
100	0.6	8.92	0.000118
129	0.77	9.26	0.000903
169	1.01	11.83	0.13
209	1.22	12.45	0.431
254	1.49	12.72	0.731
294	1.73	12.77	0.809
334	1.91	12.83	0.901
379	2.22	12.87	0.972

Deney : WF4UC

Deney tipi : Alkali Ötelemesi

Alkali : NaOH

Enjeksiyon suyu tuzluluğu : Saf su

Enjeksiyon debisi : 200 ml/saat

Alkali konsantrasyonu : 0.4 %wt

Petrol : Garzan

Zaman (dak)	Enjekte edilen Hacim (G.H.)	pH	C/C <sub>o</sub>
140	0.83	9.58	0.00175
189	1.13	11.30	0.04733
229	1.39	12.32	0.3342
269	1.54	12.47	0.444
314	1.81	12.57	0.543
354	2.05	12.64	0.614
394	2.29	12.69	0.679
439	2.53	12.71	0.703

DENEY : WF5UC

Deney tipi : Alkali Ötelemesi

Alkali : NaSiO<sub>4</sub>

Enjeksiyon suyu tuzluluğu : 40000 ppm

Enjeksiyon debisi : 200 ml/saat

Alkali konsantrasyonu : 0.5 %wt

Petrol : Garzan

Zaman (dak)	Enjekte edilen Hacim (G.H.)	pH	C/C <sub>o</sub>
65	0.39	7.75	0.000130
142	0.85	7.36	3.14x10 <sup>-5</sup>
167	1.00	7.52	5.52x10 <sup>-5</sup>
212	1.27	8.28	0.00091
262	1.60	8.88	0.00822
312	1.90	9.36	0.0486
362	2.20	9.58	0.108
372	2.26	9.68	0.152

Deney : WF6UC

Deney tipi : Alkali Ötelemesi

Alkali : NaSiO<sub>4</sub>

Enjeksiyon suyu tuzluluğu : 20000 ppm

Enjeksiyon debisi : 200 ml/saat

Alkali konsantrasyonu : 1.0 %wt

Petrol : Garzan

Zaman (dak)	Enjekte edilen Hacim (G.H.)	pH	C/C <sub>o</sub>
100	0.48	7.73	0.00385
143	0.74	9.49	0.00367
188	0.98	9.49	0.0331
223	1.25	9.74	0.146
272	1.46	10.04	0.244
317	1.78	10.29	0.457
362	2.08	10.41	0.769

Deney : WF7UC

Deney tipi : Alkali Ötelemesi

Alkali : NaSiO<sub>4</sub>

Enjeksiyon suyu tuzluluğu : Saf su

Enjeksiyon debisi : 200 ml/saat

Alkali konsantrasyonu : 5.0 %wt

Petrol : Garzan

Zaman (dak)	Enjekte edilen Hacim (G.H.)	pH	C/C <sub>o</sub>
70	0.45	8.80	0.000231
100	0.63	10.86	0.160
152	0.94	11.17	0.426
202	1.24	11.29	0.635
250	1.53	11.36	0.782
304	1.85	11.39	0.863
354	2.15	11.42	0.946

Deney : 1UC

Deney tipi : Su Ötelemesi

Enjeksiyon suyu tuzluluğu : 5000 ppm

Enjeksiyon debisi : 200 ml/saat

Zaman (dak)	$\Delta P$ (kPa)	Enjekte Edilen Hacim (G.H.)	Cl Konsantrasyonu (ppm)
0	1.21	0	
9	1.62	0.054	
15	1.59	0.091	18.6
20	1.59	0.12	
25	1.62	0.15	
30	1.62	0.18	19.4
35	1.62	0.21	
40	1.62	0.24	
45	1.62	0.27	17.1
55	1.62	0.33	
60	1.62	0.36	13.4
65	1.65	0.39	
70	1.65	0.42	
75	1.65	0.45	10.5
80	1.62	0.48	
85	1.62	0.52	
90	1.59	0.55	8.74
95	1.59	0.57	
100	1.59	0.61	
105	1.59	0.64	10.7
108	1.59	0.65	
128	1.41	0.78	
129	1.52	0.78	
130	1.59	0.79	
135	1.59	0.82	
140	1.59	0.85	65.3
145	1.62	0.88	
150	1.62	0.91	
155	1.59	0.94	500
160	1.59	0.97	
165	1.59	0.999	1200
170	1.59	1.03	
175	1.59	1.06	
181	1.59	1.097	1750
185	1.59	1.12	
190	1.55	1.15	2140
195	1.59	1.18	2460

200	1.59	1.21	
210	1.59	1.27	
215	1.59	1.30	2480
231	1.28	1.40	
232	1.48	1.41	
233	1.55	1.41	
235	1.52	1.42	
239	1.90	1.45	
240	1.93	1.45	
244	2.03	1.478	
245	2.17	1.4847	2650
246	1.79	1.49	
247	1.69	1.50	
250	1.65	1.515	
255	1.65	1.545	
260	1.69	1.576	2700
265	1.65	1.606	
270	1.65	1.636	
275	1.65	1.667	2720
290	1.65	1.757	2760
300	1.65	1.818	
305	1.69	1.848	2820
310	1.69	1.879	
320	1.65	1.939	2900
335	1.65	2.03	2920
341	1.62	2.066	
350	1.59	2.121	2970



Deney : 2UC

Deney tipi : Su Ötelemesi

Enjeksiyon suyu tuzluluğu : 10000 ppm

Enjeksiyon debisi : 200 ml/saat

Zaman (dak)	$\Delta P$ (kPa)	Enjekte Edilen Hacim (G.H.)	Cl Konsantrasyonu (ppm)
0	1.10	0	
1	1.34	0.00606	
5	1.275	0.0303	
10	1.689	0.0606	
15	1.758	0.0909	
20	1.792	0.1212	163
25	1.31	0.1515	
28	1.482	0.1697	
30	1.447	0.1818	
32	1.447	0.1939	
35	1.138	0.2121	
38	1.275	0.2303	
40	1.275	0.2424	
45	1.275	0.2727	130
50	1.379	0.303	
56	1.344	0.339	
60	1.344	0.3636	120
65	1.31	0.3939	
70	1.31	0.4242	
75	1.31	0.4545	110
80	1.31	0.4848	
85	1.31	0.5151	
95	1.31	0.5757	103
100	1.31	0.606	
105	1.275	0.6363	
112	1.275	0.6787	90
125	1.275	0.7575	78.4
130	1.275	0.7878	
135	1.31	0.8181	
140	1.31	0.8484	106
150	1.344	0.909	
154	0.965	0.933	842
158	0.965	0.957	
161	1.655	0.97566	
166	1.413	1.00596	
170	1.482	1.0302	
175	1.482	1.0605	2150

180	1.482	1.0908	
190	1.482	1.1514	3160
210	1.482	1.2726	3810
215	1.482	1.3029	
225	1.482	1.3635	4160
230	1.448	1.3938	
240	1.448	1.4544	4390
245	1.448	1.4847	
257	1.448	1.5574	4590
265	1.448	1.6059	
270	1.448	1.6362	
280	1.448	1.6968	4570
288	0.965	1.7453	
297	1.517	1.7998	
302	1.758	1.8301	
310	1.861	1.8786	4680
315	1.861	1.9089	
320	1.344	1.9392	
325	1.379	1.9695	4800
335	1.379	2.0301	
345	1.344	2.0907	4970
360	1.344	2.1816	4950
370	1.344	2.2422	
385	1.344	2.3331	5140
400	1.344	2.424	
410	1.310	2.4846	5140

Deney : 3UC

Deney tipi : Su Ötelemesi

Enjeksiyon suyu tuzluluğu : 20000 ppm

Enjeksiyon debisi : 200 ml/saat

Zaman (dak)	$\Delta P$ (kPa)	Enjekte Edilen Hacim (G.H.)	Cl Konsantrasyonu (ppm)
0	1.9303	0	
2	1.9303	0.012	
6	1.861	0.0364	
10	1.896	0.0606	
15	1.724	0.0909	
19	1.724	0.115	
20	1.31	0.1212	78.6
25	1.31	0.1515	
31	1.31	0.1879	
35	1.482	0.2121	
40	1.447	0.2424	
50	1.482	0.303	87.1
60	1.482	0.3636	
65	1.482	0.3939	103
75	1.447	0.4545	
80	1.482	0.4848	93.1
95	1.482	0.5757	86.1
110	1.482	0.6666	77.3
125	1.447	0.7575	64.4
140	1.447	0.8484	211
152	0.965	0.9211	680
160	0.965	0.9696	
166	2.172	1.006	
170	2.0682	1.0302	
186	1.551	1.127	1040
197	1.551	1.194	
202	1.551	1.224	1320
217	1.551	1.315	1540
232	1.551	1.406	1650
247	1.517	1.497	1720
262	1.517	1.588	1770
277	1.517	1.679	1830
292	1.517	1.7695	1850
307	1.517	1.8604	1890
312	0.965	1.8907	
317	0.965	1.921	
335	1.586	2.0301	1900

350	1.551	2.121	1950
365	1.551	2.2119	1970
380	1.551	2.3028	1990
395	1.551	2.3937	2020
410	1.551	2.4846	2020

Deney : 4UC

Deney tipi : Su Ötelemesi

Enjeksiyon suyu tuzluluğu : 30000 ppm

Enjeksiyon debisi : 200 ml/saat

Zaman (dak)	$\Delta P$ (kPa)	Enjekte Edilen Hacim (G.H.)	Cl Konsantrasyonu (ppm)
0	1.069	0	
8	1.62	0.04848	
18	1.344	0.10908	106
33	1.31	0.19998	
43	1.275	0.266058	107
48	1.275	0.29088	
58	1.241	0.35148	114
68	1.241	0.41208	
73	1.241	0.44238	110
83	1.241	0.50298	
88	1.241	0.533	102
103	1.241	0.624	97
118	1.241	0.715	96
133	1.241	0.806	318
148	1.241	0.897	1060
154	1.482	0.933	
173	1.206	1.04838	
183	1.241	1.10898	1510
193	1.275	1.16958	
208	1.31	1.26048	1870
223	1.31	1.35138	2220
238	1.31	1.44228	2380
248	1.31	1.50288	
253	1.31	1.53318	2530
268	1.31	1.62408	2630
283	1.31	1.71498	2670
298	1.31	1.806	2680
308	1.31	1.866	2760
316	1.31	1.915	
344	1.31	2.085	2780
359	1.31	2.176	2860
374	1.31	2.266	2940
396	1.31	2.400	2980

Deney : 5UC

Deney tipi : Su Ötelemesi

Enjeksiyon suyu tuzluluğu : 40000 ppm

Enjeksiyon debisi : 200 ml/saat

Zaman (dak)	$\Delta P$ (kPa)	Enjekte Edilen Hacim (G.H.)	Cl Konsantrasyonu (ppm)
0	1.1375	0	
10	1.586	0.0605	
20	1.3788	0.121	
30	1.206	0.182	
35	1.172	0.212	79.7
45	1.206	0.272	
50	1.206	0.303	78.3
60	1.206	0.363	
65	1.206	0.393	70.5
80	1.206	0.484	59.6
95	1.241	0.575	53.1
110	1.275	0.666	42
125	1.275	0.757	39.6
140	1.275	0.848	681
150	1.275	0.908	2110
160	1.413	0.968	
180	1.3788	1.0898	3270
195	1.3788	1.1806	4450
210	1.344	1.271	5260
225	1.344	1.3623	5730
240	1.344	1.453	6250
255	1.344	1.5439	6650
270	1.344	1.6347	6650
285	1.344	1.7255	6520
295	1.344	1.786	6910
325	1.344	1.9677	7050
340	1.344	2.058	7290
355	1.344	2.149	7460
370	1.344	2.240	7640
385	1.344	2.331	7830
400	1.344	2.422	7830

Deney : 1C

Deney tipi : Su Ötelemesi

Enjeksiyon suyu tuzluluğu : 20000 ppm

Ötelenen su tuzluluğu : 10000 ppm

Enjeksiyon debisi : 15 ml/saat

Zaman (dak)	$\Delta P$ (kPa)	Enjekte Edilen Hacim (G.H.)
0	1.999	0
6	6.825	0.0296
8	8.204	0.0395
10	9.583	0.0493
11	10.617	0.0543
14	11.996	0.0691
15	12.340	0.0740
16	12.685	0.0789
17	13.03	0.0839
18	13.374	0.0888
21	14.064	0.1036
22	14.064	0.1085
23	14.064	0.1135
25	14.408	0.1233
26	14.408	0.1282
28	14.753	0.1381
30	14.753	0.1480
34	14.753	0.1678
35	14.753	0.1727
38	15.098	0.1875
40	15.098	0.1974
42	15.098	0.2072
45	15.098	0.2220
46	15.098	0.2270
50	15.098	0.2467
51	15.098	0.2516
54	15.098	0.2664
58	15.098	0.2862
62	15.098	0.3059
66	15.098	0.3256
70	15.098	0.3454
74	15.098	0.3651
78	15.098	0.3848
82	15.098	0.4046
86	15.098	0.4243
90	15.098	0.4441

94	15.098	0.4638
98	15.098	0.4835
102	15.098	0.5033



Deney : 2C

Deney tipi : Su Ötelemesi

Enjeksiyon suyu tuzluluğu : Saf su

Ötelenen su tuzluluğu : 20000 ppm

Enjeksiyon debisi : 15 ml/saat

Zaman (dak)	$\Delta P$ (kPa)	Enjekte Edilen Hacim (G.H.)
0	0.965	0
4	3.378	0.01974
5	4.412	0.0247
6	5.446	0.0296
7	6.480	0.0345
8	7.859	0.0395
9	8.893	0.0444
10	10.272	0.0493
11	10.617	0.0543
12	10.961	0.0592
14	11.306	0.0691
16	11.306	0.0789
18	11.651	0.0888
19	11.651	0.0937
23	11.996	0.1135
28	12.340	0.1381
33	12.340	0.1628
37	12.340	0.1826
42	11.996	0.2072
46	11.858	0.227
49	11.961	0.242
52	11.823	0.257
53	11.754	0.261
56	11.651	0.276
58	11.651	0.286
62	11.582	0.306
63	11.547	0.311
68	11.479	0.336
73	11.410	0.360
78	11.375	0.385
83	11.375	0.410
87	11.375	0.429
92	11.341	0.454
97	11.341	0.479
102	11.410	0.503
105	11.444	0.518

107	11.479	0.528
112	11.582	0.553
117	11.651	0.577
122	11.961	0.602
127	12.547	0.626
129	12.823	0.636
131	13.236	0.646
132	13.753	0.651
134	14.098	0.661
135	14.443	0.666
136	14.822	0.671
137	15.236	0.676
138	16.097	0.681
140	16.821	0.691
142	17.959	0.701
143	18.648	0.706
144	19.441	0.710
145	20.268	0.715
146	21.199	0.720
147	22.130	0.725
148	23.164	0.730
149	24.267	0.735
150	25.439	0.740
151	26.714	0.745
152	28.093	0.750
153	29.368	0.755
154	31.023	0.760
155	32.609	0.765
156	34.263	0.770
157	35.987	0.775
158	37.883	0.780
159	39.847	0.784
160	42.088	0.789
161	44.811	0.794
162	46.948	0.799
163	49.602	0.804
164	52.498	0.809
165	55.186	0.814
166	58.185	0.819
167	61.391	0.824
169	68.388	0.834
170	72.180	0.839
172	80.763	0.849
173	85.658	0.854
174	90.587	0.858

176	101.032	0.868
177	106.788	0.873
179	120.473	0.883
181	128.676	0.893
182	135.122	0.898
184	147.669	0.908
187	166.249	0.923
189	177.934	0.933
191	190.205	0.942

Deney : 3C

Deney tipi : Su Ötelemesi

Enjeksiyon suyu tuzluluğu : 10000 ppm

Ötelenen su tuzluluğu : 5000 ppm

Enjeksiyon debisi : 15 ml/saat

Zaman (dak)	$\Delta P$ (kPa)	Enjekte Edilen Hacim (G.H.)
0	3.033	0
3	20.268	0.0989
5	38.537	0.165
7	44.053	0.231
10	54.394	0.330
11	55.772	0.363
12	56.807	0.396
13	57.496	0.428
14	57.841	0.461
15	58.530	0.494
16	59.219	0.527
17	59.564	0.561
18	59.909	0.593
19	59.909	0.626
20	60.254	0.659
21	60.598	0.692
22	60.943	0.725
23	60.943	0.758
24	61.288	0.791
25	61.288	0.824
26	61.632	0.857
27	61.632	0.890
30	45.431	0.989
31	52.670	1.022
32	58.185	1.055
33	60.254	1.088
34	61.288	1.121
35	61.632	1.154
36	61.977	1.187
37	61.977	1.219
38	62.322	1.252
40	62.322	1.318
41	62.322	1.351
42	62.322	1.384
43	62.322	1.417
44	62.322	1.450

45	62.322	1.483
46	62.322	1.516
47	62.322	1.549
48	62.322	1.582
49	62.322	1.615
50	62.322	1.648

Deney: BFUC1

Deney tipi : Tuzlu Su Ötelemesi

Enjeksiyon suyu tuzluluğu : 10000 ppm

Enejsiyon debisi : 200 ml/saat

Petrol : Garzan

Zaman (dak)	$\Delta P$ (kPA)	Petrol (ml)	Su (ml)	Petrol Üretimi (% OYP)	Enjekte Edilen Hacim G.H.
0	0	0	0	0	0.00
10	0.55				0.06
25	0.55				0.15
40	0.69				0.24
50	5.51				0.30
60	2.34	2.0	63	0.45	0.36
70	3.17				0.42
80	4.55	8.0	122	1.82	0.48
90	5.24				0.55
100	4.96	20.0	174	4.55	0.61
110	4.69				0.67
120	5.65	35.0	235	7.95	0.73
130	4.69				0.79
140	3.58	49.0	304	11.14	0.85
161	3.58	58.0	359	13.18	0.98
171	3.17				1.04
181	2.48	69.0	424	15.68	1.04
191	2.76				1.10
201	3.45	80.0	496	18.18	1.16
211	4.27				1.22
221	4.83	90.0	582	20.45	1.28
231	1.93				1.34
241	1.38				1.40
251	0.97	93.0	647	21.14	1.46
261	3.17				1.52
271	3.17	95.0	710	21.59	1.58
281	2.76				1.64
291	3.31	97.0	772.5	22.05	1.70
301	2.48				1.76
311	2.62	101.0	841.5	22.95	1.82
321	2.62				1.88
331	2.48	104.5	910.0	23.75	1.95
341	2.21				2.01
351	2.9	107.5	975.0	24.43	2.07

365	3.03				2.13
375	2.07	111.5	1032.0	25.34	2.21
385	0.00				2.27
395	0.00				2.33
405	0.55				2.39
415	2.07	116.5	1085.0	26.48	2.45
425	2.07				2.52
435	1.79	120.5	1148.0	27.39	2.58
445	1.1				2.64
455	1.38	124.5	1216.0	28.30	2.70
465	1.24				2.76
482	1.10	129.0	1302.5	29.32	2.82

Deney: BFUC2

Deney tipi : Tuzlu Su Ötelemesi

Enjeksiyon suyu tuzluluğu : 20000 ppm

Enejsiyon debisi : 200 ml/saat

Petrol : Garzan

Zaman (dak)	$\Delta P$ (kPA)	Petrol (ml)	Su (ml)	Petrol Üretimi (% OYP)	Enjekte Edilen Hacim G.H.
0	0.00	0	0	0	0
10	3.03				0.06
20	2.90				0.12
30	4.55				0.18
33	5.79				0.20
40	6.34				0.24
50	8.96				0.30
55	11.30	0	0	0	0.33
60	10.06				0.36
70	13.92				0.42
80	15.72				0.48
90	12.82				0.55
100	12.96	50	30	11.36	0.61
110	10.20				0.67
120	9.37	72	104	16.36	0.73
130	8.55				0.79
148	8.41	82	160	18.64	0.90
158	8.00				0.96
168	7.31	93	249	21.14	1.02
178	7.44				1.08
188	7.72	100	311	22.73	1.14
198	7.44	103	341	23.41	1.20
208	7.72	105	373	23.86	1.26
218	7.58				1.32
228	7.58				1.38
238	7.17	114	465	25.91	1.44
248	7.31				1.50
258	7.03	119	528	27.05	1.56
268	6.76				1.62
278	6.62	121	585.5	27.50	1.68
288	5.38				1.75
298	4.69	125	648.5	28.41	1.81
308	4.41				1.87
318	4.14				1.93



328	4.00	130	741.5	29.55	1.99
338	4.55				2.05
348	4.55	134	813.5	30.45	2.11
358	4.83				2.17
368	4.69				2.23
378	4.69	138	901.5	31.36	2.29
388	3.86				2.35
398	4.41				2.41
410	4.83	142	1012.5	32.27	2.48
418	4.55	144	1041.5	32.73	2.53

Deney: BFUC3

Deney tipi : Tuzlu Su Ötelemesi

Enjeksiyon suyu tuzluluğu : 30000 ppm

Enjeksiyon debisi : 200 ml/saat

Petrol : Garzan

Zaman (dak)	$\Delta P$ (kPA)	Petrol (ml)	Su (ml)	Petrol Üretimi (% OYP)	Enjekte Edilen Hacim G.H.
0	0	0	0	0	0
5	0				0.03
15	0				0.09
30	0.41				0.18
40	1.65				0.24
50	1.65				0.30
60	3.17				0.36
70	3.72				0.42
75	4.83				0.45
80	4.14				0.48
85	4.55				0.52
90	3.03				0.55
95	4.96	0	0	0	0.58
100	2.34				0.61
105	1.79	39	62	8.86	0.64
110	0.97				0.67
115	1.93				0.70
120	2.48				0.73
130	1.52	53	139	12.05	0.79
140	2.21				0.85
150	1.79	62	211	14.09	0.91
159	1.52				0.96
174	2.21	68	277	15.45	1.05
184	1.38				1.12
194	1.79	73	340	16.59	1.18
204	1.52				1.24
214	0.97	78	406	17.73	1.30
224	0.97				1.36
234	0.69	83	466	18.86	1.42
244	0.97				1.48
254	1.24	88	528	20.00	1.54
264	0.69				1.60
274	0.97	91.5	592.5	20.80	1.66
285	0.97				1.73

294	0.97	95.5	657.5	21.70	1.78
304	0.97				1.84
314	0.97	99	724	22.50	1.90
324	0.97				1.96
334	0.97	103	788	23.41	2.02
344	0.83				2.08
354	0.97	106	853	24.09	2.15
369	0.97	109	902	24.77	2.24
384	0.83	111.5	952.5	25.34	2.33
393	0.97	113.5	982.5	25.80	2.38

Deney: BFUC4

Deney tipi : Tuzlu Su Ötelemesi

Enjeksiyon suyu tuzluluğu : 40000 ppm

Enjeksiyon debisi : 200 ml/saat

Petrol : Garzan

Zaman (dak)	$\Delta P$ (kPA)	Petrol (ml)	Su (ml)	Petrol Üretimi (% OYP)	Enjekte Edilen Hacim G.H.
0	0	0	0	0	0
19	1.93				0.12
29	3.58				0.18
39	4.27				0.24
49	2.76				0.30
59	3.17				0.36
69	5.79				0.42
79	11.99				0.48
89	14.61	0	0	0	0.54
99	18.75				0.60
109	18.06	26	72	5.91	0.66
119	13.79				0.72
129	17.51	33	128	7.50	0.78
139	23.30	39	183	8.86	0.84
149	18.75				0.90
159	17.78				0.96
163	17.78	47	263	10.68	0.99
173	17.37				1.05
183	16.96	53	329	12.05	1.11
189	17.23				1.15
199	15.85				1.21
209	16.27	58	413	13.18	1.27
219	16.96				1.33
229	17.51	63	480	14.32	1.39
239	17.37				1.45
249	16.82	66	547	15.00	1.51
257	14.48	67	576	15.23	1.56
267	13.79				1.62
277	14.20	73	641	16.59	1.68
287	15.30				1.74
297	15.58	76	707	17.27	1.80
307	15.58				1.86
317	15.58	79	772	17.95	1.92
327	15.30				1.98

337	15.03	80.5	838.5	18.30	2.04
347	15.44				2.10
357	15.72	83.5	905.5	18.98	2.16
367	15.16				2.22
377	15.85	86.5	971.5	19.66	2.28
387	15.72				2.35
388	15.72	91.5	1012.5	20.80	2.35

Deney: UCA1

Deney tipi : CaCl<sub>2</sub> Ötelemesi

Enjeksiyon suyu : 2 wt % CaCl<sub>2</sub>

Enejsiyon debisi : 200 ml/saat

Petrol : Garzan

Zaman (dak)	$\Delta P$ (kPA)	Petrol (ml)	Su (ml)	Petrol Üretimi (% OYP)	Enjekte Edilen Hacim G.H.
0	0.00	0	0	0	0.00
10	1.65				0.06
20	2.48				0.12
30	4.14				0.18
31	6.20	0	0	0	0.19
40	9.65				0.24
50	12.27				0.30
60	20.54				0.36
70	14.75				0.42
80	16.54	45	39	10.23	0.48
90	15.85				0.55
100	13.79	64	99	14.55	0.61
110	15.03				0.67
120	12.68				0.73
124	10.75	72	146	16.36	0.75
147	9.10	80	206	18.18	0.89
157	11.03				0.95
167	7.44	87	267	19.77	1.01
177	8.96				1.07
180	8.27	90	308	20.45	1.09
190	9.37				1.15
200	7.58				1.21
207	7.44	99	389	22.50	1.25
217	6.89				1.32
227	7.86				1.38
232	7.86	102	475	23.18	1.41
242	7.44				1.47
252	7.31				1.53
257	7.58				1.56
275	4.27				1.67
285	8.55				1.73
295	10.75	107	554	24.32	1.79
305	8.55				1.85
315	8.69	111	629	25.23	1.91

323	8.27				1.96
333	9.37	115	717	26.14	2.02
343	9.37				2.08
351	9.10	118	811	26.82	2.13
361	9.37				2.19
371	9.79	121	903	27.50	2.25
379	9.79				2.30
389	10.06				2.36
399	10.06				2.42
407	9.24	122	997	27.73	2.47

Deney: UCA2

Deney tipi : CaCl<sub>2</sub> Ötelemesi

Enjeksiyon suyu : 5 wt % CaCl<sub>2</sub>

Enejsiyon debisi : 200 ml/saat

Petrol : Garzan

Zaman (dak)	$\Delta P$ (kPA)	Petrol (ml)	Su (ml)	Petrol Üretimi (% OYP)	Enjekte Edilen Hacim G.H.
0	0.00	0	0	0.00	0.00
5	2.76				0.03
10	2.76				0.06
20	3.03				0.12
30	2.34				0.18
40	4.27				0.24
50	6.20	0	0	0.00	0.30
60	10.34				0.36
70	15.72				0.42
80	4.83	50	50	11.36	0.48
90	4.69				0.55
100	4.41	61	113	13.86	0.61
110	4.00	69	167	15.68	0.67
125	2.48				0.76
135	2.90	75	230	17.05	0.82
145	3.03				0.88
155	2.90	81	293	18.41	0.94
165	2.90				1.00
175	2.76	87	356	19.77	1.06
185	2.62				1.12
195	2.62	93	418	21.14	1.18
205	2.48				1.24
216	2.21	99	480	22.50	1.31
226	2.34				1.37
236	2.34				1.43
241	2.34	105	559	23.86	1.46
259	2.62				1.57
269	2.76	111	648	25.23	1.63
279	2.90				1.69
289	3.31	115	712	26.14	1.75
299	3.31				1.81
309	3.45	120	774	27.27	1.87
319	3.45				1.93
329	3.45				1.99



337	3.45	125	863	28.41	2.04
347	3.31				2.10
357	3.31				2.16
367	3.17	130	959	29.55	2.22
377	3.31				2.28
382	2.34	134	1007	30.45	2.32

Deney: UCA3

Deney tipi : CaCl<sub>2</sub> Ötelemesi

Enjeksiyon suyu : 10 wt % CaCl<sub>2</sub>

Enjeksiyon debisi : 200 ml/saat

Petrol : Garzan

Zaman (dak)	$\Delta P$ (kPA)	Petrol (ml)	Su (ml)	Petrol Üretimi (% OYP)	Enjekte Edilen Hacim G.H.
0	0.00	0	0	0.00	0.00
10	1.38				0.06
20	2.34				0.12
30	3.31				0.18
40	3.86				0.24
50	8.13				0.30
60	6.07				0.36
67	10.20	0	0	0.00	0.41
70	9.93				0.42
83	9.65				0.50
93	8.41				0.56
98	5.38	47.5	67.5	10.80	0.59
103	5.24				0.62
113	5.24	57.5	123	13.07	0.68
123	5.10				0.75
133	4.96	67	187	15.23	0.81
143	4.55				0.87
153	4.83	74.5	251.5	16.93	0.93
163	4.69				0.99
173	4.69	81.5	315.5	18.52	1.05
183	4.27				1.11
194	4.27	87.5	378.5	19.89	1.18
204	4.41				1.24
214	4.69	94.5	442.5	21.48	1.30
227	4.69				1.38
237	4.27	100.5	518.5	22.84	1.44
247	4.41				1.50
261	4.14	105.5	595	23.98	1.58
271	4.14				1.64
281	4.14	109	662.5	24.77	1.70
291	4.14				1.76
301	4.14	111.5	727.5	25.34	1.82
313	4.14				1.90
323	4.41	115	801.5	26.14	1.96
326	3.72	115.5	811	26.25	1.98

Deney: UCK1

Deney tipi : KCl Ötelemesi

Enjeksiyon suyu : 2 wt % KCl

Enjeksiyon debisi : 200 ml/saat

Petrol : Garzan

Zaman (dak)	$\Delta P$ (kPA)	Petrol (ml)	Su (ml)	Petrol Üretimi (% OYP)	Enjekte Edilen Hacim G.H.
0	0.00	0	0	0.00	0.00
10	3.31	0	0	0.00	0.06
20	9.10				0.12
30	10.34				0.18
40	11.72				0.24
50	12.55				0.30
60	15.99				0.36
70	20.68				0.42
80	21.78	49.5	12.0	11.25	0.48
90	13.51				0.55
95	13.37	81.5	66.0	18.52	0.58
100	14.48				0.61
110	15.30	95.0	116.0	21.59	0.67
128	10.20	101.0	146.0	22.95	0.78
138	11.03				0.84
147	12.68	111.5	236.0	25.34	0.89
158	14.20				0.96
168	15.44	117.5	303.0	26.70	1.02
188	17.23	123.5	364.0	28.07	1.14
198	19.02				1.20
208	19.16	129.0	431.5	29.32	1.26
218	11.86				1.32
228	12.96	134.5	502.0	30.57	1.38
245	10.89				1.48
255	11.86	140.5	583.0	31.93	1.55
265	12.55				1.61
275	14.61	145.0	547.0	32.95	1.67
285	18.20				1.73
296	20.27	149.5	714.5	33.98	1.79
306	23.16				1.85
316	14.48	152.5	780.5	34.66	1.92
326	17.92				1.98
336	20.68	156.0	845.0	35.45	2.04
346	23.02				2.10

356	19.16	159.5	911.0	36.25	2.16
366	22.06				2.22
383	27.99				2.32
388	28.95	163.5	1006.0	37.16	2.35

Deney: UCK2

Deney tipi : KCl Ötelemesi

Enjeksiyon suyu : 5 wt % KCl

Enjeksiyon debisi : 200 ml/saat

Petrol : Garzan

Zaman (dak)	$\Delta P$ (kPA)	Petrol (ml)	Su (ml)	Petrol Üretimi (% OYP)	Enjekte Edilen Hacim G.H.
0	0.00	0	0	0.00	0.00
10	0.55				0.06
20	0.83				0.12
30	1.65				0.18
40	1.65				0.24
50	2.48				0.30
60	7.58				0.36
70	33.09				0.42
80	144.34	0	0	0.00	0.48
90	9.24	18.0	61.0	4.09	0.55
100	9.51				0.61
110	15.03	33.0	141.0	7.50	0.67
120	9.37				0.73
130	7.86				0.79
142	12.68	43.0	209.0	9.77	0.86
152	16.13				0.92
162	16.68				0.98
172	19.30	55.0	290.0	12.50	1.04
182	26.88				1.10
192	6.34	64.0	365.0	14.55	1.16
202	6.62				1.22
212	7.17	71.0	431.0	16.14	1.28
222	6.62				1.35
232	7.17				1.41
241	6.07	79.0	523.0	17.95	1.46
251	7.03				1.52
261	6.89				1.58
278	6.62	86.0	619.5	19.55	1.68
288	5.79				1.75
298	6.34	91.5	708.0	20.80	1.81
308	6.20				1.87
318	6.48				1.93
328	6.76	97.0	806.0	22.05	1.99
338	6.34				2.05

348	6.62				2.11
358	6.76	102.0	903.0	23.18	2.17
368	6.07				2.23
378	6.07				2.29
387	6.48	106.0	998.0	24.09	2.35
397	6.89				2.41
404	3.86	109.0	1054.0	24.77	2.45

Deney : UCWF

Deney tipi : Saf su Ötelemesi

Enjeksiyon suyu tuzluluğu : 0

Enjeksiyon debisi : 200 ml/saat

Petrol : Garzan

Zaman (dak)	$\Delta P$ (kPa)	Petrol (ml)	Su (ml)	Petrol Üretimi (% OYP)	Enjekte Edilen Hacim (G.H.)
0	0.00	0	0	0	0.00
10	0.97				0.06
16	7.31				0.10
20	6.62				0.12
30	7.03				0.18
40	7.17				0.24
49	8.96				0.30
51	5.93	0	0	0	0.31
60	6.76				0.36
70	9.24				0.42
80	12.96				0.48
88	136.48				0.53
90	169.15				0.55
93	238.77				0.56
96	346.22				0.58
99	540.40	35.5	5.0	8.07	0.60
109	25.37				0.66
110	28.81				0.67
119	81.47				0.72
129	214.78	37.0	17.5	8.41	0.78
137	4.55				0.83
147	4.69				0.89
157	4.41	38.5	112.5	8.75	0.95
167	4.69				1.01
182	4.55	41.0	191.5	9.32	1.10
192	4.27				1.16
202	4.27				1.22
206	4.96	44.0	275.5	10.00	1.25
213	5.10				1.29
223	5.65				1.35
233	7.44	48.0	365.5	10.91	1.41
243	8.13				1.47
260	37.64				1.58
265	56.38				1.61
270	63.14				1.64

275	106.84				1.67
280	1.79				1.70
285	0.83				1.73
290	0.00	57.0	442.5	12.95	1.76
293	23.44				1.78
298	21.78	62.0	529.5	14.09	1.81
303	25.78				1.84
308	27.02				1.87
313	14.75				1.90
318	13.10	66.0	614.5	15.00	1.93
323	12.55				1.96
328	12.55				1.99
333	12.55				2.02
338	11.86				2.05
343	11.30				2.08
345	9.51	71.0	704.5	16.14	2.09
350	11.30				2.12
356	11.30				2.16
361	11.03				2.19
365	8.82	75.0	774.5	17.05	2.21
370	11.86				2.24
375	11.72				2.27
380	8.00				2.30
385	12.55				2.33
390	12.13				2.36
396	12.55	79.5	870.5	18.07	2.40
402	11.72				2.44
407	12.13				2.47
412	12.27				2.50
414	11.72	82.5	933.5	18.75	2.51



Deney : UCMX1

Deney tipi : CaCl<sub>2</sub> + KCl Ötelemesi

Enjeksiyon suyu tuzluluğu : 5 wt % CaCl<sub>2</sub> + 2 wt % KCl

Enjeksiyon debisi : 200 ml/saat

Petrol : Garzan

Zaman (dak)	ΔP (kPa)	Petrol (ml)	Su (ml)	Petrol Üretimi (% OYP)	Enjekte Edilen Hacim (G.H.)
0	0.00	0	0	0	0.00
10	0.00				0.06
20	0.00				0.12
30	0.41				0.18
40	1.24				0.24
51	2.34				0.31
54	4.41				0.33
62	3.45				0.38
72	6.07	0	0	0	0.44
82	6.48				0.50
87	12.55				0.53
92	17.37				0.56
102	9.93	59.0	39.0	13.41	0.62
108	8.82				0.65
113	8.41				0.68
123	14.20	76.0	104.0	17.27	0.75
133	15.72				0.81
143	15.85	85.5	166.0	19.43	0.87
153	17.51				0.93
163	14.20	92.0	227.0	20.91	0.99
173	17.23				1.05
183	14.06	97.0	281.0	22.05	1.11
193	15.58				1.17
203	17.65	101.0	341.0	22.95	1.23
213	14.75				1.29
223	4.83	107.0	421.0	24.32	1.35
233	4.96				1.41
248	3.31	112.0	479.0	25.45	1.50
258	3.72				1.56
268	4.14	116.0	565.0	26.36	1.62
278	5.79				1.68
288	4.00	120.0	628.0	27.27	1.75
298	5.10				1.81
308	4.96	123.0	691.0	27.95	1.87
318	4.96				1.93

328	4.00	127.5	754.0	28.98	1.99
338	5.51				2.05
348	5.51	130.5	819.0	29.66	2.11
358	4.69				2.17
368	5.38	138.5	892.0	31.48	2.23
381	4.55				2.31
391	4.83	142.0	952.5	32.27	2.37
401	4.27				2.43
411	5.10	144.0	1016.5	32.73	2.49

Deney : UCMX2

Deney tipi : CaCl<sub>2</sub> + NaCl Ötelemesi

Enjeksiyon suyu tuzluluğu : 5 wt % CaCl<sub>2</sub> + 2 wt % NaCl

Enjeksiyon debisi : 200 ml/saat

Petrol : Garzan

Zaman (dak)	$\Delta P$ (kPa)	Petrol (ml)	Su (ml)	Petrol Üretimi (% OYP)	Enjekte Edilen Hacim (G.H.)
0	0.00	0	0	0	0.00
10	1.65				0.06
20	2.21				0.12
30	2.90				0.18
40	3.72				0.24
50	7.58				0.30
60	8.00				0.36
70	4.41	0	0	0	0.42
80	55.14				0.48
90	98.02				0.55
100	4.41				0.61
106	8.96	52.0	44.0	11.82	0.64
111	8.41				0.67
116	9.51				0.70
121	8.96				0.73
122	5.51	71.0	124.0	16.14	0.74
124	7.31				0.75
134	9.65				0.81
144	1.79				0.87
149	0.41	83.5	203.0	18.98	0.90
159	1.93				0.96
169	1.65				1.02
174	3.17	93.5	283.0	21.25	1.05
184	2.21				1.12
194	2.34				1.18
202	1.65	102.5	370.0	23.30	1.22
212	1.65				1.28
222	1.24				1.35
232	1.65	111.5	462.0	25.34	1.41
242	1.93				1.47
250	1.65				1.52
260	2.90	119.0	550.0	27.05	1.58
270	1.79				1.64
280	1.79				1.70
290	2.07	126.0	641.0	28.64	1.76

300	1.10				1.82
310	0.97				1.88
320	0.97	133.5	734.5	30.34	1.94
330	1.10				2.00
340	2.34				2.06
350	0.83	142.5	824.5	32.39	2.12
360	0.28				2.18
370	1.10				2.24
379	0.97	148.5	917.5	33.75	2.30
390	1.38				2.36
392	0.00				2.38
404	3.17				2.45
409	1.79	159.5	1003.5	36.25	2.48
419	1.38				2.54
429	3.03	162.0	1067.5	36.82	2.60

Deney : UCMX3

Deney tipi : KCl + NaCl Ötelemesi

Enjeksiyon suyu tuzluluğu : 2 wt % KCl + 2 wt % NaCl

Enjeksiyon debisi : 200 ml/saat

Petrol : Garzan

Zaman (dak)	$\Delta P$ (kPa)	Petrol (ml)	Su (ml)	Petrol Üretimi (% OYP)	Enjekte Edilen Hacim (G.H.)
0	0.00	0	0	0	0.00
10	0.83				0.06
20	1.38				0.12
30	1.93				0.18
40	2.62				0.24
50	5.51				0.30
61	5.93				0.37
70	6.89	0	0	0	0.42
85	11.17				0.52
99	11.72	43.0	51.0	9.77	0.60
109	9.51				0.66
119	5.93	64.0	127.0	14.55	0.72
129	1.79				0.78
139	1.52				0.84
147	3.17	78.0	212.0	17.73	0.89
149	3.03				0.90
159	3.72				0.96
169	2.07	87.0	281.0	19.77	1.02
179	2.07				1.08
189	1.52				1.15
199	2.21	98.0	375.0	22.27	1.21
209	1.65				1.27
219	3.31	105.0	438.0	23.86	1.33
229	2.62				1.39
239	2.76				1.45
244	2.34	113.0	516.0	25.68	1.48
254	1.93				1.54
264	1.65				1.60
272	1.10	121.0	601.0	27.50	1.65
282	1.79				1.71
292	1.38				1.77
298	1.24	129.0	683.0	29.32	1.81
308	2.07				1.87
318	1.10				1.93
328	1.24	140.0	775.0	31.82	1.99

338	1.52				2.05
348	2.90				2.11
358	1.79	147.0	871.0	33.41	2.17
368	1.65				2.23
378	1.24				2.29
388	0.97	156.5	963.5	35.57	2.35
400	1.24				2.42
405	0.97	162.5	1018.5	36.93	2.45
410	1.38				2.48
415	0.14				2.52
420	1.24	165.5	1067.0	37.61	2.55

Deney : BFUC1  
Deney tipi : Tuzlu Su Ötelemesi  
Enjeksiyon suyu tuzluluğu : 10000 ppm  
Enjeksiyon debisi : 200 ml/saat  
Petrol : Garzan

Zaman (dak)	Enjekte edilen hacim (G.H.)	pH	Cl Konsantrasyonu (ppm)
0	0.00	7.00	0
55	0.33	7.00	0
60	0.36	7.52	6500
120	0.73	7.42	7500
181	1.10	7.31	8100
201	1.22	7.29	8600
251	1.52	7.22	8400
271	1.64	7.19	8000
311	1.88	7.23	7900
415	2.52	7.36	8500
482	2.92	7.42	9400

Deney : BFUC2  
Deney tipi : Tuzlu Su Ötelemesi  
Enjeksiyon suyu tuzluluğu : 20000 ppm  
Enjeksiyon debisi : 200 ml/saat  
Petrol : Garzan

Zaman (dak)	Enjekte edilen hacim (G.H.)	pH	Cl Konsantrasyonu (ppm)
0	0.00	7.00	0
55	0.33	7.00	0
100	0.61	7.29	10409
168	1.02	7.26	14170
208	1.26	7.31	14044
278	1.68	7.29	13981
348	2.11	7.25	13919
418	2.53	7.21	13857

Deney : BFUC3  
Deney tipi : Tuzlu Su Ötelemesi  
Enjeksiyon suyu tuzluluğu : 30000 ppm  
Enjeksiyon debisi: 200 ml/saat  
Petrol : Garzan

Zaman (dak)	Enjekte edilen hacim (G.H.)	pH	Cl Konsantrasyonu (ppm)
0	0.00	7.00	0
98	0.59	7.00	0
105	0.64	7.53	12300
153	0.93	7.18	17700
194	1.18	7.33	21000
234	1.42	7.25	19900
254	1.54	7.38	21300
274	1.66	7.36	20200
294	1.78	7.36	19400
314	1.90	7.38	19400
334	2.02	7.33	19800
369	2.24	7.34	21700
384	2.33	7.33	19800
393	2.38	7.30	19100

Deney : BFUC4  
Deney tipi : Tuzlu Su Ötelemesi  
Enjeksiyon suyu tuzluluğu : 40000 ppm  
Enjeksiyon debisi : 200 ml/saat  
Petrol : Garzan

Zaman (dak)	Enjekte edilen hacim (G.H.)	pH	Cl Konsantrasyonu (ppm)
0	0	7.00	0
84	0.51	7.00	0
109	0.66	7.39	17250
163	0.99	7.30	24446
229	1.39	7.24	27215
277	1.68	7.24	28332
337	2.04	7.26	28205
388	2.35	7.30	27830



Deney : UCA1  
Deney tipi : CaCl<sub>2</sub> Ötelemesi  
Enjeksiyon suyu : 2 wt % CaCl<sub>2</sub>  
Enjeksiyon debisi : 200 ml/saat  
Petrol : Garzan

Zaman (dak)	Enjekte edilen hacim (G.H.)	pH	Cl Konsantrasyonu (ppm)
0	0	7.00	0
31	0.19	7.00	0
80	0.48	7.21	5372
147	0.89	6.96	6657
207	1.25	7.02	7215
315	1.91	7.01	7087
407	2.47	6.95	7183

Deney : UCA2  
Deney tipi : CaCl<sub>2</sub> Ötelemesi  
Enjeksiyon suyu : 5 wt % CaCl<sub>2</sub>  
Enjeksiyon debisi : 200 ml/saat  
Petrol : Garzan

Zaman (dak)	Enjekte edilen hacim (G.H.)	pH	Cl Konsantrasyonu (ppm)
0	0	7.00	0
55	0.33	7.00	0
80	0.48	7.45	8068
135	0.82	7.08	14044
195	1.18	7.06	15289
269	1.63	7.07	15426
337	2.04	7.11	15357
382	2.32	7.11	14751

Deney : UCA3  
Deney tipi : CaCl<sub>2</sub> Ötelemesi  
Enjeksiyon suyu : 10 wt % CaCl<sub>2</sub>  
Enjeksiyon debisi : 200 ml/saat  
Petrol : Garzan

Zaman (dak)	Enjekte edilen hacim (G.H.)	pH	Cl Konsantrasyonu (ppm)
0	0.00	7.00	0
67	0.41	7.00	0
113	0.73	6.67	20168
153	0.93	6.83	35176
214	1.30	6.82	35254
281	1.70	6.89	28610
323	1.96	6.95	23373
326	1.98	7.04	-

Deney : UCK1  
Deney tipi : KCl Ötelemesi  
Enjeksiyon suyu : 2 wt % KCl  
Enjeksiyon debisi : 200 ml/saat  
Petrol : Garzan

Zaman (dak)	Enjekte edilen hacim (G.H.)	pH	Cl Konsantrasyonu (ppm)
0	0	7	0
15	0.09	7	0
80	0.48	6.98	15393
118	0.72	7.04	15425
188	1.14	7.13	15510
255	1.55	7.08	16531
316	1.92	7.15	15747
388	2.35	7.16	16218

Deney : UCK2

Deney tipi : KCl Ötelemesi

Enjeksiyon suyu : 5 wt % KCl

Enjeksiyon debisi : 200 ml/saat

Petrol : Garzan

Zaman (dak)	Enjekte edilen hacim (G.H.)	pH	Cl Konsantrasyonu (ppm)
0	0	7	0
85	0.52	7	0
90	0.55	6.72	12487
172	1.04	7.02	14795
241	1.46	7.16	17523
328	1.99	7.27	18782
404	2.45	7.30	23819

Deney : UCWF

Deney Tipi : Su Ötelemesi

Enjeksiyon suyu : Saf su

Enjeksiyon debisi : 200 ml/saat

Petrol : Garzan

Zaman (dak)	Enjekte edilen hacim (G.H.)	pH	Cl Konsantrasyonu (ppm)
0	0.00	7.00	0
51	0.31	7.00	0
99	0.60	7.20	0
182	1.10	7.67	0
290	1.76	7.66	0
345	2.09	7.81	0
414	2.51	7.88	0

Deney : UCMX1

Deney tipi :  $\text{CaCl}_2$  + KCl Ötelemesi

Enjeksiyon suyu : 5 wt %  $\text{CaCl}_2$  + 2 wt % KCl

Enjeksiyon debisi : 200 ml/saat

Petrol : Garzan

Zaman (dak)	Enjekte edilen Hacim (G.H.)	pH	Cl Konsantrasyonu (ppm)
0	0.00	7.00	0
75	0.45	7.00	0
103	0.62	6.84	10500
163	0.99	6.69	23050
223	1.35	6.62	24900
288	1.75	6.62	27550
348	2.11	6.62	28250
411	2.49	6.62	31700

Deney : UCMX2

Deney tipi :  $\text{CaCl}_2$  + KCl Ötelemesi

Enjeksiyon suyu : 5 wt %  $\text{CaCl}_2$  + 2 wt % KCl

Enjeksiyon debisi : 200 ml/saat

Petrol : Garzan

Zaman (dak)	Enjekte edilen Hacim (G.H.)	pH	Cl Konsantrasyonu (ppm)
0	0.00	7.00	0
70	0.42	7.00	0
106	0.64	6.71	15600
174	1.05	6.64	28750
260	1.58	6.57	28900
350	2.12	6.60	30650
429	2.60	6.59	28500

Deney : UCMX3

Deney tipi : KCl + NaCl Ötelemesi

Enjeksiyon suyu : 2 wt % KCl + 2 wt % NaCl

Enjeksiyon debisi : 200 ml/saat

Petrol : Garzan

Zaman (dak)	Enjekte edilen hacim (G.H.)	pH	Cl Konsantrasyonu (ppm)
0	0.00	7.00	0
80	0.48	7.00	0
99	0.60	7.06	14600
169	1.02	7.08	24350
244	1.48	7.11	31850
328	1.99	7.22	27650
405	2.45	7.28	30650
420	2.55	7.25	28250