



TERMAL SULARDAN ZENGİNLEŞTİRİLEREK

NANO SİLİSİN ELDE EDİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Osman Fevzi YAMAN

Danışman

Doç. Dr. Muhammed Fatih CAN

NANOBİLİM VE NANOTEKNOLOJİ ANABİLİM DALI

Temmuz, 2023

Bu tez çalışması 21.FEN.BİL.19 numaralı proje ile BAP tarafından desteklenmiştir.

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TERMAL SULARDAN ZENGİNLEŞTİRİLEREK
NANO SİLİSİN ELDE EDİLMESİ**

Osman Fevzi YAMAN

Danışman

Doç. Dr. Muhammed Fatih CAN

NANOBİLİM VE NANOTEKNOLOJİ ANABİLİM DALI

Temmuz 2023

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TERMAL SULARDAN ZENGİNLEŞTİRİLEREK NANO SİLİSİN ELDE EDİLMESİ

Osman Fevzi YAMAN

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Nanobilim Ve Nanoteknoloji Anabilim Dalı Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Muhammed Fatih CAN

Bu çalışmada Afyonkarahisar bölgesine ait jeotermal sulardan elektrokoagülasyon yöntemini kullanarak nano silis elde etmek üzere çalışmıştır. Yapılan bu çalışmada AFJET Y260 termal su kuyusuna bağlı dönüş suyundan alınan su numuneleri kullanılmış olup mevcut suyun kimyasal özelliklerini, pH ve sıcaklık değerlerinde değişiklik yapmadan deneyler yapılmıştır.

Deney setinde anot ve katoda sırasıyla demir elektrot çubuklar ve demir elektrot plaka bağlanmıştır. Bu esnada tüm deneyler boyunca değişik akım yoğunlukları ve sistemi beslemek için değişik pompa hızları kullanılmıştır. İlk etap demir elektrot çubuklar ve plaka bulunan deney setinin davranışlarını karakterize etmek NaCl ilave edilen saf suyla deneyler yapılmıştır. Sonraki aşamada elektrokoagülasyon düzeneği 30 dk boyunca dışarıdan sürekli termal suyla beslenmiş yani açık çevrim deneyleri yapılmıştır. Diğer bir aşamada ise 30 dk süren deneyler iki aşamaya bölünmüş ilk 15 dk açık çevrim sonraki 15 dk'da elektrokoagülasyon yapılan su tekrar deney setine basılarak tohumlama (CEED) yapılmıştır. Bütün bu çalışmalarda amaç nano silis elde etmek için yapılacak nihasi son deneylerde kullanılmak için doğru akım değeri ve doğru pompa hızı seçmektir.

Elektrokoagülasyon işlemlerinden sonra elde edilen termal sular filtreleme işlemlerine tabi tutulmuştur. Elde edilen katıların miktarları tartılmış sonrasında lamel üzerine

filtrelenen katılar dökölüp, saf suyla açılıp, lamel üzerine homojen dağılım yapılarak optik mikroskopta incelenmiştir.

Nihai en son nano silis elde etme deneylerinde seçilen üç elektrik akım ve pompa hızlarında kapalı çevrim termal su deneyleri ve silan ilaveli kapalı çevrim termal su deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerde tohumla yapılan kapalı çevrim deneylerle laboratuvar ortamında elde silan kapalı devre çalıştırılarak elektrokoagülasyon yapılmıştır. Son olarak yine filtreleme, tutulan katı malzemelerin tartımı ve tane dağılımlarını incelemek için SEM ve EDX analizleri yapılmıştır. Kapalı çevrim termal su deneylerinin sonuçlarıyla silan içeren kapalı çevrim deney sonuçlarına SEM’de tane dağılımlarına, elde edilen ürünün tane boyutuna ve EDX’te tutulan katı malzeme türleri ve oranlarına bakılmıştır.

2023, xxvi + 256 sayfa

Anahtar Kelimeler: Nano Silis , Termal Su, Elektrokoagülasyon, Tohumlama,

ABSTRACT

M.Sc.Thesis

OBTAINING NANO SILICA BY ENRICHING FROM THERMAL WATERS

Osman Fevzi YAMAN

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Department of Nanoscience and Nanotechnology

Supervisor: Assoc. Prof. Muhammed Fatih CAN

In this study, electrocoagulation method was used to obtain nano silica from geothermal waters belonging to the Afyonkarahisar region. Water samples taken from the return water connected to the AFJET Y260 thermal water well were used in the study, and experiments were conducted without altering the chemical properties, pH, and temperature values of the existing water.

In the experimental setup, iron electrode rods and an iron electrode plate were connected as anode and cathode, respectively. Different current densities and pump speeds were used to feed the system during the experiments. In the initial stage, experiments were conducted with pure water supplemented with NaCl to characterize the behavior of the experimental setup containing iron electrode rods and plates. In the next stage, the electrocoagulation system was continuously fed with thermal water from outside for 30 minutes, which means open-circuit experiments were performed. In another stage, the 30-minute experiments were divided into two stages: the first 15 minutes were open-circuit, and in the following 15 minutes, the water subjected to electrocoagulation was fed back into the experimental setup for seeding (CEED). The aim of all these studies was to select the correct current value and pump speed for the final experiments to obtain nano silica.

The thermal waters obtained after the electrocoagulation processes were subjected to filtration processes. The quantities of the obtained solids were weighed, and then the

filtered solids were poured onto a slide, rinsed with distilled water, and uniformly distributed on the slide for examination under an optical microscope.

In the final experiments to obtain nano silica, closed-loop thermal water experiments and closed-loop thermal water experiments with silane addition were conducted at three selected electric current and pump speed values. In these experiments, closed-loop experiments with seeding were conducted by operating the silane-containing closed-loop electrocoagulation in the laboratory environment. Finally, SEM and EDX analyses were performed to examine the filtered solids, their weights, and particle distributions. The results of the closed-loop thermal water experiments were compared with the results of the closed-loop experiments with silane in terms of particle distributions in SEM, particle size of the obtained product, and the types and ratios of the retained solid materials in EDX analysis.

2023, xxvi + 256 pages

Keywords: Nano Silica, Thermal Water, Electrocoagulation, Seeding,

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların 21.FEN.BİL.19 numaralı BAP projesiyle yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Muhammed Fatih CAN'a her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Osman Fevzi YAMAN
Afyonkarahisar 2023

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
RESİMLER DİZİNİ	xxiii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	2
2.1 Jeotermal Sular ve Silis Oluşumu	2
2.2 Afyonkarahisar Bölgesi Jeotermal Sular ve Özellikleri	4
2.3 Nano Silisin Özellikleri	7
2.4 Nano Silisin Kullanım Alanları	10
2.5 Silis Ekstrasyonu	14
2.5.1 Kalsiyum Silikatlar Kullanarak Silika Ekstrasyonu	15
2.5.2 Katyonik Topaklaştırıcılar Kullanarak Silika Ekstrasyonu	16
2.5.3 Metal Silikatlar Kullanarak Silika Ekstrasyonu	16
2.5.4 Tohum Parçacıkları Üzerine Biriktirerek Uzaklaştırma	17
2.5.5 Ultrafiltrasyon Yöntemi	17
2.5.6 Elektrokoagülasyon Yöntemi	18
2.3 Elektrokoagülasyon Yönteminin Uygulamaları	28
2.4 Elektrokoagülasyon Uygulamasına Etki Eden Faktörler	37
2.4.1 Güç Kaynağı	37
2.4.2 Elektrokoagülasyonda Uygulanan Akımın Yoğunluğu	38
2.4.3 İletkenlik ve Akım Verimliliği	38
2.4.4 Kullanılan Elektroların Devre Yerleşim Şekilleri	39
2.4.5 Elektrot Malzemesi, Şekli ve Elektrotlar Arası Mesafe	41
2.4.6 pH Değişkeni	42
2.4.7 Sıcaklık	43
2.4.8 Reaksiyon Süresi	43
3. MATERYEL METOT	44

3.1 Deney Düzenekinin Hazırlanması	44
3.2 NaCl İçeren Saf Su Deneyleri.....	54
3.2.1 0.01 M NaCl İçeren Saf Su Deneyleri	54
3.2.2 0.1 M NaCl İçeren Saf Su Deneyleri	63
3.2.3 1 M NaCl İçeren Saf Su Deneyleri	72
3.2.4 Saf Su Deney Sonuçları Bileşik Analizleri	80
3.3 Jeotermal Su Deneyleri	89
3.3.1 Açık Çevrim Jeotermal Su ile Yapılan Deneyler	90
3.3.1.1 Açık Çevrim V2 Hızında Yapılan Deneyler	90
3.3.1.2 Açık Çevrim V3 Hızında Yapılan Deneyler	96
3.3.1.3 Açık Çevrim Termal Su Deneylerinin Bileşik Analizi	102
3.3.2 Kapalı Çevrim Jeotermal Su ile Yapılan Deneyler	110
3.3.2.1 Kapalı Çevrim V2 Hızında Yapılan Deneyler	112
3.3.2.2 Kapalı Çevrim V3 Hızında Yapılan Deneyler	118
3.3.2.3 Kapalı Çevrim Termal Su Deneylerinin Bileşik Analizi.....	124
3.3.3 Deney Seti Karakterizasyonu İçin Yapılan Ek Deneyler	132
3.3.3.1 Açık Çevrim Ek Deneyler	132
3.3.3.2 Kapalı Çevrim Ek Deneyler	144
3.3.3.3 Kapalı Çevrim Ek Deneyler Bileşik Analizi	152
3.4 Elektrokoagülasyon Sonrası Deney Sularının Filtrelenmesi ve İncelenmesi	160
3.5 Silan İlaveli Deneyler	179
3.6 Nano Silis Elde Etmek İçin Yapılan Deneyler	184
3.6 Nano Silis SEM Analizleri	197
4. BULGULAR	213
4.1 Saf Suyla Yapılan Deney Bulguları.....	213
4.2 Açık Çevrim Termal Su Deneyleri Bulguları	218
4.3 Kapalı Çevrim Termal Su Deneyleri Bulguları	223
4.4 Nano Silis Deneyleri ve SEM Analizleri.....	228
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	234
6. KAYNAKLAR.....	251
ÖZGEÇMİŞ.....	256

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Al	Aliminyum
cm ²	Santimetrekare
CaO	Kalsiyum oksit
Ca ⁺²	Kalsiyum iyonu
Cu ⁺²	Bakır iyonu
Ca ⁺²	Kalsiyum iyonu
Co ²⁺	Karbonmonoksit iyonu
Cl ⁻	Klor iyonu
dk	Dakika
Fe ⁺²	Demir iyonu
Fe ⁺³	Demir iyonu
Fe ₂ (SO ₄) ₃	Demir sülfat
Fe	Demir
HCl	Hidroklorik asit
H ₂ SiO ₄	Sülfürik asit
H ₂ O ₂	Hidrojen peroksit
Kg	Kilogram
Kl	Klorür
KCl	Potasyum klorür
KWh	Kilovat saat
L	Litre
mA	Miliamper
mV	Miliwhatt
m ³	Metreküp
Mm	Milimolar
mg	Miligram
Mg ⁺²	Magnezyum iyonu
NaCl	Tuz
NO ₃ ⁻	Nitrat iyonu
NSO ₄ ²⁻	Sülfat
nm	Nanomterle
OH [•]	Hidroksil radikali
pH	Suyun sertliği
ppm	Milyonda bir birime verilen isim
rpm	Dakikadaki devir sayısı
SnO ₂	Kalay dioksit
SiO ₂	Silisyum oksit
T	Sıcaklık
sn	Saniye
V	Volt
Zn	Çinko
°C	Santigrad derece

Kısaltmalar

BET	Silis yüzey alanı büyüklüğü
BP	Bipolar devre
BP-S	Bipolar seri devre
BP-P	Bipolar paralel devre
CEED	Tohumlama
CMP	Kimyasal çöktürücü
EDX	Kimyasal yapı analizi
EC	Elektrik aktivitesi ölçümü
MP	Monopolar devre
MP-S	Monopolar seri devre
MP-P	Monopolar paralel devre
NTU	Bulanıklık birimi
SEM	Elektron mikroskobu analizi
TDS	Suyun sertlik ölçümü

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2. 1	Flokülasyonla uygulanan elektrokoagülasyon mekanizması (Güney 2013)..	22
Şekil 2. 2	Örnek bir MP-P devre bağlantısı (Güney 2013).	40
Şekil 2. 3	Örnek Bir MP-Sdevre bağlantısı (Güney 2013).....	40
Şekil 2. 4	Örnek Bir BP-S devre bağlantısı (Güney 2013).	41
Şekil 3. 1	0.01 M NaCl çözeltisinde V1,V2 ve V3 pompa hızlarında TDS değişimi	61
Şekil 3. 2	0.01 M NaCl çözeltisinde V1, V2 ve V3 pompa hızlarında EC değişimi	61
Şekil 3. 3	0.01 M NaCl çözelti bölgesel ölçüm EC değişim grafiği	63
Şekil 3. 4	0.01 M NaCl çözelti bölgesel ölçüm TDS değişim grafiği.....	63
Şekil 3. 5	0.1 M NaCl çözeltisinde V1, V2 ve V3 pompa hızlarında TDS değişimi	70
Şekil 3. 6	0.1 M NaCl çözeltisinde V1, V2 ve V3 pompa hızlarında EC değişimi	70
Şekil 3. 7	0.1 M NaCl çözelti bölgesel ölçüm EC değişim grafiği	72
Şekil 3. 8	0.1 M NaCl çözelti bölgesel ölçüm TDS değişim grafiği.....	72
Şekil 3. 9	1 M NaCl çözeltisinde V1, V2 ve V3 pompa hızlarında TDS değişimi	79
Şekil 3. 10	1 M NaCl çözeltisinde V1, V2 ve V3 pompa hızlarında EC değişimi	79
Şekil 3. 11	Üç farklı NaCl içeren çözeltide V1 pompa hızında logaritmik EC değişimi	81
Şekil 3. 12	Üç farklı NaCl içeren çözeltide V2 pompa hızında logaritmik EC değişimi	81
Şekil 3. 13	Üç farklı NaCl içeren çözeltide V3 pompa hızında logaritmik EC değişimi	82
Şekil 3. 14	Üç farklı NaCl içeren çözeltide V1 pompa hızında logaritmik TDS değişimi	83
Şekil 3. 15	Üç farklı NaCl içeren çözeltide V2 pompa hızında logaritmik TDS değişimi	84
Şekil 3. 16	Üç farklı NaCl içeren çözeltide V3 pompa hızında logaritmik TDS değişimi	84
Şekil 3. 17	0.01 M NaCl içeren çözeltide hıza bağlı EC değişimi	86
Şekil 3. 18	0.1 M NaCl içeren çözeltide hıza bağlı EC değişimi	86
Şekil 3. 19	1 M NaCl içeren çözeltide hıza bağlı EC değişimi	86
Şekil 3. 20	0.01 M NaCl içeren çözeltide hıza bağlı TDS değişimi.....	88
Şekil 3. 21	0.1 M NaCl içeren çözeltide hıza bağlı TDS değişimi.....	88
Şekil 3. 22	1 M NaCl içeren çözeltide hıza bağlı TDS değişimi.....	88
Şekil 3. 23	V2 hızı ve akım değişimine EC değişim grafiği	104

Şekil 3. 24 V2 hızı ve akım değişimine TDS değişim grafiği.....	104
Şekil 3. 25 V3 hızı ve akım değişimine EC değişim grafiği	105
Şekil 3. 26 V3 hızı ve akım değişimine TDS değişim grafiği.....	105
Şekil 3. 27 V2 hızı ve amper değişimine bağlı EC/TDS değişimi	106
Şekil 3. 28 V3 hızı ve amper değişimine bağlı EC/TDS değişimi	106
Şekil 3. 29 V2 hızına bağlı TDS değişim grafiği	108
Şekil 3. 30 V2 hızına bağlı EC değişim grafiği.....	108
Şekil 3. 31 V3 hızına bağlı TDS değişim grafiği	109
Şekil 3. 32 V3 hızına bağlı EC değişim grafiği.....	110
Şekil 3. 33 Kapalı çevrim V2 hızı ve akım değişimine EC değişim grafiği	125
Şekil 3. 34 Kapalı çevrim V2 hızı ve akım değişimine TDS değişim grafiği.....	126
Şekil 3. 35 Kapalı çevrim V3 hızı ve akım değişimine EC değişim grafiği	126
Şekil 3. 36 Kapalı çevrim V3 hızı ve akım değişimine TDS değişim grafiği.....	127
Şekil 3. 37 Kapalı çevrim V2 hızı ve amper değişimine bağlı EC/TDS değişimi	127
Şekil 3. 38 Kapalı çevrim V3 hızı ve amper değişimine bağlı EC/TDS değişimi	128
Şekil 3. 39 Kapalı çevrim V2 hızına bağlı TDS değişim grafiği	129
Şekil 3. 40 Kapalı çevrim V2 hızına bağlı EC değişim grafiği.....	129
Şekil 3. 41 Kapalı çevrim V3 hızına bağlı TDS değişim grafiği	131
Şekil 3. 42 Kapalı çevrim V3 hızına bağlı EC değişim grafiği.....	131
Şekil 3. 43 Açık çevrim V2 hızında beş akım değerine ait EC değişim grafiği.....	141
Şekil 3. 44 Açık çevrim V2 hızında beş akım değerine ait TDS değişim grafiği	142
Şekil 3. 45 Açık çevrim V3 hızında beş akım değerine ait EC değişim grafiği.....	143
Şekil 3. 46 Açık çevrim V3 hızında beş akım değerine ait TDS değişim grafiği	143
Şekil 3. 47 Kapalı çevrim V2 hızında beş akım değerine ait EC değişim grafiği.....	153
Şekil 3. 48 Kapalı çevrim V2 hızında beş akım değerine ait TDS değişim grafiği	154
Şekil 3. 49 Kapalı çevrim V3 hızında beş akım değerine ait EC değişim grafiği.....	155
Şekil 3. 50 Kapalı çevrim V3 hızında beş akım değerine ait TDS değişim grafiği	155
Şekil 3. 51 Açık çevrim V2 hızına bağlı TDS değişim grafiği	157
Şekil 3. 52 Açık çevrim V2 hızına bağlı EC değişim grafiği.....	157
Şekil 3. 53 Kapalı çevrim V2 hızına bağlı TDS değişim grafiği	159
Şekil 3. 54 Kapalı çevrim V2 hızına bağlı EC değişim grafiği.....	159

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2. 1 Afyonkarahisar'daki jeotermal bölgelere ait suların özellikleri.....	4
Çizelge 2. 2 Endüstride kullanılan koloidal silikanın temel özellikleri	8
Çizelge 2. 3 Endüstride kullanılan füme silikanın temel özellikleri	8
Çizelge 2. 4 Endüstride kullanılan çöktürülmüş silikanın temel özellikleri.....	9
Çizelge 3. 1 Pompanın elle belirlenen 1. Kademedeki ortalama debi ölçüm değerleri .	49
Çizelge 3. 2 Pompanın elle belirlenen 2. Kademedeki ortalama debi ölçüm değerleri .	50
Çizelge 3. 3 Pompanın elle belirlenen 3. Kademedeki ortalama debi ölçüm değerleri .	51
Çizelge 3. 4 Deney boyunca deney düzeneğini beslemek için kullanılan değerler.....	53
Çizelge 3. 5 0.01 M NaCl çözeltisi V1 hızı için deney öncesi yapılan ölçüm değerleri	54
Çizelge 3. 6 0.01 M NaCl tuz çözeltisi ve V1 pompa hızında deney ölçüm değerleri ..	55
Çizelge 3. 7 0.01 M NaCl ve V1 Pompa hızında standart sapmalar ve yüzde değişim değerleri	56
Çizelge 3. 8 0.01 M NaCl çözeltisi V2 hızı için deney öncesi yapılan ölçüm değerleri	56
Çizelge 3. 9 0.01 M NaCl tuz çözeltisi ve V2 pompa hızında deney ölçüm değerleri ..	57
Çizelge 3. 10 0.01 M NaCl ve V2 Pompa hızında standart sapmalar ve yüzde değişim değerleri	58
Çizelge 3. 11 0.01 M NaCl çözeltisi V3 hızı için deney öncesi yapılan ölçüm değerleri	58
Çizelge 3. 12 0.01 M NaCl tuz çözeltisi ve V3 pompa hızında deney ölçüm değerleri	59
Çizelge 3. 13 0.01 M NaCl ve V3 Pompa hızında standart sapmalar ve yüzde değişim değerleri	60
Çizelge 3. 14 0.01 M NaCl çözeltide V1, V2 ve V3 hızlarında TDS/EC değişim tablosu	60
Çizelge 3. 15 0.01 M NaCl çözeltide V1 bölgesel ölçüm değerleri değişim tablosu.....	62
Çizelge 3. 16 0.01 M NaCl çözeltide V2 bölgesel ölçüm değerleri değişim tablosu....	62
Çizelge 3. 17 0.01 M NaCl çözeltide V3 bölgesel ölçüm değerleri değişim tablosu.....	62
Çizelge 3. 18 0.1 M NaCl çözeltisi V1 hızı için deney öncesi yapılan ölçüm değerleri	63
Çizelge 3. 19 0.1 M NaCl tuz çözeltisi ve V1 pompa hızında deney ölçüm değerleri ..	64
Çizelge 3. 20 0.1 M NaCl ve V1 Pompa hızında standart sapmalar ve yüzde değişim değerleri	65

Çizelge 3. 21	0.1 M NaCl çözeltisi V2 hızı için deney öncesi yapılan ölçüm değerleri	65
Çizelge 3. 22	0.1 M NaCl tuz çözeltisi ve V2 pompa hızında deney ölçüm değerleri ..	66
Çizelge 3. 23	0.1 M NaCl ve V2 Pompa hızında standart sapmalar ve yüzde değişim değerleri	67
Çizelge 3. 24	0.1 M NaCl çözeltisi V3 hızı için deney öncesi yapılan ölçüm değerleri	67
Çizelge 3. 25	0.1 M NaCl tuz çözeltisi ve V3 pompa hızında deney ölçüm değerleri ..	68
Çizelge 3. 26	0.1 M NaCl ve V3 Pompa hızında standart sapmalar ve yüzde değişim değerleri	69
Çizelge 3. 27	0.1 M NaCl çözeltide V1, V2 ve V3 hızlarında TDS/EC değişim tablosu	69
Çizelge 3. 28	0.1 M NaCl çözeltide V1 bölgesel ölçüm değerleri değişim tablosu.....	71
Çizelge 3. 29	0.1 M NaCl çözeltide V2 bölgesel ölçüm değerleri değişim tablosu.....	71
Çizelge 3. 30	0.1 M NaCl çözeltide V3 bölgesel ölçüm değerleri değişim tablosu.....	71
Çizelge 3. 31	1 M NaCl çözeltisi V1 hızı için deney öncesi yapılan ölçüm değerleri...	72
Çizelge 3. 32	1 M NaCl tuz çözeltisi ve V1 pompa hızında deney ölçüm değerleri	73
Çizelge 3. 33	1 M NaCl ve V1 Pompa hızında standart sapmalar ve yüzde değişim değerleri	74
Çizelge 3. 34	1 M NaCl çözeltisi V2 hızı için deney öncesi yapılan ölçüm değerleri...	74
Çizelge 3. 35	1 M NaCl tuz çözeltisi ve V2 pompa hızında deney ölçüm değerleri	75
Çizelge 3. 36	1 M NaCl ve V2 Pompa hızında standart sapmalar ve yüzde değişim değerleri	76
Çizelge 3. 37	1 M NaCl çözeltisi V3 hızı için deney öncesi yapılan ölçüm değerleri...	76
Çizelge 3. 38	1 M NaCl tuz çözeltisi ve V3 pompa hızında deney ölçüm değerleri	77
Çizelge 3. 39	1 M NaCl ve V3 Pompa hızında standart sapmalar ve yüzde değişim değerleri	78
Çizelge 3. 40	1 M NaCl çözeltide V1, V2 ve V3 hızlarında TDS/EC değişim tablosu .	78
Çizelge 3. 41	V1 hızında üç farklı mol NaCl çözeltide EC değişimi tablosu	80
Çizelge 3. 42	V2 hızında üç farklı mol NaCl çözeltide EC değişimi tablosu	80
Çizelge 3. 43	V3 hızında üç farklı mol NaCl çözeltide EC değişimi tablosu	80
Çizelge 3. 44	V1 hızında üç farklı mol NaCl çözeltide TDS değişimi tablosu.....	82
Çizelge 3. 45	V2 hızında üç farklı mol NaCl çözeltide TDS değişimi tablosu.....	82
Çizelge 3. 46	V3 hızında üç farklı mol NaCl çözeltide TDS değişimi tablosu.....	83

Çizelge 3. 47 0.01 M NaCl çözeltide hıza bağlı EC değişim tablosu	85
Çizelge 3. 48 0.1 M NaCl çözeltide hıza bağlı EC değişim tablosu	85
Çizelge 3. 49 1 M NaCl çözeltide hıza bağlı EC değişim tablosu	85
Çizelge 3. 50 0.01 M NaCl çözeltide hıza bağlı TDS değişim tablosu	87
Çizelge 3. 51 0.1 M NaCl çözeltide hıza bağlı TDS değişim tablosu	87
Çizelge 3. 52 1 M NaCl çözeltide hıza bağlı TDS değişim tablosu	87
Çizelge 3. 53 Termal suya ait V2 hızı 0.5A akım için deney öncesi yapılan ölçüm değerleri	90
Çizelge 3. 54 Termal suda V2 pompa hızının ve 0.5A akımda deney ölçüm değerleri	91
Çizelge 3. 55 Termal su V2 pompa hızı, 0.5A akımda standart sapma ve yüzde değişimleri	92
Çizelge 3. 56 Termal suya ait V2 hızı 1A akım için deney öncesi yapılan ölçüm değerleri	92
Çizelge 3. 57 Termal suda V2 pompa hızının ve 1A akımda deney ölçüm değerleri	93
Çizelge 3. 58 Termal su V2 pompa hızı, 1A akımda standart sapma ve yüzde değişimleri	94
Çizelge 3. 59 Termal suya ait V2 hızı 1.5A akım için deney öncesi yapılan ölçüm değerleri	94
Çizelge 3. 60 Termal suda V2 pompa hızının ve 1.5A akımda deney ölçüm değerleri	95
Çizelge 3. 61 Termal su V2 pompa hızı, 1.5A akımda standart sapma ve yüzde değişimleri	96
Çizelge 3. 62 Termal suya ait V3 hızı 0.5A akım için deney öncesi yapılan ölçüm değerleri	96
Çizelge 3. 63 Termal suda V3 pompa hızının ve 0.5A akımda deney ölçüm değerleri	97
Çizelge 3. 64 Termal su V3 pompa hızı, 0.5A akımda standart sapma ve yüzde değişimleri	98
Çizelge 3. 65 Termal suya ait V3 hızı 1A akım için deney öncesi yapılan ölçüm değerleri	98
Çizelge 3. 66 Termal suda V3 pompa hızının ve 1A akımda deney ölçüm değerleri	99
Çizelge 3. 67 Termal su V3 pompa hızı, 1A akımda standart sapma ve yüzde değişimleri	100

Çizelge 3. 68	Termal suya ait V3 hızı 1.5A akım için deney öncesi yapılan ölçüm değerleri	100
Çizelge 3. 69	Termal suda V3 pompa hızının ve 1.5A akımda deney ölçüm değerleri..	101
Çizelge 3. 70	Termal su V3 pompa hızı, 1.5A akımda standart sapma ve yüzde değişimleri	102
Çizelge 3. 71	Termal su V2 pompa hızında üç farklı akıma ait TDS-EC değişimi	103
Çizelge 3. 72	Termal su V3 pompa hızında üç farklı akıma ait TDS-EC değişimi	103
Çizelge 3. 73	V2 hızına ait TDS değişim tablosu	107
Çizelge 3. 74	V2 hızına ait EC değişim tablosu.....	107
Çizelge 3. 75	V3 hızına ait TDS değişim tablosu	109
Çizelge 3. 76	V3 hızına ait EC değişim tablosu.....	109
Çizelge 3. 77	Termal suya ait V2 hızı 0.5A akım için deney öncesi yapılan ölçüm değerleri	112
Çizelge 3. 78	çevrim V2 pompa hızında ve 0.5A akımda deney ölçüm değerleri.....	113
Çizelge 3. 79	Termal su V2 pompa hızı, 0.5A akımda standart sapma ve yüzde değişimleri	114
Çizelge 3. 80	Termal suya ait V2 hızı 1A akım için deney öncesi yapılan ölçüm değerleri	114
Çizelge 3. 81	Kapalı çevrim V2 pompa hızında ve 1A akımda deney ölçüm değerleri	115
Çizelge 3. 82	Termal su V2 pompa hızı, 1A akımda standart sapma ve yüzde değişimleri	116
Çizelge 3. 83	Termal suya ait V2 hızı 1.5A akım için deney öncesi ölçüm değerleri .	116
Çizelge 3. 84	Kapalı çevrim V2 pompa hızında ve 1.5A akımda deney ölçüm değerleri	117
Çizelge 3. 85	Termal su V2 pompa hızı, 1.5A akımda standart sapma ve yüzde değişimleri	118
Çizelge 3. 86	Termal suya ait V3 hızı 0.5A akım için deney öncesi ölçüm değerleri .	118
Çizelge 3. 87	Kapalı çevrim V3 pompa hızında ve 0.5A akımda deney ölçüm değerleri	119
Çizelge 3. 88	Termal su V3 pompa hızı, 0.5A akımda standart sapma ve yüzde değişimleri	120

Çizelge 3. 89	Termal suya ait V3 hızı 1A akım için deney öncesi ölçüm değerleri	120
Çizelge 3. 90	Kapalı çevrim V3 pompa hızında ve 1A akımda deney ölçüm değerleri	121
Çizelge 3. 91	Termal su V3 pompa hızı, 1A akımda standart sapma ve yüzde değişimleri	122
Çizelge 3. 92	Termal suya ait V3 hızı 1.5A akım için deney öncesi ölçüm değerleri .	122
Çizelge 3. 93	Kapalı çevrim V3 pompa hızında ve 1.5A akımda deney ölçüm değerleri	123
Çizelge 3. 94	Termal su V3 pompa hızı, 1.5 A akımda standart sapma ve yüzde değişimleri.....	124
Çizelge 3. 95	Kapalı çevrim termal su V2 pompa hızında üç farklı akıma ait TDS-EC değişimi.....	124
Çizelge 3. 96	Kapalı çevrim termal su V3 pompa hızında üç farklı akıma ait TDS-EC değişimi.....	125
Çizelge 3. 97	Kapalı çevrim V2 hızına ait TDS değişim tablosu.....	128
Çizelge 3. 98	Kapalı çevrim V2 hızına ait EC değişim tablosu.....	129
Çizelge 3. 99	Kapalı çevrim V3 hızına ait TDS değişim tablosu.....	130
Çizelge 3. 100	Kapalı çevrim V3 hızına ait EC değişim tablosu.....	130
Çizelge 3. 101	Termal suya ait V3 hızı 1.5A akım açık çevrim deney öncesi ölçüm değerleri	132
Çizelge 3. 102	Açık çevrim V2 pompa hızında ve 0.75 A akımda deney ölçüm değerleri	133
Çizelge 3. 103	Açık çevrim V2 pompa hızı, 0.75 A akımda standart sapma ve yüzde değişimleri.....	134
Çizelge 3. 104	Termal suya ait V2 hızı 1.25 A akım açık çevrim deney öncesi ölçüm değerleri	134
Çizelge 3. 105	Açık çevrim V2 pompa hızında ve 1.25 A akımda deney ölçüm değerleri	135
Çizelge 3. 106	Açık çevrim V2 pompa hızı, 1.25 A akımda standart sapma ve yüzde değişimleri.....	136
Çizelge 3. 107	Termal suya ait V3 hızı 0.75 A akım açık çevrim deney öncesi ölçüm değerleri	136

Çizelge 3. 108 Açık çevrim V3 pompa hızında ve 0.75 A akımda deney ölçüm değerleri	137
Çizelge 3. 109 Açık çevrim V3 pompa hızı, 0.75 A akımda standart sapma ve yüzde değişimleri.....	138
Çizelge 3. 110 Termal suya ait V3 hızı 1.25 A akım açık çevrim deney öncesi ölçüm değerleri	138
Çizelge 3. 111 Açık çevrim V3 pompa hızında ve 1.25 A akımda deney ölçüm değerleri	139
Çizelge 3. 112 Açık çevrim V3 pompa hızı, 1.25 A akımda standart sapma ve yüzde değişimleri.....	140
Çizelge 3. 113 Açık çevrim termal su V2 ve V3 pompa hızında iki farklı akıma ait TDS-EC değişimi.....	141
Çizelge 3. 114 Termal suya ait V2 hızı 0.75 A akım kapalı çevrim deney öncesi ölçüm değerleri	144
Çizelge 3. 115 Kapalı çevrim V2 pompa hızında ve 0.75 A akımda deney ölçüm değerleri	145
Çizelge 3. 116 Kapalı çevrim V2 pompa hızı, 0.75 A akımda standart sapma ve yüzde değişimleri.....	146
Çizelge 3. 117 Termal suya ait V2 hızı 1.25 A akım kapalı çevrim deney öncesi ölçüm değerleri	146
Çizelge 3. 118 Kapalı çevrim V2 pompa hızında ve 1.25 A akımda deney ölçüm değerleri	147
Çizelge 3. 119 Kapalı çevrim V2 pompa hızı, 1.25 A akımda standart sapma ve yüzde değişimleri.....	148
Çizelge 3. 120 Termal suya ait V3 hızı 0.75 A akım kapalı çevrim deney öncesi ölçüm değerleri	148
Çizelge 3. 121 Kapalı çevrim V3 pompa hızında ve 0.75 A akımda deney ölçüm değerleri	149
Çizelge 3. 122 Kapalı çevrim V3 pompa hızı, 0.75 A akımda standart sapma ve yüzde değişimleri.....	150
Çizelge 3. 123 Termal suya ait V3 hızı 1.25 A akım kapalı çevrim deney öncesi ölçüm değerleri	150

Çizelge 3. 124 Kapalı çevrim V3 pompa hızında ve 1.25 A akımda deney ölçüm değerleri	151
Çizelge 3. 125 Kapalı çevrim V3 pompa hızı 1.25 A akımda standart sapma ve yüzde değişimleri.....	152
Çizelge 3. 126 Kapalı çevrim termal su V2 ve V3 pompa hızında iki farklı akıma ait TDS-EC değişimi.....	153
Çizelge 3. 127 Açık çevrim ek deneylere ait TDS değişim tablosu.....	156
Çizelge 3. 128 Açık çevrim ek deneylere ait EC değişim tablosu	156
Çizelge 3. 129 Kapalı çevrim ek deneylere ait TDS değişim tablosu	158
Çizelge 3. 130 Kapalı çevrim ek deneylere ait EC değişim tablosu	158
Çizelge 3. 131 0.01 M NaCl içeren saf su deneylerine ait en yüksek ortalama EC değerine göre sıralama tablosu	160
Çizelge 3. 132 0.1 M NaCl içeren saf su deneylerine ait en yüksek ortalama EC değerine göre sıralama tablosu	160
Çizelge 3. 133 1 M NaCl içeren saf su deneylerine ait ortalama EC değerine göre sıralama tablosu	160
Çizelge 3. 134 Termal su açık çevrim V2 hızında ortalama EC değerine göre sıralama tablosu	161
Çizelge 3. 135 Termal su Açık çevrim V3 hızında ortalama EC değerine göre sıralama tablosu	161
Çizelge 3. 136 Termal su kapalı çevrim V2 hızında ortalama EC değerine göre sıralama tablosu	162
Çizelge 3. 137 Termal su kapalı çevrim V3 hızında ortalama EC değerine göre sıralama tablosu	162
Çizelge 3. 138 V2 hızında filtreleme sonrasında tutulan maddem miktarları.....	167
Çizelge 3. 139 V3 hızında filtreleme sonrasında tutulan maddem miktarları.....	167
Çizelge 3. 140 0.5 A / V2 hızında filtreleme sonrasında tutulan madde boyutu örneği	169
Çizelge 3. 141 0.5 A / V3 hızında filtreleme sonrasında tutulan madde boyutu örneği	170
Çizelge 3. 142 1 A / V2 hızında filtreleme sonrasında tutulan madde boyutu örneği .	171
Çizelge 3. 143 1 A / V3 hızında filtreleme sonrasında tutulan madde boyutu örneği .	172

Çizelge 3. 144 1.5 A / V2 hızında filtreleme sonrasında tutulan madde boyutu örneği	173
Çizelge 3. 145 1.5 A / V3 hızında filtreleme sonrasında tutulan madde boyutu örneği	174
Çizelge 3. 146 0.75 A / V2 hızında filtreleme sonrasında tutulan madde boyutu örneği	175
Çizelge 3. 147 0.75 A / V3 hızında filtreleme sonrasında tutulan madde boyutu örneği	176
Çizelge 3. 148 1.25 A / V2 hızında filtreleme sonrasında tutulan madde boyutu örneği	177
Çizelge 3. 149 1.25 A / V3 hızında filtreleme sonrasında tutulan madde boyutu örneği	178
Çizelge 3. 150 Silan içeren 0.75 A / V2 hızında filtreleme sonrasında tutulan madde boyutu örneği	181
Çizelge 3. 151 Silan içeren 1 A / V3 hızında filtreleme sonrasında tutulan madde boyutu örneği	182
Çizelge 3. 152 Silan içeren 1.5 A / V2 hızında filtreleme sonrasında tutulan madde boyutu örneği	183
Çizelge 3. 153 Termal suya ait V3 hızı 0.5 A akım kapalı çevrim deney öncesi ölçüm değerleri	184
Çizelge 3. 154 Kapalı çevrim V3 pompa hızında ve 0.5A akımda deney ölçüm değerleri	185
Çizelge 3. 155 Kapalı çevrim V3 pompa hızı, 0.5 A akımda standart sapma ve yüzde değişimleri.....	186
Çizelge 3. 156 Termal suya ait V3 hızı 1 A akım kapalı çevrim deney öncesi ölçüm değerleri	186
Çizelge 3. 157 Kapalı çevrim V3 pompa hızında ve 1 A akımda deney ölçüm değerleri	187
Çizelge 3. 158 Kapalı çevrim V3 pompa hızı, 1 A akımda standart sapma ve yüzde değişimleri.....	188
Çizelge 3. 159 Termal suya ait V2 hızı 1.5 A akım kapalı çevrim deney öncesi ölçüm değerleri	188

Çizelge 3. 160 Kapalı çevrim V2 pompa hızında ve 1.5 A akımda deney ölçüm değerleri	189
Çizelge 3. 161 Kapalı çevrim V2 pompa hızı, 1.5 A akımda standart sapma ve yüzde değişimleri.....	190
Çizelge 3. 162 Silan içeren termal su V3 hızı 0.5 A akım deney öncesi ölçüm değerleri	190
Çizelge 3. 163 Silan içeren termal su V3 pompa hızında ve 0.5 A akımda deney ölçüm değerleri	191
Çizelge 3. 164 Silan içeren termal su V3 / 0.5 A akımda standart sapma ve yüzde değişimleri.....	192
Çizelge 3. 165 Silan içeren termal su V3 hızı 1 A akım akım deney öncesi ölçüm değerleri	192
Çizelge 3. 166 Silan içeren termal su V3 pompa hızında ve 1 A akımda deney ölçüm değerleri	193
Çizelge 3. 167 Silan içeren termal su V3 / 1 A akımda standart sapma ve yüzde değişimleri.....	194
Çizelge 3. 168 Silan içeren termal su V2 hızı 1.5 A akım akım deney öncesi ölçüm değerleri	194
Çizelge 3. 169 Silan içeren termal su V2 pompa hızında ve 1.5 A akımda deney ölçüm değerleri	195
Çizelge 3. 170 Silan içeren termal su V2 / 1.5 A akımda standart sapma ve yüzde değişimleri.....	196
Çizelge 4. 1 Saf su çözeltisi 30 dk'lık deneyler boyunca elde edilen ortalama değerler	214
Çizelge 4. 2 Saf su çözeltisi 30 dk'lık deneyler boyunca elde edilen istatistiksel ortalamalar	215
Çizelge 4. 3 Saf su deneylerinde elde edilen en yüksek EC ve TDS değerlerinin sıralaması	215
Çizelge 4. 4 Giriş ve deney sonrası ortalama çıkış değerleri arasındaki değişim yüzdeleri	217
Çizelge 4. 5 Açık çevrim termal suda V2 hızında elde edilen ortalama değerler	218
Çizelge 4. 6 Açık çevrim termal suda V3 hızında elde edilen ortalama değerler	218

Çizelge 4. 7 Açık çevrim termal su V2 hızında elde edilen istatistiksel ortalamalar...	219
Çizelge 4. 8 Açık çevrim termal su V3 hızında elde edilen istatistiksel ortalamalar...	219
Çizelge 4. 9 V2 hızında Giriş ve deney sonrası değişim yüzdeleri	220
Çizelge 4. 10 V3 hızında Giriş ve deney sonrası değişim yüzdeleri	220
Çizelge 4. 11 Açık çevrim deneylerde elde edilen en yüksek EC ve TDS değerlerinin sıralaması	221
Çizelge 4. 12 Açık çevrim V2 hızında ölçüm yerinde göre TDS değişimi	221
Çizelge 4. 13 Açık çevrim V2 hızında ölçüm yerinde göre EC değişimi	222
Çizelge 4. 14 Açık çevrim V3 hızında ölçüm yerinde göre TDS değişimi	222
Çizelge 4. 15 Açık çevrim V3 hızında ölçüm yerinde göre EC değişimi	222
Çizelge 4. 16 Kapalı çevrim termal suda V2 hızında elde edilen ortalama değerler ...	223
Çizelge 4. 17 Kapalı çevrim termal suda V3 hızında elde edilen ortalama değerler ...	224
Çizelge 4. 18 Kapalı çevrim termal su çözeltisi V2 hızında elde edilen istatistiksel ortalamalar	224
Çizelge 4. 19 Kapalı çevrim termal su çözeltisi V3 hızında elde edilen istatistiksel ortalamalar	225
Çizelge 4. 20 V2 hızında Giriş ve deney sonrası çıkış ortalamaları arasındaki yüzdesel farklar	225
Çizelge 4. 21 V3 hızında Giriş ve deney sonrası çıkış ortalamaları arasındaki yüzdesel farklar	226
Çizelge 4. 22 Kapalı çevrim deneylerde elde edilen en yüksek EC ve TDS değerlerinin sıralaması	226
Çizelge 4. 23 Kapalı çevrim V2 hızında ölçüm yerinde göre TDS değişimi	227
Çizelge 4. 24 Kapalı çevrim V2 hızında ölçüm yerinde göre EC değişimi	227
Çizelge 4. 25 Kapalı çevrim V3 hızında ölçüm yerinde göre TDS değişimi	228
Çizelge 4. 26 Kapalı çevrim V3 hızında ölçüm yerinde göre EC değişimi	228
Çizelge 4. 27 1 A / V3 hızında filtreleme sonrasında tutulan madde boyutu örneği ...	229
Çizelge 4. 28 1.5 A / V2 hızında filtreleme sonrasında tutulan madde boyutu örneği	230
Çizelge 4. 29 Kapalı çevrim filtreleme ve kurutma sonrasında tutulan madde miktarları	231
Çizelge 4. 30 Açık çevrim filtreleme ve kurutma sonrasında tutulan madde miktarları	231

Çizelge 4. 31	V2 hızında tohumla sonrasında oluşan ortalama TDS ve EC değerleri.	231
Çizelge 4. 32	V3 hızında tohumla sonrasında oluşan ortalama TDS ve EC değerleri.	232
Çizelge 4. 33	Nano silis deneyleri filtreleme ve kurutma sonrasında tutulan madde miktarları.....	233
Çizelge 5. 1	V2 hızında tohumla sonrasında oluşan ortalama TDS ve EC değerleri...	234
Çizelge 5. 2	Kapalı çevrim filtreleme ve kurutma sonrasında tutulan madde miktarları	235
Çizelge 5. 3	Silan içeren ve içermeyen deneyler sonucunda tutulan madde miktarları	235
Çizelge 5. 4	Kapalı çevrim deneyler sonucunda elde edilen TDS ve EC değerleri	236
Çizelge 5. 5	Silan içeren deneyler sonucunda elde edilen TDS ve EC değerleri.....	236
Çizelge 5. 6	Silan içeren ve içermeyen deneyler sonucunda tutulan madde miktarları	242

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 2. 1 Afyonkarahisar bölgesi jeotermal haritası	5
Resim 2. 2 Afyonkarahisar Heybeli jeotermal bölgesi hidrojeokimyasal analiz sonuçları	6
Resim 2. 3 Silis Jeotermometreleriyle hesaplanan rezervuar sıcaklıkları	7
Resim 2. 4 Katyon jeotermometreleriyle hesaplanan rezervuar sıcaklıkları	7
Resim 2. 5 Elektrokoagülasyon mekanizması (Den vd. 2006).	18
Resim 2. 6 Örnek bir elektrokoagülasyon devresi deney düzeneği (Schulz vd. 2009)..	19
Resim 2. 7 Bulanıklık gidermek amaçlı kullanılan elektrokoagülasyon düzeneği (Güney 2013).	20
Resim 2. 8 a) Monopolar paralel bağlantı b) Monopolar seri bağlantı c) Bipolar seri bağlantı (14)	36
Resim 3. 1 Elektroliz deney düzeneği	44
Resim 3. 2 DC güç kaynağı	45
Resim 3. 3 Peristaltik pompa	45
Resim 3. 4 pH ve sıcaklık ölçer	46
Resim 3. 5 TDS ve EC ölçer	46
Resim 3. 6 Besleme suyu için 1000 ml’lik mezür ve biriktirmek için 600 ml’lik beher kap	47
Resim 3. 7 İlk elektroliz deney düzeneği	47
Resim 3. 8 Pompa debi ölçüm düzeneği	48
Resim 3. 9 Pompa ayar kademeleri	49
Resim 3. 10 Kapalı devre çevrim termal su deney 1. Aşama	111
Resim 3. 11 Kapalı devre çevrim termal su deney 2. aşama	111
Resim 3. 12 Deney sonrasında elde edilen su numunelerinin etiketlenmesi	163
Resim 3. 13 Filtre kağıdı	163
Resim 3. 14 Deney su numunelerinin filtrelenmesi	164
Resim 3. 15 Filtrelenmiş deney numuneleri	164
Resim 3. 16 Kurutma yapılan etüv	165
Resim 3. 17 Kapalı çevrim ilk yapılan deneyde kullanılan filtreler	165
Resim 3. 18 Kapalı çevrim ek olarak yapılan deney kullanılan filtreler	166

Resim 3. 19 Filtreme de tutulan malzemelerin ölçül düğü hassas terazi	166
Resim 3. 20 Kapalı çevrim ilk deney sonrası elde edilen mikroskop inceleme numuneleri	167
Resim 3. 21 Kapalı çevrim ek deney sonrası elde edilen mikroskop inceleme numuneleri	168
Resim 3. 22 Numunelerin incelendiği optik mikroskop	168
Resim 3. 23 0.5 A / V2 optik mikroskop görüntüsü	169
Resim 3. 24 0.5 A / V3 optik mikroskop görüntüsü	170
Resim 3. 25 1 A / V2 optik mikroskop görüntüsü	171
Resim 3. 26 1 A / V3 optik mikroskop görüntüsü	172
Resim 3. 27 1.5 A / V2 optik mikroskop görüntüsü	173
Resim 3. 28 1.5 A / V3 optik mikroskop görüntüsü	174
Resim 3. 29 0.75 A / V2 optik mikroskop görüntüsü	175
Resim 3. 30 0.75 A / V3 optik mikroskop görüntüsü	176
Resim 3. 31 1.25 A / V2 optik mikroskop görüntüsü	177
Resim 3. 32 1.25 A / V2 optik mikroskop görüntüsü	178
Resim 3. 33 Silan içeren 0.75 A / V2 optik mikroskop görüntüsü	181
Resim 3. 34 Silan içeren 1 A / V3 optik mikroskop görüntüsü	182
Resim 3. 35 Silan içeren 1.5 A / V2 optik mikroskop görüntüsü	183
Resim 3. 36 Nano silis filtreleme işlemi sonrasındaki numuneler.....	196
Resim 3. 37 Nano sili filtrelenmiş su numuneler.....	197
Resim 3. 38 Mikron altı altın kaplama cihazı	197
Resim 3. 39 SEM cihazı.....	198
Resim 3. 40 0.5 A akım V3 pompa hızına ait 5K SEM görüntüsü	198
Resim 3. 41 0.5 A akım V3 pompa hızına ait 10K SEM görüntüsü	199
Resim 3. 42 0.5 A akım V3 pompa hızına ait 20K SEM görüntüsü 1. bölge	199
Resim 3. 43 0.5 A akım V3 pompa hızına ait 20K SEM görüntüsü 2. bölge	200
Resim 3. 44 0.5 A akım V3 pompa hızına ait 20K SEM görüntüsü 3. bölge	200
Resim 3. 45 1 A akım V3 pompa hızına ait 5K SEM görüntüsü	201
Resim 3. 46 1 A akım V3 pompa hızına ait 10K SEM görüntüsü	201
Resim 3. 47 1 A akım V3 pompa hızına ait 20K SEM görüntüsü 1. bölge	202
Resim 3. 48 1 A akım V3 pompa hızına ait 20K SEM görüntüsü 2. bölge	202

Resim 3. 49	1 A akım V3 pompa hızına ait 20K SEM görüntüsü 3. bölge	203
Resim 3. 50	1.5 A akım V2 pompa hızına ait 5K SEM görüntüsü	203
Resim 3. 51	1.5 A akım V2 pompa hızına ait 10K SEM görüntüsü	204
Resim 3. 52	1.5 A akım V2 pompa hızına ait 20K SEM görüntüsü 1. bölge	204
Resim 3. 53	1.5 A akım V2 pompa hızına ait 20K SEM görüntüsü 2. bölge	205
Resim 3. 54	1.5 A akım V2 pompa hızına ait 20K SEM görüntüsü 3. bölge	205
Resim 3. 55	Silan içeren 0.5 A akım V3 pompa hızına ait 5K SEM görüntüsü	206
Resim 3. 56	Silan içeren 0.5 A akım V3 pompa hızına ait 10K SEM görüntüsü	206
Resim 3. 57	Silan içeren 0.5 A akım V3 pompa hızına ait 20K SEM görüntüsü 1. bölge	207
Resim 3. 58	Silan içeren 0.5 A akım V3 pompa hızına ait 20K SEM görüntüsü 2. bölge	207
Resim 3. 59	Silan içeren 0.5 A akım V3 pompa hızına ait 20K SEM görüntüsü 3. bölge	208
Resim 3. 60	Silan içeren 1 A akım V3 pompa hızına ait 5K SEM görüntüsü	208
Resim 3. 61	Silan içeren 1 A akım V3 pompa hızına ait 10K SEM görüntüsü	209
Resim 3. 62	Silan içeren 1 A akım V3 pompa hızına ait 20K SEM görüntüsü 1. bölge	209
Resim 3. 63	Silan içeren 1 A akım V3 pompa hızına ait 20K SEM görüntüsü 2. bölge	210
Resim 3. 64	Silan içeren 1 A akım V3 pompa hızına ait 20K SEM görüntüsü 3. bölge	210
Resim 3. 65	Silan içeren 1.5 A akım V2 pompa hızına ait 5K SEM görüntüsü	211
Resim 3. 66	Silan içeren 1.5 A akım V2 pompa hızına ait 10K SEM görüntüsü	211
Resim 3. 67	Silan içeren 1.5 A akım V2 pompa hızına ait 20K SEM görüntüsü 1. bölge	212
Resim 3. 68	Silan içeren 1.5 A akım V2 pompa hızına ait 20K SEM görüntüsü 2. bölge	212
Resim 3. 69	Silan içeren 1.5 A akım V2 pompa hızına ait 20K SEM görüntüsü 3. bölge	213
Resim 4. 1	Üç farklı NaCl içeren çözeltide V3 pompa hızında logaritmik EC değişimi	216

Resim 4. 2 Üç farklı NaCl içeren çözeltide V3 pompa hızında logaritmik TDS değişimi	217
Resim 4. 3 1 A / V3 optik mikroskop görüntüsü	229
Resim 4. 4 1.5 A / V2 optik mikroskop görüntüsü	230
Resim 4. 5 (a) 0.5 A / V3 kapalı çevrim SEM görüntüsü (b) silan içeren 0.5 A / V3 kapalı çevrim SEM görüntüsü	232
Resim 4. 6 (a) 1 A / V3 kapalı çevrim SEM görüntüsü (b) silan içeren 1 A / V3 kapalı çevrim SEM görüntüsü	233
Resim 4. 7 (a) 1.5 A / V2 kapalı çevrim SEM görüntüsü (b) silan içeren 1.5 A / V2 kapalı çevrim SEM görüntüsü	233
Resim 5. 1 Nano boyuttaki parçayı içeren örnek SEM görüntüsü	237
Resim 5. 2 (a), (b), (c) Silan içeren kapalı çevrim numunelerin ve (d), (e), (f) kapalı çevrim numunelerin 10 000 K X SEM görüntüleri.....	238
Resim 5. 3 (a), (b), (c) Silan içeren kapalı çevrim numunelerin ve (d), (e), (f) kapalı çevrim numunelerin 20 000 K X SEM görüntüleri.....	239
Resim 5. 4 Elektrokoagülasyon deney düzeneği.....	241
Resim 5. 5 Elektrokogülasyon sırasında oluşan EDX görüntüsü	241
Resim 5. 6 İstenmeyen maddelerin uzaklaştırılması sonucunda elde edilebilecek EDX görüntüsü.....	242

1. GİRİŞ

Termal sularda bulunan silis tesisat sistemlerinin verimli çalışmasını engelleyen, borularda ve kuyularda tıkanıklıklara sebep olan maddelerden biridir. Jeotermal tuzlu suların içerisinde bulunan silikanın çoğu çözünmüş halde bulunur ve termal tesislerde borulara silikanın bağlanma eğilimi ortam sıcaklık düşüşüyle daha da fazla olmaktadır. Jeotermal tuzlu sulardaki çözünmüş silikanın kontrol altında tutulması tesisat ve bağlantı elemanlarına ait kullanım ömrünün uzatılması için önemlidir.

Şimdiye kadar yapılan silika konulu çalışmalarda, silika polimerizasyon hızı üzerindeki etkiler, sudaki pH kontrolü ve reaktif ilave edilmesi sonucunda silikanın kontrollü çökeltilmesi üzerine çalışılmıştır. Jeotermal sınırlardaki silika polimerizasyonu ve silikanın ölçeklendirilmesi verimli bir şekilde sağlanamaması önemli bir teknik problemlere sebep olacağından bu polimerizasyon kontrolünü sağlamak termal sistemler için yüksek bakımı maliyetlerini de azaltacaktır.

Elektroliz, elektrokoagülasyon çalışmaları literatürde çubuk elektrotlar ya da elektrot plakalar kullanılmıştır, bu tezde her ikisi de aynı anda elektrokoagülasyon düzeneğinin içerisinde kullanılarak deney çalışmaları yapılmıştır. Ayrıca Afyonkarahisar Bölgesine ait jeotermal suyunun farklı akım şiddetleri ve farklı pompa hızlarında elektrokoagülasyon yöntemi uygulanarak çökeltmesi ve deneylerin sonucunda nano boyutta silis elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla elektrokoagüle edilen termal su deney düzeneğine tekrar verilerek tohumlama işleminin (CEED) yapılmasıyla çöken silisin zenginleştirilerek miktarının artırılması ve laboratuvar ortamında üretilen silanın sisteme eklenmesi sonucunda nano silis elde etme sürecine, çıktılarına etkileri üzerine çalışmalar yapılmıştır.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Jeotermal Sular ve Silis Oluşumu

Jeotermal sular magmanın etkisiyle yerkabuğunun derinliklerinden yüksek basınçta yeryüzüne çıkmaktadırlar. Jeotermal suların kimyasal özellikleri yeryüzüne çıkıncaya kadar ki geçmiş olduğu katmanlarda ki kayaçların özelliklerine bağlı olarak oluşmaktadır. Yüksek sıcaklığın etkisiyle kayaçlarla tepkimeye giren jeotermal sular çözünmüş mineralleri de yeryüzüne taşınmaktadır bu minerallerden biride silikadır. Basınç ve sıcaklığın etkisiyle mineraller çözeltide kalmakla birlikte termal su çeşitli sebeplerle soğumaya başladığındaysa içindeki mineraller çökmeye başlamakta ve bu durum da çeşitli sorunlara sebep olmaktadır. Jeotermal sistemlerde termal sular yeryüzünde çıkış noktalarında sıcaklık düşüşü bağlı olarak silisler kristalleşerek çökmektedirler. Silis çökelmeleri termal sistemlerde istenmeyen bir durum olup bu çökelmeler tesisata zarar vermektedir. Çözünmüş silis içeren termal suların basınç ve sıcaklık ayarlamasıyla çökmeyi minimuma indirip geri enjeksiyonu sağlanmak temel amaçtır (Hauksdóttir 2016).

Jeotermal sularda silikanın çoğu çözünmüş halde bulunur ve silisin kontrolsüz çökmesi sistemlerin verimli çalışmasını engellemektedir. Silikanın bağlanma eğilimi ortam sıcaklık düşüşüyle artmakta olup borularda ve kuyularda tıkanıklıklara sebep olmaktadır. Şimdiye kadar yapılan termal sularda silika ilgili çalışmalarda silika polimerizasyon hızının üzerine etki eden sudaki pH'nı kontrol edilerek ve reaktif ilave edilerek silikanın kontrollü çökeltmesi üzerine çalışılmıştır. Jeotermal sulardaki silika polimerizasyonunun ve silikanın ölçeklendirilmesinin verimli bir şekilde sağlanamaması önemli teknik problemlere sebep olacağından bu polimerizasyonun kontrol altına alınması termal sistemler için yüksek bakım maliyetlerinin azalmasına katkı sağlayacaktır.

Yukarıda saydığımız sebeplerden dolayı jeotermal enerji sistemlerinde silika genel anlamda büyük bir problem ve kurtulmak istenilen bir madde olarak görülür. Aslında silis termal sistemlerden uzaklaştırılırken istenilen özelliklerde çöktilebilirse istenmeyen madde olmaktan çıkıp biranda katma değeri yüksek bir hazineye de dönüşebilir.

Sonuç olarak da jeotermal sulardan mineral çıkarmak para kazandıran doğal bir madencilik haline gelebilir (İnt. Kyn. 1).

Türkiye bölgesel aktif tektonik yapı içerisinde bulunur bu nedenle jeotermal kaynaklar bakımından oldukça zengindir. Sıcaklık olarak 40°C'in üzerindeki olan bölgelerin sıralamasına baktığımızda Ege Bölgesi birinci sırada olup daha sonra sırasıyla Orta Anadolu, Marmara Bölgesi ve Doğu Anadolu Bölgesi gelmektedir. Afyonkarahisar bu bölgeler içinde Batı Anadolu Bölgesinde yer alan en önemli jeotermal alanlardan birisidir

Afyonkarahisar'daki jeotermal sular değişen miktarlarda çözünmüş halde gaz ve katı maddeler içerir. Çözünme ve çökelme miktarları bölgedeki kayaçların yapısına, rezervuar sıcaklığına, basınca, pH'a bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Afyonkarahisar-Akşehir graben bölgesinde bulunan 4 jeotermal bölge vardır ve bu bölgelerden biri olan Ömer-Gecek sahası 50-125°C akışkan sıcaklığıyla en yüksek sıcaklığa sahip olanıdır. Diğer bölgeler ise sırasıyla Gazlıgöl, Sandıklı ve Heybeli sahalarıdır (Başaran ve Gökgez 2017).

Termal sularda silis çözünürlüğünde en önemli etkenlerden biri olan rezervuar sıcaklığıdır ve bunun belirlenmesinde de kullanılan yöntemin adı jeotermometredir. Jeotermometre su-kayaç etkileşimiyle oluşan kimyasal bileşimleri bölgenin fay yapısı ve suyun rezervuarda kazandığı kimyasal özelliklerinden yararlanarak aktif kayaçtaki sıcaklıkların tahminine yarayan özel denklemlerdir. Jeotermometreler mineral bileşiminin rezervuar kayaç bileşimine uygunluğunu, kayaçlar arasındaki kimyasal dengenin sağlanıp sağlanmadığı, termal suya bu süreçte soğuk suyun karışıp karışmadığı gibi faktörleri göz önüne alarak rezervuar sıcaklığını hesaplamaya yarayan yöntemlerdendir (Doğdu 2004).

2.2 Afyonkarahisar Bölgesi Jeotermal Sular ve Özellikleri

Ülkelerin kalkınma ve büyüme hızları arttıkça enerji ihtiyaçları da artmakta olup genel anlamda bu enerji ihtiyaçlarının büyük bir kısmını fosil yakıtlardan sağlamaktadırlar. Dünya üzerindeki fosil yakıtların oluşumunu sağlayan rezervlerse her geçen gün tükenmekte olup yeni rezervlerin oluşturulması, işlenmesiye oldukça pahalıdır. Fosil yakıtların çevreye verdiği zararlar nedeniyle alternatif çevreye daha az zararlı enerji kaynaklarının ve doğadaki yenilebilir enerji kaynaklarının kullanımı gitgide önem kazanmaktadır. Jeotermal enerjide bu anlamda önemli alternatif bir seçenek olmakla beraber Afyonkarahisar bu anlamda Türkiye’de ki en önemli sahalardan biridir. Afyonkarahisar bölgesinde ki jeotermal alanlardan çıkan suların kimyasal yapıları ve sıcaklık değerleri birbirinden farklı olmakla beraber aşağıdaki Çizelge 2.1’de bu bölgelere ait suların genel özellikleri verilmiştir.

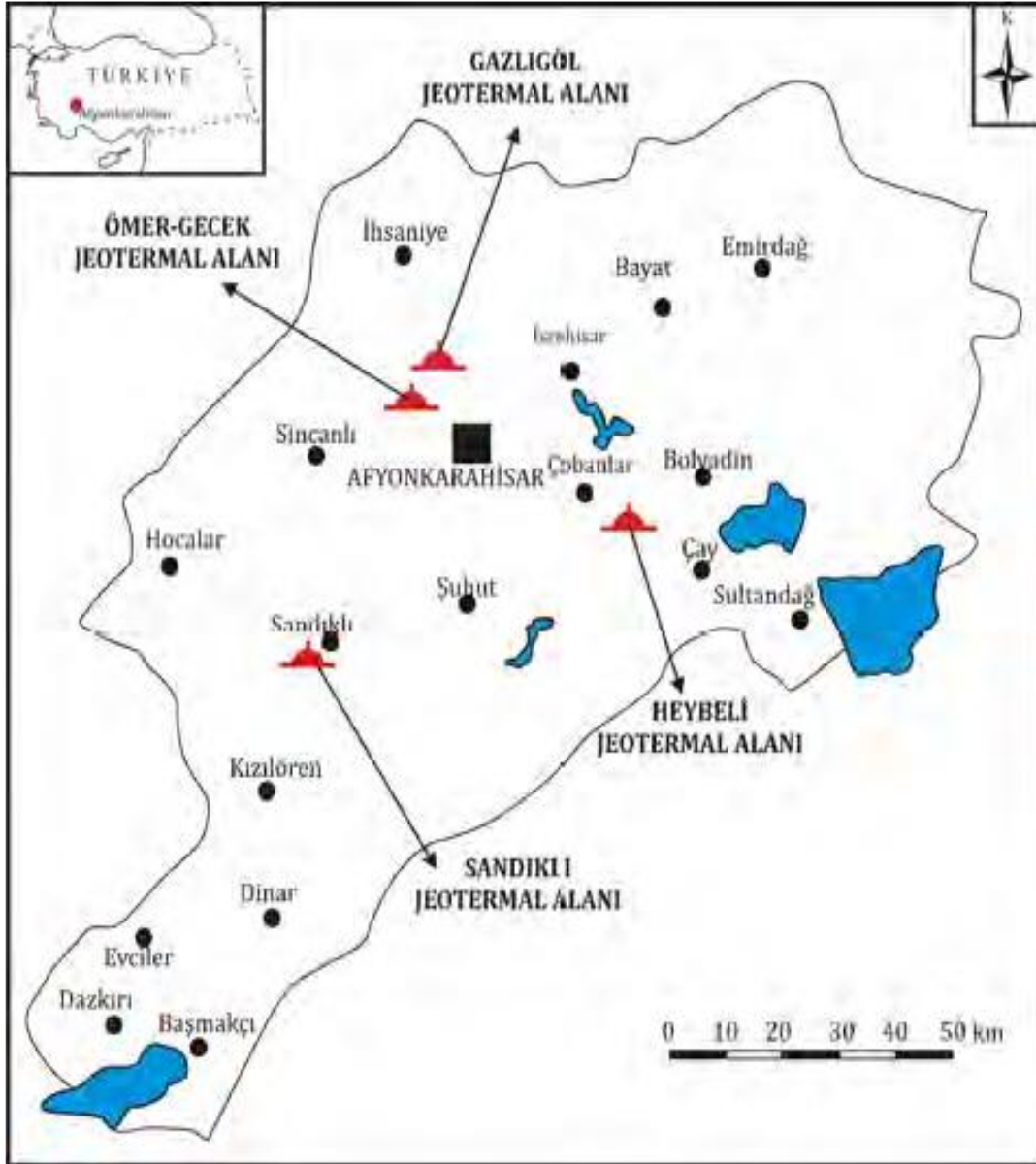
Çizelge 2. 1 Afyonkarahisar’daki jeotermal bölgelere ait suların özellikleri

Bölgenin adı	Suyun yapısı	Rezervuar sıcaklıkları
Ömer-Gecek	Na-HCO ₃	130-147 °C
Gazlıgöl	Na-HCO ₃	104-119 °C
Heybeli	Na-Ca-HCO ₃ -SO ₄	74-91 °C
Sandıklı	Na-Ca-SO ₄ -HCO ₃	100-120 °C

Diğer jeotermal bölgelere kıyaslandığında Ömer-Gecek bölgesinde Na ve Cl değeri daha yüksek; Gazlıgöl bölgesinde HCO₃ değeri daha yüksek, SO₄ ‘ün ise daha düşük olduğu görülmüştür. Afyonkarahisar bölgesine ait jeotermal alanlar Resim 2.1’de ki haritada gösterilmiştir. Gazlıgöl, Sandıklı, Heybeli bölgelerindeki suların denge durumuna ulaşmadıkları biliniyor olup Afyonkarahisar bölgesinde kimyasal jeotermometre kullanımı bakımından kuvars jeotermometresinin daha uygun olduğu görülmüştür (Demir ve Memiş 2015).

Fosil yakıtlara alternatif yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan jeotermal sular aynı zamanda içerisindeki değerli minerallerin toplanması ve katma değerli yeni ürünlerin elde edilmesi açısından yeni bir çalışma alanı olmuştur.

Yüksek entalpi sistemlerindeki jeotermal sıvılar genellikle çözülmüş mineraller ve metaller ile zenginleşir soğumayla birlikte çökmeye başlar. Jeotermal sularda birçok minerallerle birlikte silisinde çözünürlüğün etkileyen en büyük etken sıcaklık faktörüdür.



Resim 2. 1 Afyonkarahisar bölgesi jeotermal haritası

Afyonkarahisar bölgesinde silis çözünürlüğü üzerine yapılan çalışmalarda rezervuar sıcaklıklarının tespitinde jeotermometreler kullanarak silis çözünürlükleri hesaplanmıştır. Heybeli termal bölgesinde H-1/A, H-3 ve H-4 kuyularından alınan numunelerden hidrojeokimyasal analiz sonuçları elde edilmiştir. Resim 2.2.'de bu bölgedeki suların hidrokimyasal analiz sonuçları verilmiştir.

Parametreler	Ornek adi			Standartlar		
	H-1/A	H4	HSK	DMSHY, 2004	İTASHY, 2005	WHO, 2006
T (°C)	56,0	56,0	11,4	-	-	-
pH	6,53	6,56	6,75	-	6,5-9,5	6,5-8,5
EC (µS/cm)	3490	3440	1330	-	-	-
TDS (mg/l)	2443	2408	931	-	-	1000
Na ⁺ (mg/l)	401,40	395,50	70,89	-	200	200
K ⁺ (mg/l)	40,96	40,57	1,81	-	-	-
Mg ⁺⁺ (mg/l)	61,99	62,68	24,29	-	-	-
Ca ⁺⁺ (mg/l)	276,50	284,10	180,80	-	-	-
SiO ₂ (mg/l)	37,78	37,50	4,98	-	-	-
Li (mg/l)	1,06	1,03	0,08	-	-	-
Pb (mg/l)	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,01	0,01
Zn (mg/l)	<0,01	<0,01	<0,01	-	-	-
Cu (mg/l)	<0,01	<0,01	<0,01	1	2	2
Al (mg/l)	<0,01	<0,01	<0,01	0,2	0,2	0,2
Fe (mg/l)	0,92	0,33	<0,01	-	0,2	0,3
Mn (mg/l)	<0,01	<0,01	<0,01	0,5	0,05	0,4
Sr (mg/l)	1,18	0,34	0,82	-	-	-
Sb (mg/l)	<0,01	<0,01	<0,01	0,005	0,005	0,005
As (mg/l)	0,80	0,88	<0,01	0,01	0,01	0,01
B (mg/l)	1,31	1,24	<0,01	-	1	0,5
Ba (mg/l)	0,02	0,02	<0,01	1	-	0,7
Tl (mg/l)	<0,01	<0,01	<0,01	-	-	-
NO ₃ ⁻ (mg/l)	<0,10	<0,10	16,61	50	50	50
NO ₂ ⁻ (mg/l)	<0,10	<0,10	<0,10	0,1	0,5	0,2
NH ₄ ⁺ (mg/l)	0,61	0,44	<0,06	-	0,5	1,5
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	1464,0	1403,0	671,0	-	-	-
PO ₄ ²⁻ (mg/l)	<0,20	<0,20	<0,20	-	-	-
Cl ⁻ (mg/l)	122,42	121,67	30,70	-	250	250
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	709,98	712,98	189,45	-	250	250
F ⁻ (mg/l)	2,53	2,67	0,21	5	1,5	1,5
%YD	-4,8	-3,5	-4,9	-	-	-
Sl _c (calcite)	0,642	0,666	0,032	-	-	-
Sl _d (dolomite)	2,228	2,269	0,425	-	-	-
Sl _q (quartz)	0,504	0,501	0,113	-	-	-

Resim 2. 2 Afyonkarahisar Heybeli jeotermal bölgesi hidrojeokimyasal analiz sonuçları

Bu kuyulardan alınan numunelere uygulanan silika ve katyon jeotermometreleri sonucunda rezervuar sıcaklıkları hesaplanmış olup Resim 2.3 ve Resim 2.4’de verilmiştir. Kuvars jeotermometresiyle ölçülen kuyu başı sıcaklığının 75-90°C olduğu görülmüş olup silika çözünürlüğünün genel anlamda bulunan değerlerin düşük bir rezervuar sıcaklığı olduğu söylenebilir (Demir ve Memiş 2017).

Ornek no	Sıcaklık (°C)	Kuvars adyabatik ^a	Kuvars max. buh. ^a	Kuvars 25-330°C ^b	Kuvars, adyabatik ^b	Kuvars 0-350°C ^c	Kuvars 0-350°C adyabatik ^c	Kalsedon ^a	Kalsedon ^d
H1-A	56,0	89,18	91,60	89,69	90,08	75,07	76,78	58,39	60,51
H-4	56,0	88,86	91,32	89,37	89,76	74,74	76,46	58,06	60,19

Resim 2. 3 Silis Jeotermometreleriyle hesaplanan rezervuar sıcaklıkları

Ornek no	Sıcaklık (°C)	Na-K ^a	Na-K ^b	Na-K ^c	Na-K ^d	Na-K ^e	Na-K ^f	Na-K ^g	Na-K-Ca ^h	K-Mg ⁱ	Li-Mg ^j
H1-A	56,00	190,15	225,53	197,21	217,29	218,87	205,62	234,07	104,23	79,30	205,35
H-4	56,00	190,72	226,17	197,75	217,71	219,33	206,07	234,50	103,02	78,94	206,90

Resim 2. 4 Katyon jeotermometreleriyle hesaplanan rezervuar sıcaklıkları

2.3 Nano Silisin Özellikleri

Silika doğada genelde kuvars halinde bulunan ve silikondioksit olarak bilinen kimyasal bir bileşiktir. Silika, gıda sanayi, ilaç endüstrisi, mikroelektronik, kişisel bakım kozmetik, lastik ve kauçuk sektörü ve diş tedavi uygulamaları gibi birçok alanda da kullanılmaktadır. Silikanın değerli bir ürün olarak endüstride kullanılabilmesi için saflığının yüksek olması, elde edilen silikanın yüzey alanının büyük olması, geniş gözenek hacmi ve düzgün gözenek boyutu gibi özelliklere sahip olması gerekmektedir.

Silika genelde kuvars madenciliği ve saflaştırılmasıyla elde edilir eğer daha saf bir silis elde etmek isteniyorsa çeşitli kimyasal işlemlere tabi tutulur. Yüzey alanı büyük (BET) silika ürünleri elde etmek için, kuvars alkali bir ortamda çözünüp sonra asitleştirmeye tabi tutularak koloidal silikanın endüstriyel olarak elde edilebilmektedir.

Katı silika kristal ve amorf olarak iki farklı yapıda bulunur. Üç boyutlu tekrar eden bir modellemede silikon ve oksijen atomları 3 boyutlu tekrarlanarak kristalin yapısını oluşturur. Amorf silikalar yaygın olarak füme, koloidal silikayla veya çökelmiş silika ve silika jelleri şeklinde bulunur.

Koloidal silikalar asitik özelliklerdeki solüsyonlarda süspanse edilip çöktürülerek elde edilmekte olup silika partikülleri gözeneksiz bir çekirdeğe sahiptir. Koloidal silika kullanılan önemli bazı endüstri kolları ve istenen özellikler Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2. 2 Endüstride kullanılan koloidal silikanın temel özellikleri

Kolloidal silika kullanım alanları	SiO ₂ (%)	pH	BET yüzey alanı (m ² g ⁻¹)	Ortalama parçacık büyüklüğü (µm)
Beton Katkı Elamanı	-	6.0-10.5	50-190	-
Zemin konsolidasyonunda	-	7.0-10.0	-	0.016
Kağıt üretiminde	>99	2.0-10.5	-	70-110
Gıda sanayinde	>99	5.4-7.0	-	2.5-135
Eczacılıkta	98.0-99.8	3.5-5.5	50-400	-

Füme silikaların küçük partiküllerden oluşan tipik aglomeraları vardır. Bazı endüstri dallarında kullanılan füme silikaların özellikleri Çizelge 2.3'te verilmiştir. Silika jeller silikosan bağ yapısına sahip gözeneksiz ağ yapılarıdır. Kurutulmuş jellerin içyapıları iç gözenekliliğine süngerimsi bir yapıya dönüşebilir. Sonuçta yüksek özgül ağırlığına sahip yüzey alanı ve geniş gözenek hacminde oluşabilmektedir.

Çizelge 2. 3 Endüstride kullanılan füme silikanın temel özellikleri

Füme silika kullanım alanları	SiO ₂ (%)	pH	BET yüzey alanı (m ² g ⁻¹)	Ortalama parçacık büyüklüğü (µm)
Beton Katkı Elamanı	90-98	2.0-5.5	20-260	8.5-9.7(nm)
Zemin konsolidasyonunda	>86	5.5	>15	-
Boya ve kaplama malzemelerinde	98	3.5-5.5	125-410	-
Kağıt üretiminde	99.8	3.7-4.7	50-380	-
Plastik film üretiminde	-	-	-	-
Yapıştırıcılarda ve sızdırmazlıkta	82-98	3.7-4.7	90-380	7-40 (nm)
Gıda sanayinde	>99.8	3.5-4.5	200-380	-
Eczacılıkta	-	-	200	-
Dış uygulamalarında	-	-	-	-
Kozmetikte	>	3.5-6.0	50-400	12 (nm)
Lastik ve kauçuklarda	>99.8	-	50-38	-

Silika en yaygın olarak kuvars madenciliği ve saflaştırılmasıyla elde edilir. Yüksek yüzeyli silikaların elde edilmesinde kuvars madenin alkali bir çözeltide çözünüp asitleştirme yöntemleri kullanarak kollodial silikanın çökeltilmesiyle endüstriyel olarak üretilmiş çok sayıda bilimsel çalışma örnekleri mevcuttur Çizelge 2,4'te endüstride kullanılan çökeltilmiş silikalara ait istenen özellikler verilmiştir.

Çizelge 2. 4 Endüstride kullanılan çökeltilmiş silikanın temel özellikleri

Çökeltilmiş silika kullanım alanları	SiO ₂ (%)	pH	BET yüzey alanı (m ² g ⁻¹)	Ortalama parçacık büyüklüğü (µm)
Beton Katkı Elamanı	-	6.3-10.5	85-190	-
Zemin konsolidasyonunda	-	-	-	-
Boya ve kaplama malzemelerinde	98.0	6.0-8.0	130-500	2.0-22.0
Kağıt üretiminde	82.0-99.5	6.0-10.5	35-750	4.5-10.5
Plastik film üretiminde	91.0-99.0	6.0-10.0	35-750	2.5-12.2
Yapıştırıcılarda ve sızdırmazlıkta	82.0-98.0	6.0-10.5	80-450	2.5-12.0
Gıda sanayinde	98	6.4-7.0	2.5-360	3-30
Eczacılıkta	98.5-99.0	3.5-7.0	-	6-19
Diş uygulamalarında	-	-	-	-
Kozmetikte	>98	6.0-6.5	190-500	2-320
Lastik ve kauçuklarda	>97	6.4-10.5	33-380	14-200

Jeotermal enerji kaynaklarında silika genellikle bir problem olarak kabul edilmekte birlikte günümüzdeki yeni yaklaşımlar sayesinde silika değerli bir hazine elde etmek için yeni bir çalışma alanı olabilir. Jeotermal sıvılardan mineral ve metalleri çıkarmak doğal bir madenciliktir. Bu ürünlerin değerini artırmak için çeşitli teknikleri kullanılmaktadır.

Potansiyel olarak değerli minerallerin çıkarılmasına ek bir kazanç sağlamakla kalınmaz aynı zamanda silikanın istenmedik şekilde çökmesini yol açacağı emek ve enerji kayıpları da minimuma indirilir.

Jeotermal sulardan elde edilen silikanın değerli bir ürün olabilmesi ancak belli başlı özelliklere sahip olmasına bağlıdır. Silisi değerli bir ürün olmasını sağlayan en önemli özellikler, yüksek yüzey alanı sahip, geniş gözenek hacminde ve düzgün bir gözenek boyutlu olmasıdır.

Kristal veya amorf olmak üzere iki farklı fazda katı halde bulunan silika, silikon ve oksijen atomları üç boyutlu tekrarlı modda düzenlenmiş halinin kristal olduğu söylenebilir. Amorf silikalar yaygın olarak kullanım şekillerinin de koloidal, füme veya çöktürülmüş silika ve silika jel olarak adlandırılmakta olduğu bilinmektedir

Pazarlanabilir jeotermal silika üretmek için hedeflenen pazar için ihtiyacının ne olduğu iyi bilinmesi gerekir. Silikanın bileşimsel, dokusal ve aranan teknik özelliklerinin iyi bilinmesi gerekir. Ticari amaçlı kullanılabilecek silislerin endüstrideki kullanım alanları ve aranan özelliklerinin bilinmesi gerekir.

2.4 Nano Silisin Kullanım Alanları

Beton için kullanımlarda önemli miktarda mikro gözenek içermeyen amorf silis yüksek bir reaktiviteye neden olur. Islak karışımlarda reolojik aktivite sağlayan silika kuru karışımlarda beton içinde topaklanmayı önlemeye yardımcı olmaktadır. Beton içine nano silis ilavesiyle puzolonik reaksiyonu önemli ölçüde artırarak betonun genel geçirgenliğini azalttığı, basınç dayanımını ise artırdığı görülmüştür. Nano silis ilavesi kalsiyum hidrat jelinin erken oluşumuna neden olup betonun priz süresini kısaltmaktadır.

Amorf silis yapısından dolayı elastik özelliklere sahiptir böylece dış mekanik etkilere optimum dayanım sağladığı için sismik hareketlilik olan yerle de kullanılabilmektedir. Kullanılan bu amorf silika küçük şekilde çözünmeyen, dağılmayan parçacıklardan oluşması nedeniyle kalsiyumun, çimento ve silisle iyonik etkileşimi üç boyutlu bir jel oluşmasını sağlar. Böylece yüksek özgül yüzey alanına sahip silika sayesinde ıslak betonun viskozitesini artırır.

Zemin konsolidasyonunu sağlamak amacıyla kullanılacak olan silika küçük partikül boyutundan dolayı en küçük kılcal gözeneklere nüfuz ederek sıvılara karşı direnç oluşmasını sağlar. Düşük viskozite ve çok yüksek penetrasyon özelliğiyle zemini güçlendirmek, su yalıtımı yapmak amacıyla özellikle kimyasal harçların içinde tercih edilir. Yapılan çalışmalarda koloidal silika kullanılan harçlarda sıvılaşmaya karşı üç ila on kata kadar direnç sağladığını göstermiştir.

Boyalarda ve kaplama malzemelerinde kullanılan silika katkı malzemesi olarak ta kullanılır. Silika hidrofobik veya hidrofilik, monodispers veya polidispers olabilecek çok çeşitli partikül boyutlarında kullanılabilmektedir.

Boyalarda ve kaplamalarda düşük parlaklık ve yüksek bir kontrast, renklerde tonlama kuvveti sağlayabilir. Boyalarda aynı zamanda çökeltme önleyici katkı maddesi olarak kullanılmakta olup ayrıca pas ve korozyonun önlenmesine yardımcı olur.

Kaplamalar içinde kullanıldığında çökeltme önleyici daha yüksek mukavemet oluşmasına yardımcı olur. Kaplama endüstrisindeki geleneksel bir silika uygulaması, dolgu maddeleri ve pigmentler için çökeltme önleyici olarak kullanılmakta olup korozyon direncini, mukavemet ve çizilme direncini artırmaktadır.

Kâğıt üretiminde füme ve çökeltilmiş amorf silikalar uzun yıllardır kullanılmaktadır. Ambalaj kutuları ve kâğıt torbaların yüzeylerinde yeterli seviyede statik sürtünmeyi sağlamak için katkı maddesi olarak silis kullanılır. Koloidal silika önemli ölçüde artırılabilen gözenekli bir yüzey kaplaması elde edilebilir. Bu sayede su bazlı mürekkepler gözeneklere kolaylıkla nüfuz ederek fotoğraf kâğıdı ve ambalaj malzemeleri üzerine basıla bilirliliği önemli ölçüde artırır.

Plastik film endüstrisinde de silika önemli bir kullanıma sahiptir. Günlük yaşamda, gıda sanayinde, tarımda ve biyomedikal alanda yaygın olarak kullanılan polipropilen, polyester ve diğer poliolefin içinde silika kullanılmaktadır. Silika film tabakaları arasındaki yapışmayı ve tıkanmayı azaltan mikro pürüzlü yüzeyleri sayesinde anti blok katkı maddesi olarak kullanılır.

Yapıştırıcı ve sızdırmazlık elamanı olarak yüksek basınca dayanıklılık sağlamada kullanılmaktadır. Silika katkı maddesi olarak endüstride, tüketicilerin özel kullanım amaçlarını karşılamada, tıbbi uygulamalarda ve sızdırmazlık sağlamak amacıyla çok değişik şekillerde endüstrilerde kullanılmaktadır.

Yeni yapıştırma teknikleri gelişen otomotiv endüstrisinde düşük özgül ağırlığı olmasından dolayı yapı ağırlığını azaltmakta, elastomerlerin mekanik özelliklerini güçlendirmekte, kullanıldığı parçalar arasında uzama, gerilme mukavemeti ve yırtılma direncini artırmakta, sızdırmazlık sağlamaktadır.

Gıda endüstrisinin de silika kullanılmaktadır. Tuz, baharatlar, yumurta veya toz içerikler çok ince partikül boyutlarına sahiptir ve genellikle ambalajlanırken yapışkanlaşıp topaklaşır, doldurma haznelerin tıkanmasına neden olur. Bu topaklanma sorunuyla hayvan yemi ve besinlerinin üretimi, paketlenmesi gibi alanlarda da karşılaşılr. Gıda endüstrisinin başta olmak üzere topaklaşma sorunu yaşanan ürünlerin üretiminde silika partikülleri kullanmak toz ürünlerinin taneleri arasında film tabakası oluşturarak birbirlerine yapışmalarını önler.

Sonuçta silika toz ürünlerde zayıf akışı ve oluşabilecek pelteleşmeyi, tıkanıklığı önlemek amacıyla kullanılır. Silika parçacıkları ayrıca diş macunlarda koyulaştırıcı ve tat taşıyıcısı olarak kullanılırken içeceklerin içine katılarak onları berraklaştırmaya, köpüklenmenin engellenmesine de yarar.

Eczacılık sektöründe de silika sıkça kullanılır. Tüm ilaçlar iki temel bileşenden oluşur ilaç tedavi eden aktif bileşen ve onun vücutta dağılmasını sağlayan yardımcı bileşen. Gözeneklilik, partikül boyutu ve yüzey alanının büyük olması gibi birçok yararlı özellikten dolayı silika İlacın emilim kapasitesi artırmasından dolayı ilaç endüstrisinde tercih edilir.

Koloidal silika fiyatının ucuz olması, inert özelliği ve emici bir taşıyıcı olmasından dolayı çözünürlüğünü arttırmak amacıyla ilaçlarda kullanılabilmektedir.

Silika özellikle tablet ve kapsül ilaçlar işlenirken küresel mikro yapısından dolayı ilaç bileşeninde tozun serbestçe akmasını sağladığından, topaklaşmayı engellediğinden, paketlemede dozajlama sağlamaya yardımcı olduğu için sıkça kullanılmaktadır.

Silika ayrıca ilaç tabletlerini kaplamada ilacın istenmeyen tadını maskelemek, yutmayı kolaylaştırmak, stabiliteyi artırmak içinde kullanılır. Tabletlerin parçalanmasını kolaylaştıran aktiflerin, ilaçların ve vitaminlerin salınımını artırır. Silika ayrıca jeller, merhemlerin viskozite özelliğini artırdığından koyulaştırıcısı olarak ta kullanılır.

Silika birçok dişçilik uygulamalarında ve çökelmiş ya da jel silika diş temizleme ürünlerinde geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Silika dişleri temizleme ve beyazlatma amacıyla diş bakım ürünlerinde kullanılırken, diş aşınması ve hassasiyetinin iyileştirilmesi sağlaması, kullanılan ürünlerde viskozitenin ayarlanması, birçok özelliği optimize etmek amacıyla da kullanılır.

Diş protezlerin de silika dolgu maddesi olarak kullanılarak protezin mekanik özelliklerinin geliştirilmesine de katkı sağlamaktadır. Akrilik reçine dişçilikte kullanılan malzemelere silika ilavesiyle oluşan kompozit yapının darbe mukavemetini artırmaktadır.

Silika kozmetik, hijyen ürünlerinde, sabun, şampuan, deodorant, yüz kremleri, makyaj malzemeleri ve kişisel bakım ürünlerinin pek çoğunda farklı amaçlarla kullanılmaktadır. Hidrofobik özelliğinden dolayı su aşınma direncini artırır, takviye edici ve taşıyıcı özellikleri sayesinde göz farı, yüz ve allık pudra gibi preslenmiş toz ürünlerin üretimini kolaylaştırır. Nano partiküller bileşikleri ayrıca uygulanan ürünlerin cilde nüfuzunu artırmak amacıyla inert geliştirici katkı maddesi olarak ta kullanılır.

Birçok sektörde olduğu gibi çöktürülmüş silika çeşitli filtreleme teknikleriyle tutulumu sağlanarak kauçuk, ayakkabı tabanlarında, araç lastiklerinde takviye edici olarak elastomerlerin güçlendirilmesine kullanılmaktadır. Özellikle araç lastiklerinde sıkça karşılaşılan ıslak zeminde arabanın çekişi, oluşan aşınma ve yuvarlanma direnci gibi sorunları önlemek amacıyla düşük BET alanı ve karışım içerisinde yüksek dağılım oranı sayesinde kış lastiklerinin optimizasyonunda kullanılabilmektedir.

2.5 Silis Ekstrasyonu

Jeotermal sistemlerde magmanın derinliklerinden yeryüzüne gelen sulu bir fazdaki malzemeler üzerinde bir nevi madencilik yaparak katma değerli silika, metaller, mineraller ve çeşitli gazları elde etmek son dönemlerde üzerinde sıkça çalışılmaktadır. Bu işlemi yaparken jeotermal akışkan ekstrasyon teknikleri araştırmak, elde edilecek maden ve minerallerle ekonomik, sosyal çevresel faydalar yaratarak bir taraftan jeotermal üretkenliğini artırırken bir taraftan da yeni sanayi pazarları nasıl oluşturulur sorularına cevap aramak gerekir.

Silika çökeltme teknolojilerini geniş anlamda üç gruba ayırmak mümkündür. Çökeltme ve konsantrasyon artırma yöntemlerini; ters ozmoz yöntemi, tohumlama (Ceed) yöntemi, Ultrafiltrasyon yöntemi şeklinde üç grupta sınıflandırabiliriz.

Fiziksel süreçler (Çökeltme); Akışkan yataklı reaktör kullanma yoluyla yöntemi.

Kimyasal süreçler (Çökelme); İnorganik tuzları kullanarak katyon ilavesi, elektrokoagülasyon yöntemi kullanarak katyon ilavesi, katyonik polimer bileşik kullanmak yöntemleri olmak üzere üç grupta sınıflandırabiliriz.

Jeotermal sulardan maden çıkarma işine girmeden aşağıda bahsedeceğimiz belli başlı konularda fizibilite çalışmaları yapılarak karar verilmesi gerekir.

Elde edilecek ürün kullanım alanları, piyasa değeri, pazar potansiyeli üzerine çalışma yapmak. Mevcut jeotermal sularda rezerv çıkışı, enjeksiyon suyu, deşarj suyu kalitesi ve elde edilebilecek ürün miktarı üzerine çalışmalar yapmak.

Jeotermal madencilik elde edilmesi planlanan ürüne ait doğru bir proses tespit etmek gerekir. Bu işlemi yapabilmek içinde literatür taraması başta olmak üzere çalışılacak bölgeye ait saha çalışmaları, laboratuvar ve deneyleri çalışmaları yaptıktan sonra pilot uygulaması ve sonrada büyük sistemler için ölçeklendirme çalışmaları yapılmalıdır.

Geliştirilen bu prosesin ölçeklendirilmesi, pratikteki mühendislik teknikleri geliştirilerek mevcut tesislere entegrasyonu, bakımı, sistemin iyileştirilmesi ve geliştirilmesi üzerine çalışmalar yapmak.

İşletim ve bakım maliyeti üzerine çalışmalar yapmak.

Literatürdeki silika ekstrasyon tekniklerine baktığımızda.

Kalsiyum silikatlar kullanarak silika ekstrasyonu

Katyonik topaklaştırıcılar kullanarak silika ekstrasyonu

Metal silikatlar kullanarak silika ekstrasyonu

Tohumlama yöntemiyle tohum parçacıkları üzerine biriktirerek uzaklaştırma

Ultrafiltrasyon yöntemi

Elektrokoagülasyon yöntemi

2.5.1 Kalsiyum Silikatlar Kullanarak Silika Ekstrasyonu

Literatürde kalsiyum silikatın kireçle (CaO) çöktürülmesi jeotermal sularda silika uzaklaştırmak amacıyla kullanılmaktadır. Kalsiyumun kaynağı olan kireç aynı zamanda termal sularda pH ayarlaması amacıyla da kullanılmaktadır. Bu şekilde yapılan pH ayarlaması sonucunda kolloidal partikül yüzeyleri üzerinde negatif yük artar. Koloidal partikül yüzeyine kalsiyum iyonunun yapışması sağlayıp böylece silisin pıhtılaşması ve çökmesini hızlandırılır. Genellikle yapılan çalışmalarda kirecin polimerik silikayı çözünmüş silikadan daha verimli şekilde çöktürüldüğü görülmüştür.

Yine başka bir yaklaşımda da silika içeren sulara belli oranlarda kireç eklenerek belli bir süre karışım halde bekletilip yaşlanmaya tabi tutulduğu ve sonrasında filtrelendiğinde kalsiyum silikat jelinin oluştuğunda görülmüştür. Burada yaşlanmaya tabi tutulan sudaki kireç oranının iyi ayarlanmasıyla silika açısından zengin kalsiyum silikat oluşumunu artırdığı görülmüştür. Monomerik silis polimerize olup kalsiyum klorür ile pıhtılaşmasının da silis çökmesini hızlandırıldığı görülmüştür.

Yapılan çalışmalarda çöktürülmüş ve filtrelenmiş silikanın bir kısmının ayrılarak silikaların polimerizasyonunu hızlandırmak amacıyla tohumlama (CEED) malzemesi olarak kullanıldığı görülmüştür.

Üretilen silisin miktarını ve özelliğine etki eden değişkenlerin yaşlandırma süresi, suyun soğutulma hızı ve süresi, kimyasal dozajlama oranı, kullanılan polimerleştiricinin ve tohumun kalitesi, tohumlamanın uygulama süresi, miktarı, son işlem sıcaklığı gibi değişkenler olduğu görülmüştür (Mrozek vd. 2015).

2.5.2 Katyonik Topaklaştırıcılar Kullanarak Silika Ektrasyonu

Literatürde kullanılan bu yöntem belli bir süre silisin polimerizasyonu sağlandıktan sonra organik bir çöktürücü madde, katyonik floklantlar ilave edilerek silisin çöktürülmesini içermektedir. Bu yöntemde de çöken silisin bir kısmı süzülüp, filtrelenip, kurutulduktan sonra tohumlama (CEED) malzemesi olarak tekrar kullanılabilir.

Yapılan çalışma sonucunda kullanılan çöktürücü floklantın doğru seçimi, dozajlama ve solüsyonun konsantrasyonunun ve karakterizasyonunun doğru ayarlanması oluşacak kolloidal silikanın kalitesi önemli oranda etkilediği görülmüştür (Mrozek vd. 2015).

2.5.3 Metal Silikatlar Kullanarak Silika Ektrasyonu

Bu teknikte silikanın polimerizasyon ve çöktürme işleminin yapılabilmesi için pH ayarlamasının yapılması diğer yöntemlerde de olduğu gibi kritik önem taşımaktadır. Bu amaçla da farklı reaktifler literatürde kullanılmıştır.

Kalsiyum bileşiklerinden olan sönmüş ya da sönmemiş haldeki kireç, silika jel, kolloidal silikalar, katyonik bazlı çöktürücüler, elektrokoagülasyonla metal iyon ilavesi bunlara ilaveten metal klorürler (Ca, Fe, Mg, Al vs..) bu amaçla kullanılan silika çöktürücülerdendir. Bu reaktiflerin jeotermal sularda kullanılması sırasında yine üç aşamalı bir yol izlenmektedir. Reaktifin suya eklenmesi, solüsyonun karıştırılarak tepkimenin, polimerizasyonun başlanması ve çökelme işlemi sağlanması.

Yapılan çalışmalarda metal klorürler eklenerek metal silikatlar oluşturulduğunda amorf silika çözünürlüğüne önemli oranda etki ettiği görülmüştür. Metal iyonları özellikle yüksek pH değerlerinde silika çökeltmesinde oldukça etkilidir. Bu yöntemde de ilk çökeltmeden sonra elde edilen silikalar tohumlama (CEED) malzemesi olarak kullanılabilir (Mrozek vd. 2015).

2.5.4 Tohum Parçacıkları Üzerine Biriktirerek Uzaklaştırma

Literatür incelendiğinde silika tohum partikülleriyle çökeltme teknikleri uygulandığında polimerizasyonun daha verimli bir şekilde sağlandığı görülmüştür. Kullanılan bu tohum parçacıkları metal silikatlar ya da kolloidal silikatlar yardımıyla oluşturulabilmektedir. Silika tohum partiküllerinin doymuş silika solüsyonuna ilave edilmesiyle de yine tohumlama (CEED) yapılabildiği görülmüştür. Tohumlama elamanı olarak silika ekleyip (CEED) polimerizasyonu sağlamada amorf kolloidal silika eklemenin silika jel eklemeden daha çok verim sağladığı görülmüştür.

Tohumlamanın en önemli avantajlarından biri silika çökmesi için gerekli polimerizasyon süresini kısaltıp eklenen silika tohumlarının üzerine silikanın birikerek çökmesini sağlamaktır (Mrozek vd. 2015).

2.5.5 Ultrafiltrasyon Yöntemi

Jeotermal sudan ultrafiltrasyon yöntemiyle silika kazanımı, geçirgen bir membran filtreden jeotermal su geçirilip askıda kalan kolloidal silikaların katı halde konsantre edilmesi ve tutulması olmaktadır. Bu işlem yapılırken yine suyun pH ayarlamasını yapmak oldukça önemlidir. Silika parçacıklarının istenmeyen şekilde birleşmesi demek olan aglomerasyonu önlemek için kimyasal kullanmak silika elde etme prosesine ilave edilmesi silika tanecik yapısının karakterizasyonu açısından oldukça önemlidir.

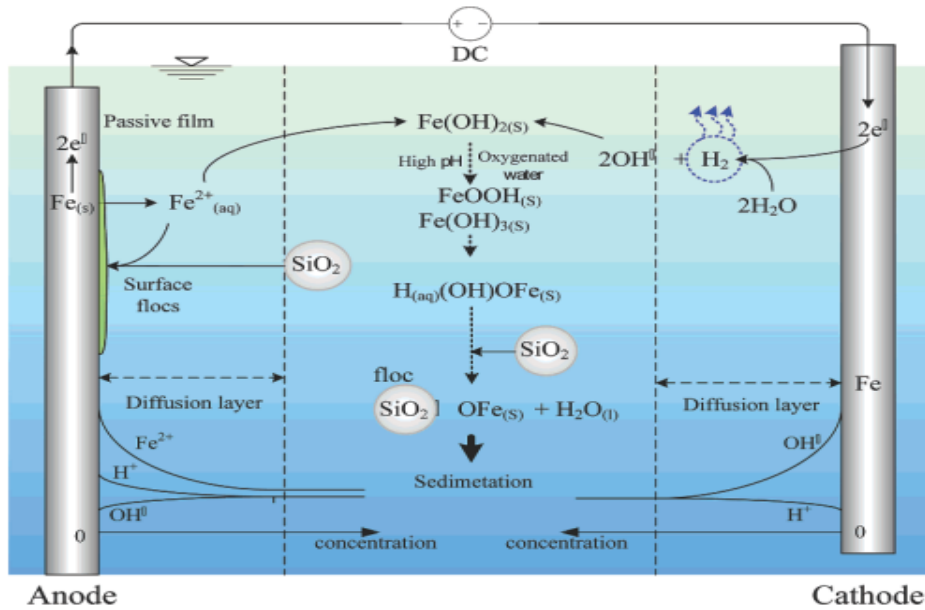
Ultrafiltrasyon yöntemindeki en önemli sorunlardan biri filtre maliyetlerinin çok yüksek olması ve zamanla bu filtrelerin tıkanarak verimli şekilde çalışmamasıdır. Bu yöntemde proses tasarımı, uygun filtrasyon seçimi yapıldığında çalışılan suyun özelliğine de bağlı olarak istenilen saflıklarda ve özelliklerde silis tutulması sağlanabilmektedir.

Çözünür tuzlardan kurtulmak bu yöntemle birlikte literatürde diaflitrayonla ekstradan bir yıkama işleminin de uygulandığı örnekler görülmüştür.

Silika konsantrasyonu düşük olan sularda koloidal silikayı oluşturacak olan polimerizasyon hızı da oldukça düşüktür. Polimerizasyonu hızlandıracak teknikler kullanarak, polielektrolitler kullanılarak çöktürme yoluna gidilebilmektedir. Bir başka alternatifse ultrafiltrasyon yoluyla plidisperskoloidal solüsyon daha fazla konsantre hale getirilerek silika ekstrasyonu hızlandırılabilir (Mrozek vd. 2015).

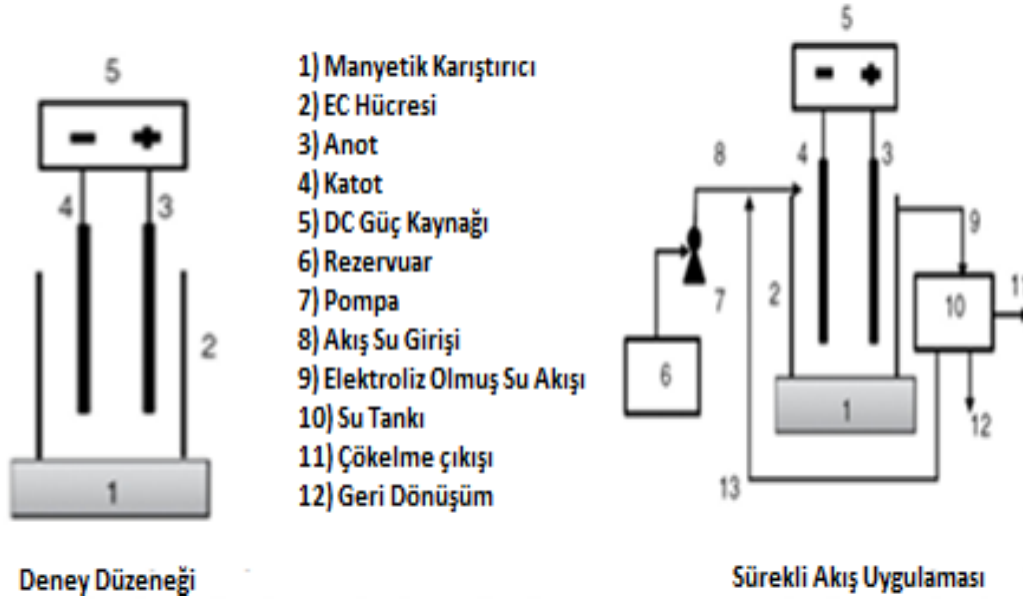
2.5.6 Elektrokoagülasyon Yöntemi

Elektrokoagülasyon yöntemi; içerisinde yüklü parçacıklar bulunan koloidal süspansiyon içerisinde zıt yüklü iyonların çarpıştırılması yoluyla sağlanan polimerizasyonun etkisiyle Resim 2.5’de ki gösterilen bir mekanizmada olduğu gibi aglomera ve çökelmeler şeklinde silikanın birikmesidir. Bu amaçla çökelmeyi hızlandırmak için çeşitli organik ve kimyasal maddelerin eklenmesi ya da elektroliz gibi yöntemlerle metal iyonlarının ilavesiyle silikanın çökmesini hızlandıran yaklaşımlar kullanılmaktadır. Elektrokoagülasyonda partiküller arasındaki itme kuvveti kullanılarak koloidal parçacıkların yüzey yükü azaltılmakta oluşan elektrostatik itme gücü ve Van Der Waals kuvvetiyle de silika parçacıklarının çökmesi sağlanmaktadır.



Resim 2. 5 Elektrokoagülasyon mekanizması (Den vd. 2006).

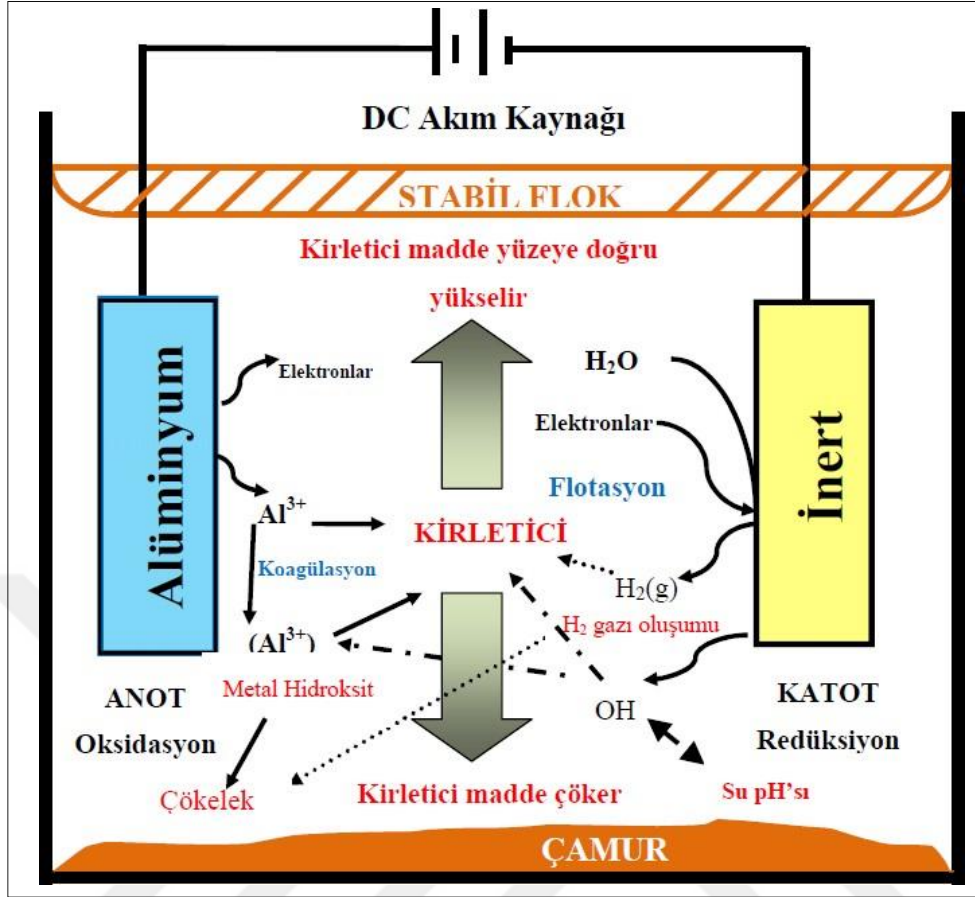
Bir elektrokoagülasyon yönteminin deneysel uygulama ve ölçeklenmiş sürekli akış düzeneğinde ki temel bileşenler Resim 2.6.' da gösterilmiştir. Elektrokoagülasyon yönteminin kullanım amaçları suların berraklaştırılması, istenmeyen maddelerin sudan uzaklaştırılması ve silikanın çökeltilmesidir. Çamurlu sularda partiküller hidroforbik kolloidaller halindedir.



Resim 2. 6 Örnek bir elektrokoagülasyon devresi deney düzeneği (Schulz vd. 2009).

Koagülasyonla süspansiyon kararsız hale getirilip uygulama düzeneğinde görüldüğü gibi partiküller kolayca çökeltebilmektedir. Hidrofilik koloidaller de su emilimi fazla olduğundan folüklasyon daha zor olmakta ve ek işlemler gerekmektedir. Kolloidal süspansiyon artı ve eksi zıt yük iyonlar içermekte olup elektriksel özelliktedir. Zıt yüklü iyonlar süspansiyonda asılı halde bulunurken birbirleriyle çarpışarak nötr hale gelip sonucunda çökelme durumuna geçmektedir.

Elektrokoagülasyon da bu işlemi hızlandıran çeşitli kimyasal maddeler kullanılarak yapılabileceği gibi elektrolitler ya da suya metal iyonu ilave eden prosesler kullanılarak hızlandırılabilir. Partiküllerin yüzey yükünün azaltılması ve elektrostatik itme yükünün artması sonucunda Van Der Waals kuvvetlerinin etkisiyle partiküllerin bir araya gelip şekil 2.7’de görüldüğü gibi boyutlarını büyütürerek çökmesi ve suyun berraklaştırılmasını sağlamaktadır.



Resim 2. 7 Bulanıklık gidermek amaçlı kullanılan elektrokoagülasyon düzeneği (Güney 2013).

Jeotermal ya da yeryüzü sularından tutulma yoluyla geri kazanımı üzerine çalışılan maddeler silika, çinko, lityum, manganez ve bazen de değerli topraklardır. Bazı çalışmalarda da gümüş, altın, platin, paladyum gibi yüksek konsantrasyona sahip değerli metal bulunan sularda bu metalleri geri kazanımı üzerine yapılan çeşitli çalışmalarda vardır. Jeotermal sulardan geri kazanım üzerine çalışılan bu tezin konusu olan maddelerden biride silikadır. Jeotermal sulardaki silikanın çökeltilmesi için bazı şartların yerine getirilmesi gerekmektedir. İlk olarak suya zıt yüklü iyonlar ilave edilerek silika tanecikleri arasında itme etkisi azaltılmalıdır. Suya ilave edilen metal iyonları veya polimer tanecikleri, silika tanecikleri tarafından absorbe edilerek taneciklerin yüzey potansiyelleri azalarak çökme eğilimine geçecektir. Kolloidal süspansiyondaki silikanın çökmesi ve katı hale geçmesi için zeta potansiyeli sıfır ya da sıfıra yakın şekilde düşürülmesi gerekir.

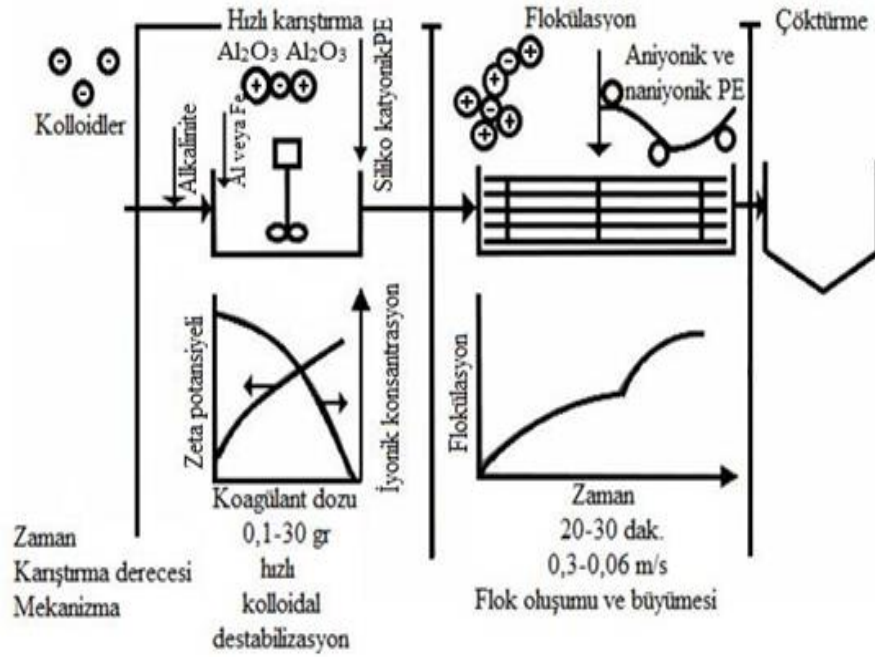
Genelde koloidal malzemeler eksi yüklüdür, süspansiyona yüksek değerlikte katyon ilave edildiğinde süspansiyonun stabilizesi bozularak zeta potansiyeli azalacak ve sıfıra doğru yaklaşacaktır. Koagüle edici elemanların süspansiyona ilave edilmesiyle çöken hidroksitler kolloidallerin birbirlerine yaklaşmasını ve tanecikler arasında köprüler oluşmasını çökmesini sağlayacaktır.

Koloidal maddelerin elektriksel özelliğine sahip olması partiküllerin bir araya gelerek çökmesini engeller. Koloidal maddeler koagülasyon ve flokülasyon yoluyla elektrostatik yük etkisiyle kararlı halde bulunan yapının dengesi bozularak partiküller arasında nötralizasyon sağlandığında polimerizasyon ve çökme başlayacaktır.

Suya ilave edilen zıt yüklü metal iyonları ya da polimerler ilk olarak tanecikler arasındaki itme etkisini azaltacaktır. Koagülasyonla birlikte metal hidroksitlerle beraber koloidal parçacıklarda çökme eğilime girmektedir, organik polimerlerin ilavesiyle koloidal parçacıkların etrafında köprüler oluşmaktadır. Taneciklerin yüzeyi tarafından bu maddeler absorbe edildiğinde tanecik yüzeyindeki potansiyel azalacak ve silika çökecektir.

Şekil 2,1’de olduğu koagülasyon ve flokülasyon süreçlerini uygulanırken süspansiyona homojen şekilde koagülant ilave edilip 15 sn ile 5 dk arasında, 200-300 rpm karıştırma hızında hızlı bir karıştırma yapılır.

Sonrasında yardımcı bir koagülant ilave edilip 15-45 dk arasında, 20-120 rpm karıştırma hızında karıştırılır. Son aşama olan parçacıkların çökmesiye 30-60 dk’ lık sürede gerçekleşir. İlk hızlı karıştırmada amaç polimerizasyonun ve taneciklerin çökmesinin başlaması olup ikinci yavaş karıştırma işlemindeyse ise taneciklerin boyutun büyümesini sağlamaktır (Güney 2013).



Şekil 2. 1 Flokülasyonla uygulanan elektrokoagülasyon mekanizması (Güney 2013).

Baygents ve arkadaşlarının yapmış olduğu hem deneysel hem de ölçeklenmiş plot saha uygulama çalışmasında elektrokoagülasyon tekniği kullanılmış olup demir ve alüminyum elektrotlarla çalışılmıştır. Elektrokoagülasyona ilaveten soğutma kuleleri kullanılıp ve ters ozmoz tekniği uygulanarak geri dönüşüm suyu üzerinden uzaklaştırılmak istenen istenmeyen hedef maddeler üzerinde çalışıldı.

Alüminyum elektrot kullanımının demir elektrot kullanımından daha verimli olduğu görüldü. 2 nM dozda alüminyum suda çözündüğünde %20-40 oranında kalsiyum ve magnezyum, %80 oranında silis deney çalışması yapılan sulardan uzaklaştırılabilmiştir. Bu oran demir elektrot kullanıldığında %10-20 oranında kalsiyum ve magnezyum, %60 oranında silis sulardan uzaklaştırdığı gözlemlenmiştir.

Deneysel çalışmadan elde edilen verilerle ölçeklendirilerek plot çalışma uygulaması yapıldığında alüminyum elektrotun deneysel çalışmadakinden daha düşük performans sergilediği ve daha az silis uzaklaştırıldığı görülmüştür. Demir elektrot kullanımındaysa hem deneysel hem de plot uygulamada benzer sonuçlar gösterdiği görülmüştür (Schulz vd. 2009).

Abbas A. Al-Raad ve arkadaşları yapmış olduğu çalışmada alüminyum elektrotlarla elektrokoagülasyon yöntemini kullanarak çeşitli tuzlu sulardan içme suyu elde etmek için çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada pH, reaksiyon süresi, karıştırma hızı, sıcaklık, elektrotlar arasındaki mesafeler ve uygulanan akım yoğunluğu gibi elektrokoagülasyon sürecini etkileyen altı tane değişken olduğu görülmüştür. Çalışmanın sonucunda brom %93, klor %91 ve sülfat %90 oranında uzaklaştırılması sağlanmış olup optimum şartların pH 8, reaksiyon süresinin 80 dakika, karıştırma hızı 500 rpm, solüsyon sıcaklığın 25°C, elektrotlar arasında mesafe 1cm, akım yoğunluğunun 2 mA/cm² olduğu durumlarda elde edildiği görülmüştür (Al-Raad vd. 2019).

Zhi ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada elektrokoagülasyon yöntemini kullanarak farklı değişkenler üzerinde çalışarak deney sonuçlarını optimize etmek için özel bir yazılım kullanılmıştır. Silikayı uzaklaştırmak üzerine birbirini etkileyen faktörleri analiz edilmiştir. Amaç silika konsantrasyonunu 60 mg/l'tnin altına düşürmek, silikanın uzaklaştırılmasını maksimum yapmak, enerji tüketimini de en azda indirmektir. Optimum silika uzaklaştırılmasını sağlamak için elektrotlar arasındaki mesafenin 2.5 cm ve daldırma mesafesinin üst yüzeyden 4 cm aşağıda olduğunda, reaksiyon süresinin 40.47 dakika, 7.5 pH değerinde, uygulanacak akım yoğunluğunun 3.89 mA/cm² olduğu durumda görülmüştür. Sonuç olarak bu şartlarda silika %85.147 oranında uzaklaştırılırken enerji tüketiminin 1.455 KWh/m³ olduğu görülmüştür (Zhi ve Zhang 2014).

Baygents ve arkadaşlarının yaptığı çalışma tatlı sularda bulunan iyon miktarının bağlı olarak elektrokoagülasyon yönteminin kullanılmasıyla elde edilecek fayda ve maliyet üzerine çalışılmıştır. Elektrokoagülasyon yönteminin pH 5.7 ve 9 şeklinde ayarlanan suda, demir ve alüminyum elektrot kullanılarak silika çökeltme işlemi yapılmıştır. Demir elektrotun silikanın uzaklaştırma miktarını kıyasla kalsiyum ve magnezyumu uzaklaştırmakta %30 daha fazla performans gösterdiği bulunmuştur. Demir ve Alüminyum iki elektrotunda silikanın uzaklaştırılmasında başarılı olduğu görülmüştür.

Katyonik ve amfoterik polimerler kullanıldığında iyonların sudan uzaklaştırılmasında verimliliğin arttığı görülmüştür. 3 mM koagülasyon dozu kullanıldığında her bir mol demir ve alüminyum elektrotun çözünmesiyle 0.4-0.5 M silikayı uzaklaştırılabilmektedir. 1m³ su ve 1 nM elektrokoagülasyon dozu için demir elektrot kullanıldığında akım yoğunlukları sırasıyla 0.35 mA/cm² ve 4.6 mA/cm² için elektrik sarfiyatlarının 0.041 kWh ve 0.15 kWh olduğu; alüminyum elektrot kullanıldığında akım yoğunluklarının sırasıyla 0.30 mA/cm² ve 9.0 mA/cm² için elektrik sarfiyatlarının 0.05 kWh ve 0.27 kWh olduğu bulunmuştur (Liao vd. 2009).

Anh Le-Tuan ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada alüminyum ve demir elektrotlar kullanarak petrol bulunan yer altı kum alanında elektrokoagülasyon yöntemini uygulama çalışması yapılmıştır. Amaç çözünmüş halde bulunan silika, kalsiyum, magnezyum ve sülfürün etkili bir şekilde uzaklaştırılması, sentetik veya doğal yolla su elde edilmesi, sistemdeki korozyonun azaltılmasıdır. Bu amaçla buhar jeneratörü yardımıyla suyun geri dönüşümünü ve endüstride yeniden kullanılması üzerine de çalışılmıştır.

Çalışmalar sonucunda alüminyum ve demir elektrotun her ikisinin de silisi uzaklaştırmada etkili olduğu görülmüştür. Sudaki sülfürü uzaklaştırmakta demir elektrotun maliyetinin hem daha düşük hem de alüminyuma nazaran daha etkili olduğu görülmüştür. Elektrokoagülasyon yöntemini kireçle çökeltme ve evaporasyonla buharlaştırma çökeltme yöntemleriyle kıyasladığımızda elektrokoagülasyonun çok daha verimli, buharlaştırma yöntemindeki enerji sarfiyatına nazaran da daha ekonomik olduğu görülmüştür (Chow ve Pham 2019).

L. Bacon ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada geniş alanlarda, büyük miktardaki sularda uygulanmanın daha basit daha verimli sonuçlar verdiği elektrokoagülasyon yöntemi üzerine çalışılmıştır. Geleneksel olarak floklant kullanarak jeotermal sulardan arsenik ve silikanın uzaklaştırılmasıyla elektrokoagülasyon yöntemi kıyaslandığında elektrokoagülasyonun maliyet açısından daha ucuz olduğu görülmüştür. Elektrokoagülasyon düşük sıcaklıklarda, düşük entalpiye sahip suların yaşlandırılmaya ve polimerizasyon işlemine tabi tutulmuştur.

Elektrokoagülasyon yöntemi hem laboratuvar hem de alan uygulama çalışmalarında düşük işletim maliyetiyle silika ve arseniği hızlıca sulardan uzaklaştırmayı başarabilmiştir. Al elektrotun silikayı, Fe elektrotunsa arseniği uzaklaştırmakta daha başarılı olduğu bulunmuştur. Termal sularda ve soğuk sularda uygulanan elektrokoagülasyon yöntemin uygulamadan önce silika ve arseniğin konsantrasyonları sırasıyla 600 mg L⁻¹ ve 4 mg L⁻¹ iken deney sonrasında 100 mg L⁻¹ ve 0.1 mg L⁻¹ den daha düşük olduğu görülmüştür. 80°C civarındaki sıcaklıklarda termal suya uygulandığında hem silikayı hem de arseniğin uzaklaştırılmakta yeterli verimi sağlamadığı, elektrokoagülasyon süresinin daha uzun olduğu görülmüştür (Mroczk vd. 2019).

Shih-Yu Chang ve arkadaşları sulardaki bulanıklığı gidermek için elektrokimyasal bir yöntem olan elektrokoagülasyon yöntemi üzerine sentetik kimyasal oksitleyici (Oksit-CMP) çalışılmıştır. Yaşlandırma, bekleme, polimerizasyon, reaktifleşme ve çözeltinin stabil hale getirilmesi aşamalarını içeren bir aşamalı süreçler kullanılmıştır. Çalışmada çözeltinin bulanıklığı, silika parçacık boyutuyla ve zeta potansiyeli arasında ilişki araştırılmıştır. Çalışılan suyun pH değeri 9-10 aralığında, zeta potansiyeli 35-40 mV aralığına ayarlanmıştır.

Yapılan deneyse çalışmada değişik elektrot çiftleri kullanılmış olup en etkili sonuç Fe/Al elektrot çiftinde elde edilmiştir. 200 ppm NaCl içeren çözeltide 30 V güç uygulanmış, parçacık boyutu 520 nm ile 1900 nm arasında çalışılmıştır. Uygulama süresi 10 dk ile 20 dk arasında yapılmış olup sonucunda elektrokoagülasyonun reaktif evresinde ortalama 520 nm parçacık boyutu ve 10 dk uygulama süreci sonucunda sudaki bulanıklığın %95 oranında giderilmesini sağladığı görülmüştür (Whang vd. 2009).

Walter Den ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada yüksek oranda yüklü ultra ince silika içeren kimyasal mekanik düzenleyici (CMP) 70 NTU düşük ve 400 NTU yüksek değerlerdeki sularda dikey açık kanallı elektrokoagülasyon düzeneğiyle çalışılmıştır. Sudaki pH değeri 9-10 aralığında ayarlanmıştır. Zeta potansiyeli değeri -55 mV sulu çözeltideki iletkenlik potansiyeli Seyreltik silika solüsyonu CMP bulanık suyun temsilcisiydi.

Deneyde paralel olarak sıralanan plakalar monopolar elektriksel bağlantı kullanarak bağlanmıştır. Sulu çözeltideki elektriksel iletkenlikte monopolar bağlantının güçlü bir elektriksel alan sağladığı, elektrotlar arasındaki mesafelerin önemli oranda sürece üzerine etkisinin olmadığı görülmüştür. CMP içeren elektrokoagülasyon uygulamasının sudaki bulanıklık seviyesini %95 oranında azalttığı ve bulanıklığın giderilmesinde kullanılan elektrotların cinsine bağlı olarak çözeltiye salınan demir iyonu salındığında anodik yüzeyde silika çökmesinin olduğu görülmüştür (Den ve Huang 2005).

Omar M. Hafeza ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada elektrokoagülasyon yönteminin uygulanması sırasında Al, Fe, Zn elektrotlar kullanılmıştır. Elektrokoagülasyon düzeneğine eklenen soğutma kulesinin yardımıyla elektroliz süresi, çözeltinin karıştırılma devri, elektrotlar arası mesafe gibi değişkenleri maksimum verim sağlamak için kontrol altında tutulmuştur. Sudaki silisin ve sertlik iyonlarının uzaklaştırılması üzerine çalışılmalar yapılmıştır.

Kullanılan bu 3 elektrot arasında en verimli sonuç akım yoğunluğu 14.29 mA/cm^2 , elektroliz süresi 60 dk, elektrotlar arası mesafe 1 cm, elektroliz çözelti karışma hızı 300 rpm olarak ayarlanan Al elektrotla alındığını görülmüştür. Sertlik iyonları (Ca^{+2} ve Mg^{+2}) ve soğutma kulesi yardımıyla silikanın uzaklaştırılmasında sırasıyla %55.36 ve %99.54 oranında ekili olduğu görülmüştür. Elektrot tüketim miktarının da 0.787 kg/m^3 şeklinde en başarılı sonuçların Al elektrotla elde edildiği görülmüştür. Fe ve Zn elektrotlar kullanıldığında ise silika ve sudaki iyon uzaklaştırılmasında %36.99, %98.93, %38.63 ve %95.62 olduğu; elektrot tüketim miktarlarının ise sırasıyla 2.08 kg/m^3 ve 2.152 kg/m^3 olduğu görülmüştür (Omar vd. 2020).

SuliZhi ve Shuting Zhang yaptığı çalışmada silikanın uzaklaştırılması için iki alüminyum elektrotlu bir elektrokoagülasyon sistemi tasarlanmıştır. Uzun dönem voltaj artışlarının anyon elektrotlar üzerine etkisi gözlemlenmiştir. Anot cinsinin voltaj artışı üzerinde etki ettiği ve anot yüzeyinde silika pasifizasyonu sonucunda silika çökmesi olduğu görülmüştür.

Suda bulunan iyonlar içinde Cl^- iyonunu kullanılasının voltaj artışını önlediği aynı zamanda yine $(\text{NO}_3^-) / (\text{NSO}_4^{2-}) = 0.1$ olduğunda silikanın uzaklaştırılmasının en verimli olduğu görülmüştür.

Suyun pH değerinin 7.29, kullanılan akım yoğunluğunun 14.29 mA/m², elektrokoagülasyon süresinin 25.95 s olduğu bir deney düzeneğinde silika konsantrasyonunun 5 mg/L'nin altına indirilebildiği gözlemlenmiştir (Zhi ve Zhang 2014).

Chihpi Huang ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada demir anotlu monopolar devre elemanlı sürekli akışlı elektrokoagülasyon sistemi kullanılarak atık sulardan negatif yüklü silikanın uzaklaştırılmasıyla ilgili çalışma yapılmıştır. Yapılan bu deneysel çalışmada çökeltme karakterizasyonu, pH, zeta potansiyeli, reaksiyon süresi gibi değişkenlerin suyun bulanıklığının üzerine etkilerine bakılmıştır. Silika çökeltmesine etki eden iki farklı mekanizma olduğu görülmüş olup bunlardan birincisinin yüzey polimerizasyonu ikincisininse çökeltme mekanizması olduğu görülmüş olup ikisinin de silika çökeltmesinde eşit derecede etki ettiği görülmüştür (Den vd. 2006).

Thomas Kohl ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada yeni hammadde kaynakları sağlamak için jeotermal enerji kullanılmıştır. Üç aşamalı süreç kullanılarak SiO_2 doyma konsantrasyonunun altında indirerek silika miktarının azaltılması amaçlanmıştır. Silikayı uzaklaştırmak amacıyla kireç ve kostikle kullanma, tohumlama yaparak çökeltme gibi yöntemlerle sentetik ve doğal jeotermal sularda çalışma yapılmıştır. Uygulanan elektrokoagülasyon yöntemi pH>10 üzeri ve Ca/Si oranı 1.25 olduğunda en etkili, hızlı bir şekilde ve düşük maliyetle silikayı jeotermal sudan uzaklaştırılmıştır. Silisin doyma süresi bu yöntemler kullanılarak 5 dk'ya kadar düşürülmüş ve neredeyse 30 dk bir süre içinde silika tamamen sudan uzaklaştırılabilmektedir (Spitzmüller vd. 2006).

Elektrokoagülasyon yöntemi:

EC devre elemanları, çeşitli şekillerde elektrotlar, karıştırıcı ve su deposu kaplar ile basit ekipmanlarla yapılabilen, uygulamada kullanım kolaylığı gibi birçok avantaj içerir.

Mekanik şekilde hareketli, statik ve dinamik yüklere maruz kalan, aşınan deney ekipmanları içermez EC hücreleri elektroliz elamanları içerdiği için bakım maliyeti düşüktür.

Bulanıklık giderme amaçlı metal oksitlerin, hidroksitlerin elektroliz yapılarak uzaklaştırılmasında kolayca uygulanarak suyun berraklaştırılmasını sağlar. Elektrokoagülasyon sonucunda elde edilen sililerin boyutu kimyasallar uygulanarak elde edilen silislerden daha büyük boyutludur asite dirençli ve daha kararlı yapılar oluşur.

Kimyasal uygulanan teknikler sonucunda bu kimyasallar ikincil bir kirlenme oluşturulup sudan uzaklaştırılmaları gerekirken elektrokoagülasyonda kirlilik çok daha az olur. Ayrıca elektroliz sırasında oluşan kabarcıklar nedeniyle kirlетici maddelerin suyun içinde yüzdürülmesi sağlanır dolayısıyla bunların sudan uzaklaştırılması, ayrıştırılması daha kolay olur.

Elektriğin olmadığı alanlarda da rüzgâr enerjisi ya da güneş panelleri gibi enerji kaynakları kullanarak EC devresi elektroliz düzeneği kullanılabilir (Güney 2013).

2.3 Elektrokoagülasyon Yönteminin Uygulamaları

Thomas'ın 1992 yılında yaptığı çalışmada termal sulardan alınan numuneleri çeşitli proseslerden geçirmiş ve sudaki diğer elementler silisten ayrıştırılarak silika çökeltirek elde etmiştir. Silikanın yüzey alanlarının artırılması ve partikül boyutunun küçültülmesinin kaliteli silis elde edebilmede önemli bir rol oynadığı görülmüştür.

Termal suyun kimyası ve sudaki silika yoğunluğu ile polimerizasyon zamanı, sıcaklık, silikayı çöktürmekte kullanılan kimyasal katkı maddesi gibi değişkenlerin kaliteli silika elde eden önemli parametreler olduğu tespit edilmiştir. Silika çökeltmesinin erken gelişen bir süreç haline getirmek için reaktör edici, floküle edici madde kullanmanın polimerizasyon hızına artırma yönünde etki ettiği görülmüştür. Çalışmada ayrıca çökelmiş silikanın bir kısmı toplanarak yeni silika elde etmek için tohumlama malzemesi olarak kullanılmıştır. Çökelen silikanın polimerizasyonunu hızlandırdığı görülmüştür.

Aynı çalışmada Jeotermal sulardaki silika polimerizasyonunun artırılmasında suyun pH'nın çok önemli olduğu pH arttıkça polimerizasyon hızının da ona bağlı olarak arttığı görülmüştür. Termal sularda pH 8.5'ta silikanın ideal polimerizasyonunun sağlandığı, silisin çökeldiği görülmüştür. En ideal flokülasyon ve çökeltme hızlarının ise pH 10.5 ile 11.5 arasındaki olduğu görülmüştür. Geri kazanılan silikaya yapılan metanol ekstraksiyonunun ardından kaliteli bir silika için gerekli yüzey alanının sağlandığı ve kurutulmuş silika 2N HCl kullanılmasıyla kalıntıların çoğunun önemli oranda uzaklaştırdığını görülmüştür. Silika numuneleri jeotermal sulardan elde edildikten sonra farklı metal iyonu ilave edilmiş ve sonrasında silika kurutulmuştur. Kaliteli bir silis etmek için nihai silis yüzey alanının büyüklüğü kritik derece önemlidir.

Silika içerisinde bulunan kirletici maddelerin konsantrasyonları kolloide kostik ilave edildiğinde yüzey iyonlaşması, silika polimerlerinin aglomerasyonları ve iyon değişimi önemli ölçüde artırmıştır. Yapılan bu çalışmada jeotermal sivilara 0,5 mM alüminyum veya demir ilavesiyle en ideal oranda silika geri kazanımı sağlanmıştır. Suyun pH değerinin 10,5-11,5 aralığına olduğu kostik ilavesiyle maksimum flokülasyon oranlarına ulaşılmıştır. Optimizasyon çalışmaları göstermiştir ki büyük silis yüzey alanı elde etmek için ideal bir kurutma sistemi tasarlamak en önemli kriterdir. Nihai silis yüzey alanı çökeltici veya topaklaştırıcı ajanlar ilave edilmeden önce silikanın polimerizasyonunun sağlanmasıyla da arttırılabilir. Alkali iyonları kullanılarak on kat kadar zenginleştirilmiş ve sonrasında da düşük oranda HCl yıkanmış maddenin büyük oranda istenmeyen maddelerin çökeltiden uzaklaştırabildiğini göstermiştir (Thomas 1992).

Potapov ve arkadaşlarının 2001 yılında yapmış oldukları çalışmada çökeltici (İnhibitör) eklenerek polimerizasyon reaksiyonunu ve kolloid partikülleri oluşmasını sağlamak amaçlanmıştı çalışılan su 20-60 dk süreyle yaşlandırmaya tabi tutulmuştur. Yaşlandırma, belli bir T sıcaklığında ayırıcının ısı eşanjörü üzerinden iletilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Çökeltici tanker-karıştırıcıda çalkalanarak çözeltiye verilmiştir. Çökelti pulları tanker artıcısında ayrılmıştır. Bu uygulama sonucu elektromanyetik alanın etkisini ve balçık flokülasyon yeteneğini artırdığı görülmüştür.

Yaşlanma sıcaklığının kontrol altında tutulmasının polimerizasyondan sonra oluşan kolloid parçacıklarının boyutunu ve konsantrasyonunu önemli ölçüde etkilediği görülmüştür. Silika içeren tuzlu suda kullanılan çöktiricinin miktarı, dağılımı, uygulanan işlemin süresi gibi değişkenlerin kontrolüyle elde edilen ürünün partikül boyutu, spesifik yüzey alanı ve kimyasal içerik gibi özelliklerini karakterize edilebilmiştir. Jeotermal kaynaklarda enerjinin ve mineral bileşenlerinin verimli kullanılmasını sağlamak amacıyla kolloidal silikanın hidrotermal sistemden sıvı fazdan katı faza geçirilip sonrada kurutulmuştur. Amorf silika üretimini sağlamak için elektrik, ısı enerjisi ve mineral ilavesiyle çökeltme oranını düşürmeyi mümkün olduğu görülmüştür (Kashpura ve Potapov 2001).

Karpov ve arkadaşları tarafından 2001 yılında elektrokoagülasyon yöntemi kullanılarak çeşitli sıcaklıklarda akım, voltaj, çözeltinin elektriksel iletkenliği, işlem süresi, güç tüketimi, elektrot tüketimi, çökelmiş silikanın partikül boyutu ve arıtma süresi gibi proses parametreleri üzerine deneysel olarak çalışılmıştır. Elektrokimyasal olarak silika içeren suya çeşitli işlemler uygulanmıştır. Elektrokoagülasyonda çökeltme bir metalin anodik çözünmesi ile sağlanmıştır. Metal iyonları çözeltiye geçerek bir hidroksit oluşturarak hidratlanmıştır. Bu hidroksitle pozitif yüzey yüküne sahip partikül çözeltisi oluşturulmuştur. Bu partiküller negatif yüzey yüklü silika partikülleri tarafından absorbe edilmiş ve silika koloidin çökeltmesi sağlanmıştır. En yüksek silisyum çökeltme hızı alüminyum elektrotlarda görülmüştür. Bu alüminyum hidroksitin Fe^{+2} , Fe^{+3} ve Cu^{+2} iyonlarına göre daha yüksek pıhtılaşma ve çökeltme sağladığı görülmüştür (Potapov vd. 2001).

Hauksdóttir tarafından 2016 yılında yapılan çalışma da hem SEM hem de EDX analizi incelendiğinde silika çöktirme sürecini parametreler kontrol altında tutularak kimyasal bileşimi, parçacık boyutu ve yüzeyi özelliklerinin olumlu yönde değişebileceği görülmüştür. Silika potansiyelini değerlendirmede en önemli unsurun elde edilen silikanın yüzey alanının genişliği olduğu görülmüştür. Silikanın çökeltme işlemi sırasındaki değişkenlerin kontrolüyle daha pürüzlü bir yüzeye ve daha küçük parçacık boyutlarına sahip silika elde edilebileceği gözlemlenmiştir.

Nano silikanın parçacık boyutu dağılımı, yoğunluk, yüzey alanı, gözenek yapısı ve reaktivite gibi temel özellikler silikanın elde edilme yöntemine bağlı olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak yapılan bu çalışmada EDX ve X-Işını floresansı ile elde edilen silikanın özellikleri ortaya çıkarılarak hangi sektör için uygunluğu araştırılmıştır. Yüksek yüzeyli silikaların elde edilmesinde kuvarsın alkali bir çözelti çözülmesi ve ardından asitleştirme ile silikanın çökeltilmesiyle endüstriyel silika elde edilmiştir (Hauksdóttir 2016).

Setiawan 2019 yılında yaptığı bu çalışmada, belli bir pH ve sıcaklık altında bulunan tuzlu suya silika jel çökteticiler eklenmiş oluşan silika konsantrasyonu UV ile görülebilecek şekilde analiz edilmiştir. Kütle transferiyle sıvı fazdan katı yüzeye geçen silika monomerleri ile çökelmenin gerçekleştiği görülmüştür.

Silika çöktirme işlemi pH 7, 40°C sıcaklık ve 800 rpm çalkalama hızında optimum seviyede olduğu ve ayrıca silika tohumu ilavesiyle de daha büyük çapta silikaların elde edilebileceği görülmüştür (Setiawan vd. 2019).

Ali Anwar ve Basma Abbas Abdulmajeed yaptığı çalışmada solüsyonda bulunan silika, kalsiyum ve magnezyumun uzaklaştırılması amacıyla alüminyum elektrot kullanılarak bir elektrokoagülasyon yapılmıştır. pH 7 nin altındaki değerlerde yeterli verim alınamazken üstündeki değerlerde Ca^{+2} , Mg^{+2} ve soğutma kulesindeki kireç oluşmasında neden olan silikanın etkili bir şekilde uzaklaştırıldığı görülmüştür. pH 7.25 °C sıcaklıktaki suda, 1 mA/cm²'lik akım yoğunluğunda elektrokoagülasyon yöntemiyle 60 dk boyunca elektroliz işlemi devam ettiğinde silikanın %80'in den fazlasının sulardan uzaklaştırıldığı görülmüştür (Anwar ve Abdulmajeed 2020).

Chih-TaWang ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada oksitleyici kimyasal mekanizma kullanılarak bulanıklığın azaltılması ve silikanın uzaklaştırılması amaçlanmıştır. Bekleme, reaktif hale gelme ve stabilize olmak üzere üç seviyede prosesin ilerlediği görülmüştür. Bu üç evre ile silika parçacıklarının zeta potansiyeli, bulanıklığı, silikanın parçacık büyüklüğü arasındaki ilişkiler incelenmiştir.

Reaktif evrede silika kararsız hale gelmiş, kritik silika boyutu 10 dk gibi bir sürede 520 nm üzerinde oluşmuş ve bulanıklık büyük oranda azaltılmıştır. Reaktif evrede ayrıca 10 ile 20 dk'lık bir sürede silika parçacık boyutu 520 nm ile 1900 nm arasında değişen boyutlarda olduğu görülmüştür. Elektrokoagülasyonda kullanılan elektrot çiftleri arasında Fe/Al'nıyla uygulanan 30 V akım ve 200 ppm NaCl'lık bir çözeltinin içinde enerji tüketimi açısından en verimli sonuçlar elde edilmiştir (Wang vd. 2009).

Guseva ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada fiziksel ve kimyasal yöntemler kullanılarak silisin uzaklaştırılmasında H_2SiO_4 ile polimerizasyonu sağlanmıştır. Sonrasında demir, bakır, alüminyum elektrotlar kullanılarak elektrokoagülasyon yöntemi üzerine çalışılmıştır. 120°C den düşük jeotermal sularda silisik asit kullanarak silikanın polimerizasyonu sağlanmış olup çekirdek yarıçapının 0.3-0.6 nm olduğu görülmüştür. Suyun sıcaklık artışıyla birlikte silikanın kritik yarıçapında arttığı gözlemlenmiştir. Deney boyunca solüsyona Mg^{2+} , Co^{2+} , Cu^{2+} , Ni^{2+} , Al^{3+} , Fe^{3+} metal katyonlar tek başlarına ya da diğer metal katyonlarla kombine edilerek 60 ile 120 mg/kg arasında eklenmiştir. 1 metal katyonunun 20-60 SiO_2 ile eşleştiği görülmüştür. Silika parçacığının eklenen metal katyonlardan sadece 5-20 mg/kg absorbe ettiği ve ortalama çekirdeklenme süresinin ve parçacık konsantrasyonunun azaldığı, indüklünme süresinin ve ortalama parçacık boyutunun arttığı görüldü. Kolloidal silikanın negatif elektrik yüklü metal katyonların partikül yüzeylerinin ve yüzey absorpsiyonlarının pH değerine bağlı olduğu görülmüştür. Yine pH miktarı azaldığında, yüzey gerginliğinin arttığı, silika büyüme oranının azaldığı, indükleme zamanının uzadığı da görülmüştür. pH'ın ve asitifikasyonun azalması ayrıca polimerizasyonun engellenmesine ve reaksiyon oranının sürekli azalmasına yol açmıştır (Potapov vd. 2005).

Donald M. Thomas yaptığı çalışmada jeotermal sularda polimerizasyon hızının pH bağlı olarak değiştiğini pH arttıkça polimerizasyonun da arttığını gözlemlemiştir. pH 8.5'in üzerindeki değerlerde silikanın hızla polimerizasyona başlayıp jelatimsi bir şekilde çökeldiği, optimum polimerizasyonun pH 10.5-11.5 değerlerinde elde görülmüştür. Geri kazanılan katıların metanolla yıkanıp ardından süper kritik kurutma yöntemiyle kurutulduğunda silika yüzey alanının 300 m²/g in üzerine çıktığı görülmüştür.

Çökelti içerisinde istenmeyen maddelerin 2N HCl asitle yıkandığında büyük oranda uzaklaştığı görülmüştür. 30°C ile 100°C arasında değişen sıcaklıklardaki termal suda polimerizasyonu hızlandırmak için asit ve kostik; demir sülfat: ve potasyum alüminyum sülfat gibi reaktif maddeler eklenmiştir. Düşük sıcaklıklarda polimerizasyonu hızlandırmak için metal iyon reaktifler eklenmiştir. Yapılan ilk deneysel çalışmada demir ve alüminyum iyonlarının etkinliği değerlendirilmiştir. Su yaklaşık 30°C, pH 6.5-7 arasıdayken pH 8'e ayarlanıp içerisine $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ve $\text{KAl}_2(\text{SO}_4)_2$ eklenmiştir. Sonuç olarak 50:1 oranında eklenen metal iyonlarının kalıntı oluşumunu 2-3 kata kadar engellediği görülmüştür. Alüminyum iyonu eklemek demir iyonu eklemekten daha verimli sonuçlar elde etmiştir ancak her iki iyonla uygulama durumunda elde edilen silika yüzey alanı 150 m²/g altında olmuştur. Sonrasında metanolle yıkanmış silikaya sıvı fazdan çıkarmak için CO₂ ile süper kritik kurutma uygulanmıştır. Kolloide kostik ilavesi aglomerasyon sırasında iyon değişimini önemli ölçüde artırmıştır.

Bu çalışmada polimerizasyonu hızlandırmak için tuzlu su içeren sıvılara 0,5 mM alüminyum veya demir ilavesi yapılarak pH 10.5-11.5 aralığına kostik ilavesi yapıldığında optimum silika geri kazanımı sağlanmıştır. Sonrasında silika jelde bulunan suyu uzaklaştırmak için süper kritik kurutma yapıldığında geri kazanılan malzeme önemli ölçüde artırılmıştır. Optimizasyon çalışmaları göstermiştir ki yüzey alanını artırmak, kazanılan silika jellerden suyu uzaklaştırmak için bir süper kritik kurutma işlemi uygulamanın önemli olduğunu göstermiştir. Sonuçta elde edilen silika, yüzey alanı yüksek değerli olarak kabul edilen 150 m²/g üzerinde ve 250 m²/g'ya yakın olmuştur. Ayrıca alkali iyonlar katılarda on kat zenginleştirilmiş ve seyreltik bir HCl yıkamasıyla kolayca çıkarılmıştır (Thomas 1992).

Edia Rahayuningsih ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada tuzlu suya belli bir pH ve belli bir sıcaklıkta jel tohumlar eklenmiş silika konsantrasyonunda UV ile görülebilen monomerleri tespit edilmiştir. Silikanın polimerizasyonla çökmesi sırasında kütle transferinin etkili olduğu, kütle aktarım katsayısının pH ve sıcaklık arttıkça azaldığı görülmüştür. Silika çökeltme işleminde pH 7, 40°C sıcaklık ve 800 rpm çalkalama hızında optimal olmuştur. Silika konsantrasyonunun azalması partikül boyutunu artırarak silikayı sıvı fazdan katı faza geçirdiği görülmüştür.

Özgül pH ve sıcaklıktaki çözeltide silika monomerinin çözünürlüğünün etkilendiği ayrıca tuzlu suda monomerik silika konsantrasyonunun azalmasının daha yüksek türbülans ve daha düşük bir kütle aktarımı olduğu görülmüştür (Setiawan vd 2019).

Kashpura ve Patapov'un yaptığı çalışmada kolloid ve monomerik silikanın ektrasyonunda elektrokoagülasyon işlemiyle birlikte silikanın polimerizasyonunu hızlandırmak için farklı çökteticiler, floktlantlar örneğin; $AlCl_3$, $Fe_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$ gibiyada organik, inorganik, iyonik moleküller silika konsantrasyonu ayarlamak için kullanılmıştır.

Yapılan çalışmada termal su çökteticisi ilave edilerek 20 ile 60 dk süreyle kolloidal silika partiküllü oluşması için yaşlanmaya tabi tutulmuştur. Çöktürülmüş silika topaklanma eğilimindedir kullanılan manyetik sirkülasyon düzeneği sayesinde reaktif tüketimi ve malzeme ağırlık oranını azaltılmıştır. Böylece çökeltme esnasında flokülasyon yeteneğini artırdığı görülmüştür.

Yaşlanma sıcaklığı, partikül boyutunu, spesifik yüzey alanını, kimyasal içeriği belirlemekte aynı zamanda işlem hızını ve dağılımını artırmaktadır. Islak silisin yoğunluğu 2.0 g/cm^3 $T = 105^\circ\text{C}$ 'de kurutulduktan sonra silisin kütlesinin %90 azaldığı ve kuru silisin yoğunluğunun $0.22-0.24 \text{ g/cm}^3$ olduğu görülmüştür (Kashpura ve Potapov 2001).

Karpov ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada metalik elektrotun anodik çözünmesiyle tuzlu su içeren bir termal sudan elektrokoagülasyon yoluyla silikanın çöktürülmesi amaçlanmıştır. Deneyde Al elektrotlar kullanılmış olup akım yoğunluğu $I = 0.1-3 \text{ A}$ aralığında kullanılmış, çalışılan suyun sıcaklığı $T=20^\circ\text{C}$, çözeltideki silika yoğunluğu $600-800 \text{ mg/kg}$, optimum akım yoğunluğu $I = 0.5-1 \text{ A}$ olmuştur. İlk aşamada $I = 1.5 \text{ A}$ olup uygulama süresi $t = 0-3 \text{ dk}$ arasında sudaki silika miktarı azalmış ve pıhtılaşma başlamıştır. İkinci aşamada ise kullanılan akım yoğunlukları sırasıyla 0.5 A , 1.0 A , 1.5 A olacak şekilde ve uygulama süreleri de sırasıyla $10-40 \text{ dk}$ arası, $5-30 \text{ dk}$ arası, $3.3-15 \text{ dk}$ olacak şekilde uygulanmıştır. Çözelti anodun yakınında asidik, katotun yakınında bazik ortam $Al(OH)_3$ oluşmuştur.

Üçüncü aşamadaysa silisin denge çözünürlüğünün zamanla azaldığı görülmüştür. Sonuç olarak akımı düşürmek güç tüketimini azaltmış ama proses süresini uzatmıştır. Çalışmada elektrot arası mesafe 5-15 mm arasında kullanılmış olup optimum verim 10mm de sağlanmıştır. Alüminyum anottun katota göre 3-4 kat daha düşük çözünme sağladığı görülmüştür (Potapov vd. 2001).

Garcia'nın yaptığı çalışmada düşük enerji gereksinimi ve düşük CO_2 salınımında dolayı olivinin çözündürülmesiyle nano silis elde edilmesi üzerine çalışmıştır. Elde edilen silisin kalitesi diğer yöntemlere göre çok daha yüksek saflıkta olmuştur. Olivin negatif pH'la çözündürülmesi, izoelektrik noktanın altında silika partiküllerinin büyümesi ve negatif pH'da silika gözenek yapısının gelişimi şeklinde bu üç aşama araştırılmıştır. Olivin nano silika koşullarında çözündürülerek belirli değişkenler altındaki uygulama koşullarının nano silika elde edilmesi üzerindeki etkisi teknik yönlerden ele alınmıştır.

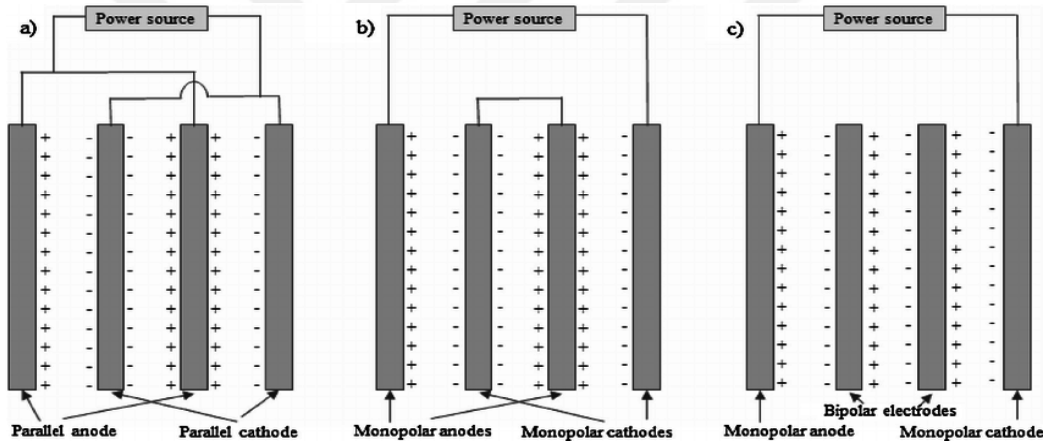
Doktora çalışması sonuçlarında olivin çözündürmesiyle nano silis elde edilmesi önemli verimlilikte uygulanabilmiştir. Olivinin çözündürülmesi sonucunda elde edilen silisin saflığı %99 yakın olarak bulunmuştur. Vakum altında filtrelenmiş koşullarda olivin çözünmesinin çok etkili olduğu ve BET alanı $350 \text{ m}^2/\text{g}$ civarında elde edilmiştir. Tane boyutu ise 2 ila 100 nm arasında olmuştur.

Nano partikülleri ayırmak için ultrasonik tekniklerin kullanılabileceği ve ayrıca değişken koşulların kontrol altına gözenek boyutunun 9 nm kadar düşürülebileceği, BET alanının $500 \text{ m}^2/\text{g}$ kadar çıkarılabileceği sonuçları elde edilmiştir (Garcia 2014).

Amitani ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada jeotermal sulardan organik malzeme olan setiltrimetilamonyum bromür (CTAB) kullanarak mezo gözenekli silis elde edilmesi üzerine çalışılmıştır. $2.4 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$ konsantrasyonuna sahip CTAB 90°C sıcaklığa sahip jeotermal suya 30 dk boyunca 475 mg/L SiO_2 konsantrasyonunda uygulanmıştır. 550°C sıcaklıktaki suda 2.8 nm gözenek boyuna sahip BET yüzey alanı $800 \text{ m}^2/\text{g}$ olan mezo silis elde edilmiştir. Asit konsantrasyonu 280 mg/L ye düşürüldüğünde aşırı doymuş silisin jeotermal sulardan verimli bir şekilde geri kazanıldığı görülmüştür

Walter Den ve Chia-JungWang yaptığı çalışmada kaynak sudan silisin uzaklaştırılması için elektrot düzenlemesi, akım yoğunluğu, uygulama süresi gibi parametreler incelenerek elektrokoagülasyon yöntemi üzerine çalışılmıştır. Ters ozmoz yöntemiyle suyun tuzdan arındırma işlemi ve silika uzaklaştırılması amacıyla elektrokoagülasyon yöntemi uygulanmıştır. Resim 2.8'deki ki gibi bir düzenekte bağlanarak uygulanan elektrokoagülasyon düzeneği monopolar ve bipolar olacak şekilde tasarlanmıştır olupbipolar deney düzeneğinin silikayı uzaklaştırmakta daha başarılı olduğu görülmüştür.

Akım yoğunluğu 80 mg/L ile 200 mg/L arasında çözünmüş ilk silika konsantrasyonunda 0.5 A ve 30 dk'lık uygulama yapıldığında çalışılan sudan %80 oranında silikanın uzaklaştırıldığı görülmüştür (Den ve Wang 2007).



Resim 2. 8 a) Monopolar paralel bağlantı b) Monopolar seri bağlantı c) Bipolar seri bağlantı
(14)

Crombie ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada deniz suyunun tuzdan arındırılmasında ters ozmoz yöntemi kullanılmıştır. Ters ozmoz yöntemindeki en büyük sorunlardan biri membran filtrelerin silika gibi kirleticiler tarafından tıkanarak sistemin verimsiz hale gelmesidir. Bu çalışmada deiyonize su, yapay deniz suyu, yapay çözelti suyu gibi sulardan silika gibi kirleticilerin sistemde uzaklaştırılması amaçlanmıştır. Kullanılan elektrokoagülasyon tekniğinde suya Al^{3+} ve Fe^{3+} iyonları eklenmiş ve silikanın sudan uzaklaştırılma verimliliği araştırılmıştır. 15 mg/L ile 200 mg/L değişen oranlarda silika bulunan suya Fe^{3+} iyon eklendiğinde silikayı uzaklaştırmada etkili olmazken Al^{3+} iyon eklendiğindeyse kirli suda %90.2, deniz suyunda %60.2 oranında silika sudan

uzaklaştırılabilmiştir. En etkili uzaklaştırmanın ise 28 mg/L silika yoğunluğu içeren sudaki uygulamada olduğu bulunmuştur (Zhang vd. 2019).

MohFaiqun Ni'Am ve Fadil Othman yaptığı çalışmada manyetik alan oluşturulup elektrokoagülasyon yöntemi uygulandığında askıda kalan atık maddelerin uzaklaştırılması yoluyla suyun arıtması üzerine çalışılmıştır. Bu deneyde elektrokoagülasyon düzeneğine ilaveten mıknatıslı bir sistem eklenerek askıda ki katı maddelerin uzaklaştırılması amaçlanmıştır. Süt tozundan oluşturulan yapay çözeltide elektrokoagülasyon düzeneğinde monopolar bağlantı yapılarak Fe elektrotlar ve anotlar kullanılmıştır. DC akım yoğunluğu 0.5 ile 1.1 A arasında kullanılmış ve sisteme 0.16 T manyetik güze sahip mıknatıs ilave edilmiştir. Sonuçta bulanıklık %95 kadar giderildiği gözlemlenmiştir (Ni'am ve Othman 2014).

2.4 Elektrokoagülasyon Uygulamasına Etki Eden Faktörler

2.4.1 Güç Kaynağı

Elektrik yükü sadece bir yöne akan DC (Doğru Akım) ve akımın yönü periyodik olarak değişen AC (Alternatif Akım) olmak üzere iki akım kaynağından bahsedebiliriz. Literatürde DC güç kaynağı kullanımı daha yaygındır ve DC anodun oksitlenerek tükenmesine ve katodun pasivizasyonu denen bu olayda katot üzerinde bir oksit tabakasının oluşmasına neden olur. Bu pasivizasyon iki elektrot arasındaki akımın akışının azalmasına uygulanan akım süresinin uzamasına neden olur. Başlangıçta sisteme klorür iyonu eklendiğinde Fe ve Al elektrot kullanılırken pasivizasyonu önleyen moda DC güç kaynağı kullanıldığında verimliliğin arttığı gözlemlenmiştir (Fayad 2018).

Elektrokoagülasyon düzeneğine akım verildiğinde denge potansiyel farkının ve anot ile katodun aşın potansiyel farkının üstesinden gelecek önlemler alınmalıdır. Ohm potansiyel farkının oluşması da önlenmelidir (Güney 2013).

2.4.2 Elektrokoagülasyonda Uygulanan Akımın Yoğunluğu

Elektrokoagülasyonda akım yoğunluğu önemli bir parametre olup süreklilik denklemi arasında akımının korunumu anlamına gelmekle birlikte anot, katot ve elektrotlar arasında akım yoğunluğu değişebilmektedir. Anotta pıhtılaştırıcı reaksiyon oluşumu katottada Hidrojenin üretimi ve kabarcık oluşumu yine süreci etkilemektedir. Plaklar arasındaki boşlukların mesafesinin elektrik gücünün tüketimini etkilediği görülmüştür (Gheraout vd. 2019).

Birim elektrot alanına düşen akım olarak tanımlanan akım yoğunluğunu elektro koagülasyon düzeneğinde çubuk veya plak şeklindeki elektrotlarda salınan Fe^{+2} ve Al^{+3} iyonlarının yoğunluğu belirler. Akım yoğunluğu yükseldikçe anot ve katottaki iyon üretimi artmakla birlikte diğer taraftan elektrik enerjisi bir bakıma suyun ısıtılması için harcanmış gibi olacaktır buda akım verimliğinde önemli bir düşüşe sebep olur (Güney 2013).

Elektrik akımı anodun etki alanına bölünerek bulunan ve pıhtılaştırıcı dozu, aglomeraların boyutu, kirleticileri uzaklaştırmak için oluşan kabarcık üretimi hızı gibi parametrelerle elektrokoagülasyon sürecini etkileyen önemli parametrelerdir. Akım yoğunluğunun artmasıyla özellikle kirlilik giderme proseslerinde anodik çözünme hızlanır ve hidoksitlerin artışına neden olur bu durum da kirleticilerin ortamdan uzaklaştırılmasını hızlandırır. Akım yoğunluğunu optimum değer üzerine çıkarmak bazen gereksiz yere çözeltiyi ısıtmak için gücü kullanacağından verimlilik azalacaktır. (Fayad 2018).

2.4.3 İletkenlik ve Akım Verimliliği

Karbon ve sülfat iyonlarının varlığı akım verimliliğinin azalmasına neden olurken Ca^{+2} ve Mg^{+2} iyonlarının çökmesine neden olur. Suyun içine tuz konulması akım verimliliğini artırırken anyodik türlerin olumsuz etkilerini min. hale getirirken %20 oranında Cl^{-} iyonunun bulunması verimi artırırken NaCl bulunması kullanılacak güç tüketimini azaltmaktadır (Güney 2013).

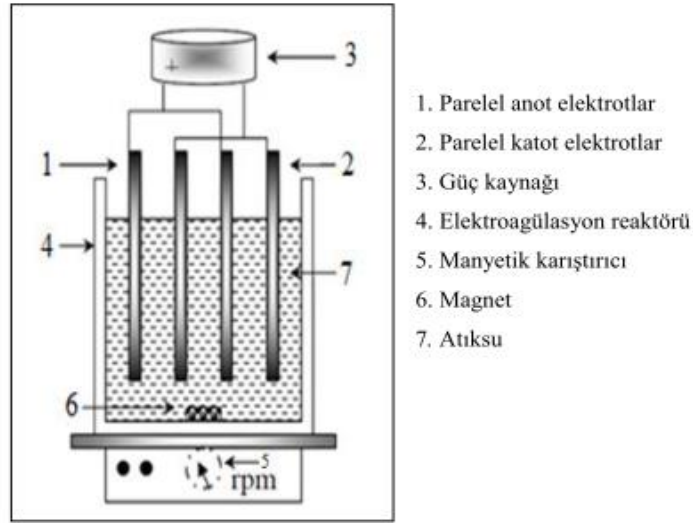
Çözeltilerin iletkenlikleri elektrolitlerin yapısına ve konsantrasyonuna bağlı olup literatürde BaCl_2 , Na_2SO_4 , KCl , KI , NaCl gibi birçok elektrolitlerle yapılmış çalışmalarda vardır. Elektrolitler aslında bulundukları çözeltilerde farklı işe yararlar örneğin suyun iletkenliğini değiştirirler, iyonik aktiviteleri ve iyonik güçleri değiştirirler EC sistemleri özellikle anyonların türlerinden etkilenirler (Güney 2013).

2.4.4 Kullanılan Elektroların Devre Yerleşim Şekilleri

Elektrotların yerleşimi yatay ya da dikey olabilir ve bağlantıları genel anlamda monopolar (MP) ve bipolar (BP) şeklinde olabilir. MP sistemler tüm anot ve katotlar kendi içlerinde birbirine bağlıyken BP sistemler en dıştaki elektrotlar güç kaynağına bağlı olup akım üzerlerinden geçerken diğer elektrotlar polarize olurlar. Elektrotun anoda bakan tarafları negatif, katodun diğer tarafına bakan kısmı ise pozitif olur (Sahu vd. 2014).

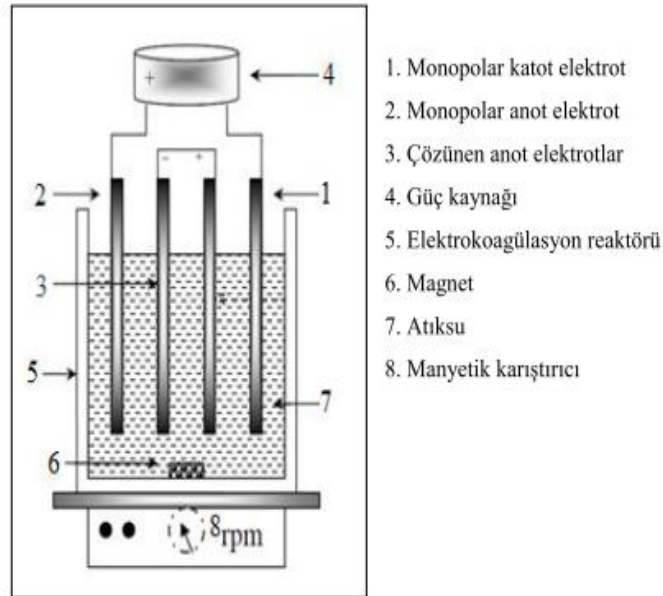
EC sistemlerinde elektroliz düzeneği oluşturulurken elektrik akımının çözeltiliye aktarılmasında monopolar paralel devre (MP-P), monopolar seri devre (MP-S), bipolar seri devre (BP-S) olmak üzere üç tip bağlantı türü vardır (Güney 2013).

Şekil 2.2’de görüldüğü gibi MP-P devrelerde tüm anotlar ve katotlar birbirine aynı zamanda da DC güç kaynağına bağlanırlar. Aynı hücrelerde çalışan özdeş hücreler mantığıyla çalışan bu sistemde hücre potansiyelleri de paraleldir. Seri bağlantıyla karşılaştırıldığında paralel bağlantıda daha düşük potansiyel farkı elde edilmiş olur.



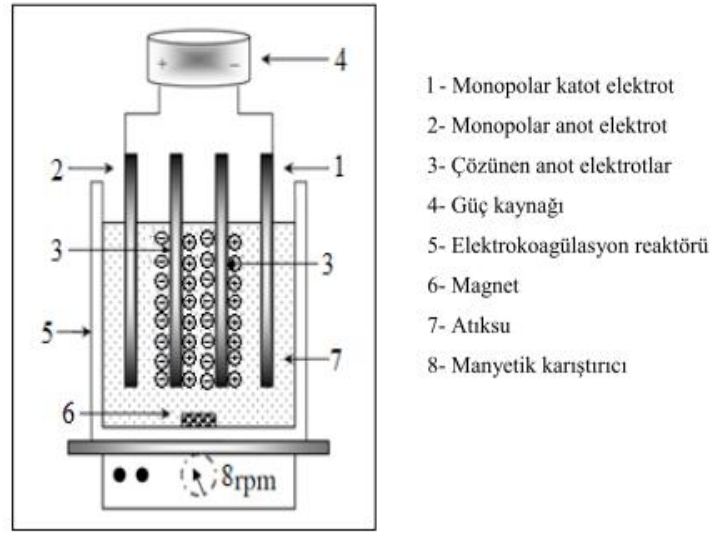
Şekil 2. 2 Örnek bir MP-P devre bağlantısı (Güney 2013).

Şekil 2.3’de görüldüğü gibi MP-S bağlantı tipinde sıralı halde bulunan elektrotlarda en dışta bulunan iki tanesi, anot ve katotdan oluşan dış devreye bağlanırken, içte kalan her bir elektrot çiftiyse sadece birbirine bağlanır. Bu sistemde yine anot, katot ve elektrotun pasivizasyonunu önleyecek tedbirler alınmalıdır. Bu hücre tipinde oluşan hücre potansiyeli daha yüksek bir potansiyel farkla sonuçlanır.



Şekil 2. 3 Örnek Bir MP-Sdevre bağlantısı (Güney 2013).

Şekil 2.4’ te görüldüğü gibi BP-S bağlantı tipinde içte bulunan elektrotlar bağlı değilken en dışta bulunan elektrotlar güç kaynağına bağlıdır. Böylece en dışakiler monopolarken içtekiler bipolar olurlar. Yapılan çalışmalarda en ekonomik olan MP-P olduğu bulunmuştur (Güney 2013).



Şekil 2. 4 Örnek Bir BP-S devre bağlantısı (Güney 2013).

2.4.5 Elektrot Malzemesi, Şekli ve Elektrotlar Arası Mesafe

EC ile elektrokoagülasyonda Al, Fe, Ag, As gibi malzemeler arasından elektrot malzemesi seçimi maksimum verimlilik ve minimum kirlilik sağlanması için önemli bir karardır. Al ve Fe gibi çok değerlikli, bilinen malzemeler pıhtılaştırma özelliklerinin yüksek olmasından dolayı; SnO_2 , PbO_2 , grafit, nikel gibi yeni nesil çözünmeyen anot malzemeler ile yüksek kimyasal direnç istenen yerlerde nikel, bor katkılı malzemeler tercihen elektrot malzemeleri olarak kullanılmaktadır. Genelde elektrot malzemeleri inert malzemelerden tercih edilir, artık malzemelerin berraklaştırılmasında kullanılan elektrot yüzeyleri sık sık temizlenmelidir aksi takdirde metal katyon salınımı azalır. Kullanılan elektrotun şekli yüzey alanı ve hacim oranını belirlemekler birlikte sudaki kirleticilerin uzaklaştırılması yüzey alanı artırmaktadır. Yine delikli elektrotların düz elektrotla nazaran daha fazla suyun rengini düzenlemeye yardımcı olduğu görülmüş olup literatürde karmaşık geometriye sahip elektrotlar kullanılmış olsa da düzlemsel elektrotlar daha çok tercih edilmiştir (Güney 2013).

Uygun elektrot seçiminde kullanılacak malzemenin kimyasal ve elektrokimyasal özellikleri, kararlılık durumlarıyla birlikte fiziksel ve kimyasal kararlılıkları da önemlidir. İyi elektrik iletkenliğine sahip, aşırı gerilim değeri düşük ve çevreye zarar vermeyen ayrıca da ekonomik bir ürün olması da önemlidir (Güney 2013).

İstenilen EC performansını elde etmek için uygun elektrot seçiminin yanı sıra elektrotların yerleşimi ve bunlar arasındaki mesafelerin uygun bir şekilde seçilmesi önemlidir. Elektrotlar arasındaki boşluğun azalmasıyla elektrokimyasal olarak gaz kabarcıkları türbülans oluşturur ve güç tüketimi azalmaktadır (Ghernaout vd. 2019).

Elektrotlar arasındaki boşluk azaldığında kütle transfer özellikleri iyileşmekle birlikte aynı zamanda güç tüketimi azalır ve enerji tasarrufu sağlanır. 10 mm' den daha az olan elektrotlar arası boşlukta floktlanma nedeniyle sık polarite değişimi yaşanır düşük türbülansın meydana getirdiği birikintiler oluşur (Sahu vd. 2014).

2.4.6 pH Değişkeni

Çözeltinin pH değeri elektrokimyasal reaksiyonlarda polimerizasyon, pıhtılaşma ve çözeltinin elektriksel iletkenliği üzerinde önemli rol oynar. Elektrokoagülasyon süreçlerinde genellikle Fe, Al gibi metallerden oluşan elektrot çubuk ya da plakalar kullanılır. Bu elektrotlar EC akımının etkisiyle çözeltinin içinde çözünür hidroksitler oluşur. Hidroksitler sudaki koloidal parçacıkları kararsız hale getirerek zeta potansiyeli sıfıra doğru düşmesine neden olur. pH ortamları genellikle asidik, nötr, hafif alkali ph, yüksek alkali pH gibi çözelti ortamları şeklinde sınıflanabilir. Metal elektrot çubuk ve plakaların çözünmesiyle ortama çıkan iyonlar, katyon ve anyonlar pH derecesine bağlı olarak elektroliz sonuçlarının etkileyerek değiştirebilir. Örneğin Al elektrot kullanıldığında nötr çözelti ortamlarına nazaran asidik ve bazik ortamlarda elektrokoagülasyonda kullanılan akım verimliği daha yüksektir.

Demir elektrot kullanıldığında asidik bir ortamda ve pH 5 in üzerindeki ortamlarda elektrik olmadan bile çözünebildiğini göstermiştir.

Yüksek pH'lardaysa demirin çözünmesi hızı düşmekte alkali ortamlarda demirin korozyonu azalmaktadır. Çözeltideki oksijen azlığının yüzeyde korozyon hızını azalttığını göstermiştir (Sahu vd. 2014).

Elektrokoagülasyon yöntemi suyun bulanıklığı giderme amacıyla da kullanılırken asidik sularda akımın verimliliği bazik ortamlara nazaran daha yüksek olduğu görülmüştür. Katot üzerinde hidrojen oluşumu artar ve anot üzerine H iyonlarına serbest bırakarak pH değerini düşürür (Güney 2013).

2.4.7 Sıcaklık

Elektrokoagülasyon hızının belli bir sıcaklık değerine kadar sıcaklığa bağlı olarak artması akım verimliliğinin artmasından kaynaklanmaktadır. Örneğin Al elektrotlar üzerine yapılan bir araştırmada sıcaklığın artmasıyla birlikte alüminyum hidroksit jellerinin gözenekleri daralarak elektrot yüzeyine biriken flokları oluşturmaktadırlar (Güney 2013). Yapılan bir araştırmada Fe elektrot kullanarak indiyum iyonlarının 288-315K sıcaklıkları arasında sulu bir çözeltiden uzaklaştırılması üzerine çalışılmıştır. İndiyum iyonlarının 288K, 298K, 308K ve 318K sıcaklıklardaki sulardan uzaklaştırılma oranları sırasıyla %80.9, %90.4, %92.7, %94,1 olarak bulunmuştur. Sonuçta sıcaklık artışıyla metal hidroksitlerin reaksiyon hızlarının artmasıyla açıklanabilir (Fayad 2018).

2.4.8 Reaksiyon Süresi

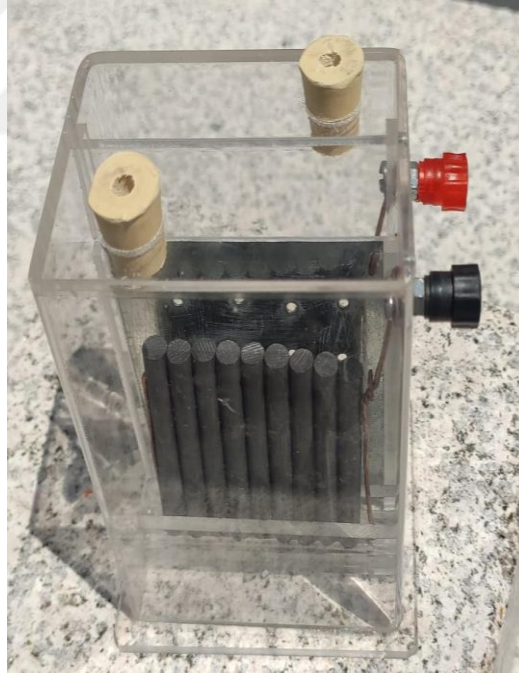
Pozitif elektrotlarda anodik reaksiyonlar, negatif elektrotlarda katodik reaksiyonlar meydana gelir. Elektroliz süresinin belli bir değere kadar artmasının hidroksit floktanların ve iyon konsantrasyonunda artış olmaktadır (Güney 2013).

Yine başka bir çalışmada sudaki kirleticileri uzaklaştırmasında optimum elektroliz süresine kadar elektroliz süresinin artmasıyla floktanmanın ve veriminde arttığı görülmüştür (Fayad 2018).

3. MATERYEL METOT

3.1 Deney Düzeneğinin Hazırlanması

Elektrokoagülasyon deney düzeneği için ilk olarak normal saf suya değişik mollerde NaCl ekleyerek elektroliz işlemi uygulamak için gerekli Resim 3.1’de görülen bir kap oluşturulmuştur. Bu işlem için Resim 5.1’de ki 6.5 x 8.5 x 11.5 cm ebatlarında plexiglass elektroliz ünitesi kullanılmıştır. 2.5 x 8.5 x 11.5 cm ve 4.5 x 8.5 x 11.5 cm iki bölmeden oluşmaktadır. Elektroliz ünitesinde 7 x 8 cm ebatlarında galvaniz plaka üzerine suyun akışını sağlamak için 3 mm’lik çapında, merkezler arası mesafe 15 mm olan yatay ve dikeyde 4’er sıra toplam 16 adet delik açılmıştır. Galvaniz plakanın karşı tarafında 6 mm çapında ve ortalama uzunlukları 5.5 cm olan 9 adet demir çubuk yerleştirilmiştir. Yine istenilen voltajda akım elektroliz bölümüne vermek üzere iletken 2 adet cıvatanın biri galvaniz plakaya biride demir çubuklara ayrı ayrı bağlanmıştır.



Resim 3. 1 Elektroliz deney düzeneği

Elektrokoagülasyon işleminde en önemli etkenlerden biride kullanılan elektrik akımıdır. Bu deney setinde çalışma voltaj aralığı 0-30V, akım yoğunluğu 0-5A arasında verebilen Resim 3.2’ de görülen MERVESAN MT-305B DC güç kaynağı seçilmiştir.



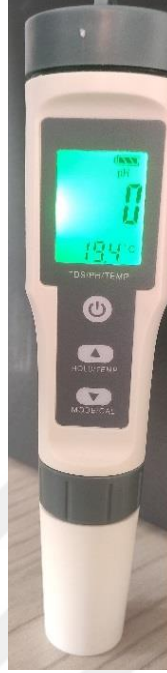
Resim 3. 2 DC güç kaynağı

Beherler ve büyük deney düzeneğindeki kaplar arasından elektrokoagülasyon düzeneğine daha sonrada polimerizasyon, çökeltme kapı arasında sıvı transferi için Resim 3.3'te görülen ANTECH marka NANO A 5L/5B V22FAT peristaltik pompa kullanılmıştır. 12 V DC motorla çalışan bu pompa düşük akışlı ve düşük basınçlı olup ek kullanılan manuel ayar düğmesiyle birlikte suyun akış hızını, debisini ayarlamak için kullanılmıştır.



Resim 3. 3 Peristaltik pompa

Sıcaklık ve pH ölçmek için MULTIFUNCTION marka 154-B EC0116BL Resim 3.4’te görülen ölçüm cihazı kullanılmıştır.

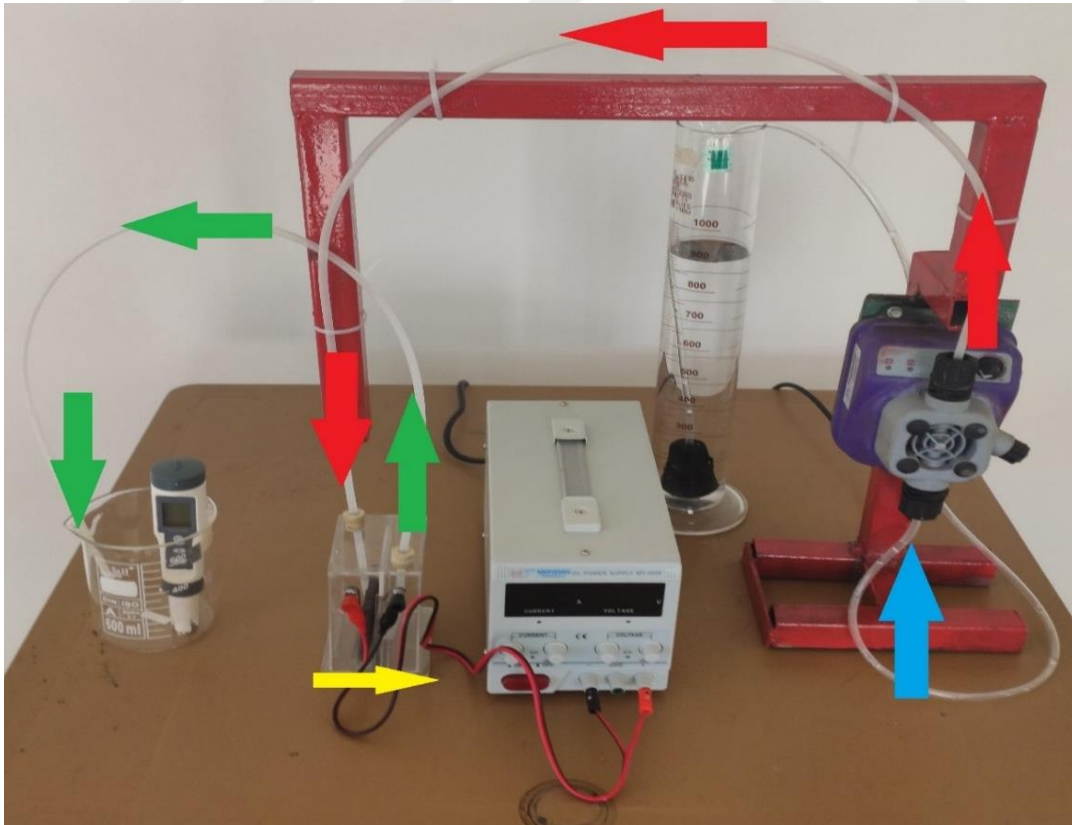


Resim 3. 4 pH ve sıcaklık ölçer

TDS ve EC ölçmek için Resim 3.5’te görülen ZAUSS marka TDS/EC ölçüm cihazı kullanılmıştır.



Resim 3. 5 TDS ve EC ölçer



Resim 3. 7 İlk elektroliz deney düzeneği

İlk yapılan deney düzeneğinin önden görünüşü Resim 3.7 de verilmiştir. Bu düzenekte mavi okla gösterilen akış yönü kullanılan peristaltik pompanın emiş yaptığı rezervuar haznesidir. Mavi ok yönünde emiş yapılan su pompaya ulaştıktan sonra kırmızı ok yönünde borularla elektroliz ünitesinin içine basılmaktadır. İki bölmeli elektroliz ünitesine gelen su sarı ok yönünde pompanın debisiyle orantılı olarak akışla elektroliz yapıp daha sonra yeşil ok yönünde biriktirme haznesine dolmaktadır.



Resim 3. 8 Pompa debi ölçüm düzeneği

ANTECH marka NANO A 5L/5B V22FAT marka manuel ayarlı pompayla belirlenen kademelerde debi ölçümü yapmak için Resim 3.8’de görülen pompa debi ölçüm düzeneği oluşturulmuştur. Debi ölçümünde DİKOMSAN ACS-Z model dijital tartı kullanılmış olup, tartı üzerine behere yerleştirilmiş, tartı üzerinde dara sıfırlanmış sonrada ilk damla su düştüğü andan itibaren dijital kronometre çalıştırılmış her dakika tartı üzerinde okunan değer kaydedilmiştir. Bu uygulama 10’ar dakikalık 3 ölçüm turunu kapsamıştır. Buradaki amaç hem pompanın farklı hızlardaki çalışma güvenirliğini görmek hem de pompa üzerinde belirlenen noktaya elle ayarlama yapıp pompa çalıştırılacağı için deney uygulaması esnasında elle ayarlamadan kaynaklanacak hataları en aza indirmek için yapılan bu 3 ölçüm turundan elde edilen ortalama debiyi kullanmaktır.



Resim 3. 9 Pompa ayar kademeleri

Resim 3.9’da görülen pompanın kademelerini gösteren manuel ayar kısmı 3 kademe olarak belirlenip 3 debi hızı elle ayarlanmıştır. 1. Kademe pompanın min. çalışma hızında olacak şekilde pompanın sıfır noktasının hemen üzerinde pompanın çalışmaya başladığı hızda belirlenmiştir. Ölçülen debi değerleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3. 1 Pompanın elle belirlenen 1. Kademedeki ortalama debi ölçüm değerleri

Pompa debisi (1. Kademe)	Ölçüm seti 1 (ml/dk)	Ölçüm seti 2 (ml/dk)	Ölçüm seti 3 (ml/dk)
1. Dakika	10	5	5
2. Dakika	15	10	10
3. Dakika	15	15	15
4. Dakika	20	20	20
5. Dakika	25	25	25
6. Dakika	35	30	30
7. Dakika	35	35	35
8. Dakika	40	40	40
9. Dakika	45	45	45
10. Dakika	50	50	50
Ortalama debi	5	5	5

2. kademe debi hızını belirlemek için pompanın kendi üzerinde olan min. yazan kısım 1 Çizgi üzerinde bir değer seçilmiştir. Bu noktaya ayarlanan pompayla ölçülen debi değerleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3. 2 Pompanın elle belirlenen 2. Kademedeki ortalama debi ölçüm değerleri

Pompa debisi (2. Kademe)	Ölçüm seti 1 (ml/dk)	Ölçüm seti 2 (ml/dk)	Ölçüm seti 3 (ml/dk)
1. Dakika	20	15	10
2. Dakika	35	35	35
3. Dakika	65	50	50
4. Dakika	75	65	65
5. Dakika	90	85	85
6. Dakika	105	100	100
7. Dakika	120	115	115
8. Dakika	135	130	130
9. Dakika	150	145	145
10. Dakika	165	160	165
Ortalama debi	16.5	16	16.5

3. kademe debi hızını belirlemek için pompanın kendi üzerinde olan 1. Çizgi üzerinde seçilmiştir. Bu noktaya ayarlanan pompayla ölçülen debi değerleri Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Bu 3 kademeli ve üçer setten oluşan ölçümlerle pompanın elle ayarlanacak olan hız kademelerini test etmek hem de ortalama bir değer elde edilip test ve ölçüm sırasında yapılacak yorumlarda kullanılmak için veri elde etmektir.

Çizelge 3. 3 Pompanın elle belirlenen 3. Kademedeki ortalama debi ölçüm değerleri

Pompa debisi (3. Kademe)	Ölçüm seti 1 (ml/dk)	Ölçüm seti 2 (ml/dk)	Ölçüm seti 3 (ml/dk)
1. Dakika	20	15	10
2. Dakika	35	35	35
3. Dakika	65	50	50
4. Dakika	75	65	65
5. Dakika	90	85	85
6. Dakika	105	100	100
7. Dakika	120	115	115
8. Dakika	135	130	130
9. Dakika	150	145	145
10. Dakika	165	160	165
Ortalama debi	16.5	16	16.5

Bu 3 kademeli ve üçer setten oluşan ölçümlerle pompanın elle ayarlanacak olan hız kademelerini test etmek hem de ortalama bir değer elde edilip test ve ölçüm sırasında yapılacak yorumlarda kullanılmak için veri elde etmektir. Pompanın 1. Kademesinde ortalama debi 5 ml/dk, 2. Kademesinde 16.5 ml/dk ve 3. Kademesinde 62 ml/dk olarak ölçülmüştür.

Şekil 3.7’de görülen elektroliz deney düzeneğinde mezürün içine 1000 ml’lik bir saf su konulmuş ve içine yaklaşık 0.01 M, 0.1 M ve 1 M NaCl karıştırılmıştır. Resim 5.1 elektroliz deney düzeneğinin içinde de deney öncesinde hazır halde 0.01 mol, 0.1 mol ve 1 M NaCl içeren 500 ml’lik saf su konulmuş her farklı çözelti değeri için 3 farklı pompa hızı kullanılarak deneyler yapılmıştır.

Resim 3.7’de ki deney düzeneği 30 V gerilim verilip pH, sıcaklık ve voltaj değerleri ölçülüp her dakika ölçüm sonuçları yarım saat boyunca kaydedilmiştir.

Deney düzeneğine giren ve çıkan noktalarda ki boruların takıldığı mantarlara teflon esnek bant sarılarak pompanın sisteme su basması sırasında olabilecek sızıntılar engellenmiştir. Deney düzeneğinde su seviyesi hiçbir zaman elektroliz ünitesinin içinde bulunan elektroliz plakasının altına düşürülmemiştir. Sistemde su eksilmesi olduğu durumda pompa durdurulmuş böylece beher biriktirme haznesine giden su akışı kesilmiş sonrada deney düzeneğinin içinde eksilen su tamamlanmış, güç kaynağı çalıştırılıp son okunan akım değerine kadar elektroliz ünitesini çalıştırılmış ve pompanın çalıştırılması, değerlerin okunması için kronometre baştan başlatılmıştır.

TDS ve EC'nin ölçümleri birer dakikalık peridotlarda ölçülmüş olup değer okuma işlemi için ekrandaki sayılar harekete başladıktan sonra 5 sn beklenip okunmuştur. pH ve çözeltinin sıcaklık ölçümleri ise 5'er dakikalık periyotların sonunda yine çözeltinin içinde 5 sn bekledikten sonraki değer okunmuştur. Deneyler yarım saatlik setler halinde yapılmıştır. Piyasadaki TDS ve EC ölçerler farklı hassasiyette ve farklı kalitede üretilmektedir hatta aynı marka modelde bile ölçüm sonuçları çok farklı sonuçlar verebilmektedir. Bu tezde ki ölçümler ZAUS markası TDS/EC ölçerle yapılmıştır. Aynı marka ve modelde 2 adet TDS/EC ölçer alınmış olup aynı çözeltiye daldırıldığında daha düşük değer okuyan TDS/EC ölçer seçilmiş ve tüm deneyler bu cihazla yapılmıştır. Ölçüm sonuçlarında TDS/EC ölçer ve pH/ Sıcaklık ölçerler bir kap içinde bulunan saf suda 5'er dakikalık peridotlarla uçları yıkanmıştır ve her ölçüm sonrası aç kapa yapılmıştır.

Pompanın 1. Kademesinde ortalama debi 5 ml/dk olup deneyde V1, 2. Kademesinde 16.5 ml/dk olup deneyde V2 ve 3. Kademesinde 62 ml/dk olup deneyde V3 olarak Çizelge 3.4' te ki gibi isimlendirilmiştir. Bu deney hızları analog olarak elle ayarlanmış olup deney haznesine pompalanan sıvı akış hızını vermektedir. Deneyde kullanılan saf su piyasadan temin edilmiş olup üretim yöntemine göre bazen aynı tuz çözeltisinde farklı saf sularla yapılan deneylerde farklı sonuçlar görülebilmektedir. Saf suyla çözelti hazırlanırken oda sıcaklığında bekleyen saf suya deneydeki oranlarda tuz karıştırılıp 2 dk boyunca elle çalkalanıp karıştırılıp sonrasında beklemeden deneye başlanmıştır. Bu aşama hazırlanan sular deneye yetecek kadar şekilde hazırlanmıştır.

Farklı tuz çözeltisindeki deneyler farklı zamanlarda yapılmış olup aynı tu çözeltisiyle 3 farklı hızda yapılacak deney aynı gün içinde tamamlanmıştır. Deneyde kullanılan deney ekipmanı, beher, mezür gibi ekipmanlar deney sonrasında suyla yıkanarak kurutulmaya bırakılmış ve bir sonraki deney seti bunlar tamamen kuruduktan sonra yapılmıştır. Deneyde kullanılan pompa ve ona bağlı borularda yine pompanın su çeken kısmı su dolup bir bidona daldırılıp pompa çalıştırılmış ve 5 dk boyunca pompa ve borularında su geçirilerek temizlenmiştir.

Çizelge 3. 4 Deney boyunca deney düzeneğini beslemek için kullanılan değerler

V1 (ml/dk)	V2 (ml/dk)	V3 (ml/dk)	Gerilim (Volt)
5	16.5	62	30

Deneylerde kullanılan güç kaynağı 30V ayarlanarak yapılmış ve akım değişimi gözlemlenmiştir ancak tuz konsantrasyonun arttığı durumlarda sistemin çektiği akımın artmasıyla gerilim düşmüş ve elde edilen veriler kaydedilmiştir. Bu deneylerde amaçlanan sabit bir gerilim altında ve farklı pompa debilerinde sistemin davranışını anlamaya çalışmaktır.

Saf suyla yapay bir tuz çözeltisi oluşturup değişik debi akışlarıyla yapılan bu deneylerle içinde suyun akışına izin veren 3 mm'lik çapında, merkezler arası mesafe 15 mm olan yatay ve dikeyde 4'er sıra toplam 16 adet delik açılmış 7 x 8 cm ebatlarında bir galvaniz plaka ve bu galvaniz plakaya bağlı aynı elektrik akımının geçtiği 6 mm çapında, ortalama uzunlukları 5.5 cm olan 9 adet demir çubuk bulunan deney düzeneğinin davranışları karakterize edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen bu veriler ışığında jeotermal suya uygulanacak olan deney parametreleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Bu aşamada 3 farklı tuz konsantrasyonu ve 3 farklı debiyle deneylere başlanıp elde edilen veriler ışığında jeotermal sudan yapılacak deneyler şekillendirilmesi sonrada yapay silis ilavesiyle tohumla yaparak nanosilis elde edilmesi amaçlanmıştır.

3.2 NaCl İçeren Saf Su Deneyleri

Bu aşamada 0.01 M yani 0.585 gr NaCl içeren düşük tuz konsantrasyonlu bir çözeltide testte kullanılacak sabit debi hızları ve sabit elektrik gerilimi altında yapılan deney düzeneğindeki oluşan durumlar incelenmiştir.

Ölçümler oda sıcaklığında bekletilen saf suyla 0.01 M NaCl 5dk elle çalkalanarak karıştırılmış sonrasında mezüre doldurulup ölçüm aletler ekranda rakam okunmaya başladıktan sonra 5 sn bekleterek okunmuştur.

Deney Şekil 3.1'deki 500 ml kapasiteli elektroliz deney düzeneğinin içi ve 1000 ml lik su beslemekte kullanılan mezür 0.01 M NaCl içerecek şekilde saf suyla doldurulmuştur. Mezürde su 500 ml nin altına düştükse aynı orandaki çözelti mezüre eklenmiştir.

TDS ve EC ölçümleri birer dakikanın sonunda pH ve sıcaklık ölçümleri de beşinci dakikanın sonlarında yapılmıştır ve Şekil 3.7 İlk elektroliz deney düzeneği çalıştırılarak ölçümler yapıp kaydedilmiştir. Deney düzeneği kapalı çalıştığı için zaman zaman plaka ve çubuk elektrotlarda oluşan pasları çözmek için düzenek içinde kimyasal pas çözücü kullanılmış olup yeterince bekletilip oluşan paslar min. hale geldikten sonra deney düzeneği iyice suyla temizlenip tamamen kurutulup sonrada tekrar deneylere devam edilmiştir. Her bir periyod 1 dk sürmekte olup periyod sayısı kaçınıcı periyod olduğunu göstermektedir. Deneyler 0.01 mol NaCl çözeltisi ve V1, V2, V3 pompa hızlarında yapılmıştır.

3.2.1 0.01 M NaCl İçeren Saf Su Deneyleri

Rezervuar olan suyun deney öncesi ölçüm değerleri Çizelge 3.5'teki gibidir

Çizelge 3. 5 0.01 M NaCl çözeltisi V1 hızı için deney öncesi yapılan ölçüm değerleri

EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	pH	Sıcaklık (°C)
49	20	0.28	30	3.5	18

Çizelge 3. 6 0.01 M NaCl tuz çözeltisi ve V1 pompa hızında deney ölçüm değerleri

pH	Sıcaklık (°C)	Periyod Sayısı	EC (µs/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	$\bar{X}$ EC	$\bar{X}$ TDS	$\bar{X}$ Akım	$\bar{X}$ Volt
3.4	18	1.	59	28	0.31	30	55.4	29.8	0.32	30
		2.	58	28	0.32					
		3.	47	29	0.32					
		4.	56	31	0.33					
		5.	59	33	0.32					
		6.	58	29	0.32					
		7.	57	30	0.31					
3.3	17.8	8.	57	28	0.29	30	57.9	29.7	0.30	30
		9.	59	31	0.30					
		10.	60	32	0.29					
		11.	61	31	0.29					
		12.	62	31	0.30					
		13.	64	31	0.33		63.7	31.3	0.31	30
		14.	64	31	0.33					
3.3	18	15.	66	33	0.31					
		16.	66	33	0.31					
		17.	67	34	0.32					
		18.	68	35	0.32	30	67.9	34.0	0.31	30
		19.	69	35	0.31					
		20.	69	34	0.32					
		21.	68	34	0.33					
3.3	18.2	22.	67	35	0.33					
		23.	69	35	0.32	30	68.1	34.4	0.32	30
		24.	68	35	0.32					
		25.	68	35	0.31					
		26.	68	35	0.31					
		27.	70	35	0.30					
		28.	69	36	0.30	30	69.3	35.1	0.30	30
3.3	18.3	29.	69	35	0.29					
		30.	70	35	0.29					

Çizelge 3. 7 0.01 M NaCl ve V1 Pompa hızında standart sapmalar ve yüzde değişim değerleri

Σ EC	Σ TDS	Σ Akım Şiddeti (A)	Σ Gerilim (V)	% EC	% TDS	% Akım Şiddeti (A)	% Gerilim (V)
4.3	1.8	0.0	0.0	13.2	49.2	13.8	0.0
1.4	1.3	0.0	0.0	18.3	48.8	7.6	0.0
1.6	0.6	0.1	0.0	30.0	56.9	11.0	0.0
1.1	0.6	0.0	0.0	38.7	70.4	12.1	0.0
0.6	0.4	0.0	0.0	39.1	72.3	14.1	0.0
0.7	0.1	0.0	0.0	41.4	75.6	5.9	0.0

0.01 M NaCl çözeltisinde Çizelge 3.5. deney öncesi rezervuar olarak kullanılan suyun başlangıçtaki değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.6'da 30 dk boyunca yapılan ölçümler sonucunda elde edilen veriler ve bu verilere ait 5'er dakikalık elde edilen ortalamalar verilmiştir.

Çizelge 3.7'deyse deney sonuçlarından elde edilen standart sapmalar ve yüzde değişim değerleri verilmiştir.

Daha sonra 0.01 M NaCl içeren çözeltiyle V2 pompa hızında diğer deneye geçilmiştir. Deney öncesi mezür, beher, deney düzeneği içi suyla yıkanarak temizlenmiş, pompanın sirkülasyonu sağlayan boruları temiz suyla 5 dk boyunca çalıştırılarak tuzdan arındırılmıştır. Tüm bütün bu deney düzeneklerinin tamamen kuruması beklenerek sonraki deneye geçilmiştir.

Çizelge 3. 8 0.01 M NaCl çözeltisi V2 hızı için deney öncesi yapılan ölçüm değerleri

EC (μ S/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	pH	Sıcaklık (°C)
32	16	0.24	30	3.2	19.5

Çizelge 3. 9 0.01 M NaCl tuz çözeltisi ve V2 pompa hızında deney ölçüm değerleri

pH	Sıcaklık (°C)	Periyod Sayısı	EC (µs/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	$\bar{X}$ EC	$\bar{X}$ TDS	$\bar{X}$ Akım	$\bar{X}$ Volt
3.2	18.6	1.	34	18	0.20	30	29.2	14.8	0.21	30
		2.	32	15	0.20					
		3.	28	15	0.20					
		4.	26	13	0.23					
		5.	26	13	0.23					
		6.	30	14	0.25					
		7.	32	16	0.26					
3.0	18.5	8.	30	15	0.26	30	29.6	14.8	0.26	30
		9.	28	15	0.26					
		10.	28	14	0.27					
		11.	26	13	0.27					
		12.	28	14	0.27					
		13.	26	14	0.25					
		14.	26	14	0.24					
3.0	18.5	15.	26	13	0.23	30	26.4	13.6	0.25	30
		16.	26	14	0.22					
		17.	26	13	0.22					
		18.	24	13	0.24					
		19.	26	13	0.23					
		20.	24	13	0.23					
		21.	20	11	0.23					
2.8	18.3	22.	24	12	0.23	30	25.2	13.2	0.23	30
		23.	24	13	0.24					
		24.	26	12	0.22					
		25.	26	13	0.23					
		26.	20	10	0.22					
		27.	24	11	0.22					
		28.	20	10	0.21					
2.7	18.1	29.	20	12	0.20	30	20.8	10.6	0.21	30
		30.	20	10	0.21					

Çizelge 3. 10 0.01 M NaCl ve V2 Pompa hızında standart sapmalar ve yüzde değişim değerleri

Σ EC	Σ TDS	Σ Akım Şiddeti (A)	Σ Gerilim (V)	% EC	% TDS	% Akım Şiddeti (A)	% Gerilim (V)
3.2	1.8	0.0	0.0	-8.7	-7.5	-11.6	0.0
1.5	0.7	0.0	0.0	-7.5	-7.5	8.3	0.0
0.8	0.4	0.0	0.0	-17.5	-15.0	5.0	0.0
0.9	0.4	0.0	0.0	-21.2	-17.5	-5.0	0.0
2.1	0.7	0.0	0.0	-25.0	-23.7	-5.8	0.0
1.6	0.8	0.0	0.0	-35.0	-33.7	-11.6	0.0

0.01 M NaCl çözeltisinde Çizelge 3.8’de deney öncesi rezervuar olarak kullanılan suyun başlangıçtaki değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.9’da 30 dk boyunca yapılan ölçümler sonucunda elde edilen veriler ve bu verilere ait 5’er dakikalık elde edilen ortalamalar verilmiştir.

Çizelge 3.10’daysa deney sonuçlarından elde edilen standart sapmalar ve yüzde değişim değerleri verilmiştir.

Daha sonra 0.01 M NaCl içeren çözeltiyle V3 pompa hızında diğer deneye geçilmiştir. Deney öncesi mezür, beher, deney düzeneği içi suyla yıkanarak temizlenmiş, pompanın sirkülasyonu sağlayan boruları temiz suyla 5 dk boyunca çalıştırılarak tuzdan arındırılmıştır. Tüm bütün bu deney düzeneklerinin tamamen kuruması beklenerek sonraki deneye geçilmiştir.

Çizelge 3. 11 0.01 M NaCl çözeltisi V3 hızı için deney öncesi yapılan ölçüm değerleri

EC (μ S/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	pH	Sıcaklık (°C)
54	26	0.26	30	2.6	15

Çizelge 3. 12 0.01 M NaCl tuz çözeltisi ve V3 pompa hızında deney ölçüm değerleri

pH	Sıcaklık (°C)	Periyod Sayısı	EC (µs/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	$\bar{X}$ EC	$\bar{X}$ TDS	$\bar{X}$ Akım	$\bar{X}$ Volt
3.2	18.6	1.	70	34	0.26	30	68.8	33.4	0.25	30
		2.	70	33	0.25					
		3.	70	32	0.25					
		4.	70	35	0.24					
		5.	64	33	0.24					
		6.	62	33	0.24					
3.0	18.5	7.	61	32	0.24	30	58.2	29.6	0.24	30
		8.	58	29	0.24					
		9.	56	26	0.23					
		10.	54	28	0.23					
		11.	60	30	0.24					
		12.	58	29	0.24					
3.0	18.5	13.	54	27	0.24	30	54.8	27.4	0.24	30
		14.	50	24	0.24					
		15.	52	27	0.23					
		16.	54	26	0.22					
		17.	50	26	0.24					
		18.	44	22	0.24					
2.8	18.3	19.	44	22	0.24	30	46.8	23.4	0.23	30
		20.	42	21	0.22					
		21.	42	21	0.22					
		22.	40	20	0.23					
		23.	40	20	0.23					
		24.	38	20	0.23					
2.8	18.3	25.	38	19	0.23	30	39.6	20.0	0.23	30
		26.	38	19	0.22					
		27.	36	18	0.22					
		28.	36	18	0.21					
		29.	34	17	0.20					
		30.	34	17	0.21					

Çizelge 3. 13 0.01 M NaCl ve V3 Pompa hızında standart sapmalar ve yüzde değişim değerleri

Σ EC	Σ TDS	Σ Akım Şiddeti (A)	Σ Gerilim (V)	% EC	% TDS	% Akım Şiddeti (A)	% Gerilim (V)
2.4	1.0	0.0	0.0	27.4	28.4	-4.6	0.0
2.9	2.5	0.0	0.0	7.7	13.8	-9.2	0.0
3.7	2.0	0.0	0.0	1.4	5.3	-8.4	0.0
4.4	2.1	0.0	0.0	-13.3	-10.0	-10.7	0.0
1.5	0.6	0.0	0.0	-26.6	-23.0	-12.3	0.
1.5	0.7	0.0	0.0	-34.0	-31.5	-18.4	0.0

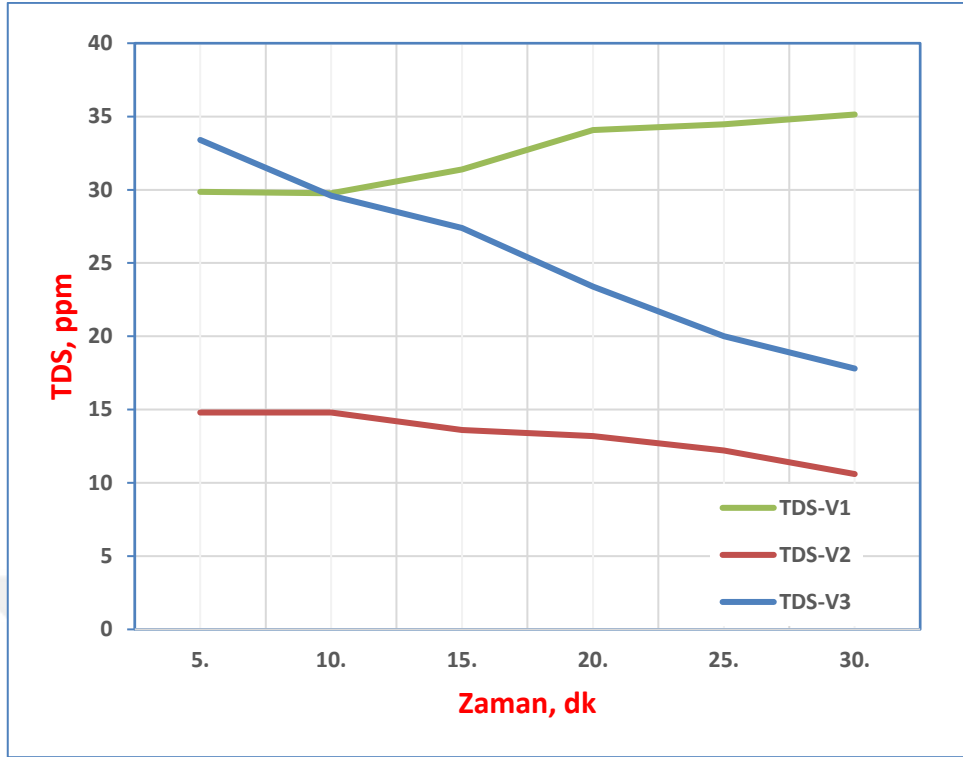
0.01 M NaCl çözeltisinde Çizelge 3.11’de deney öncesi rezervuar olarak kullanılan suyun başlangıçtaki değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.12’de 30 dk boyunca yapılan ölçümler sonucunda elde edilen veriler ve bu verilere ait 5’er dakikalık elde edilen ortalamalar verilmiştir.

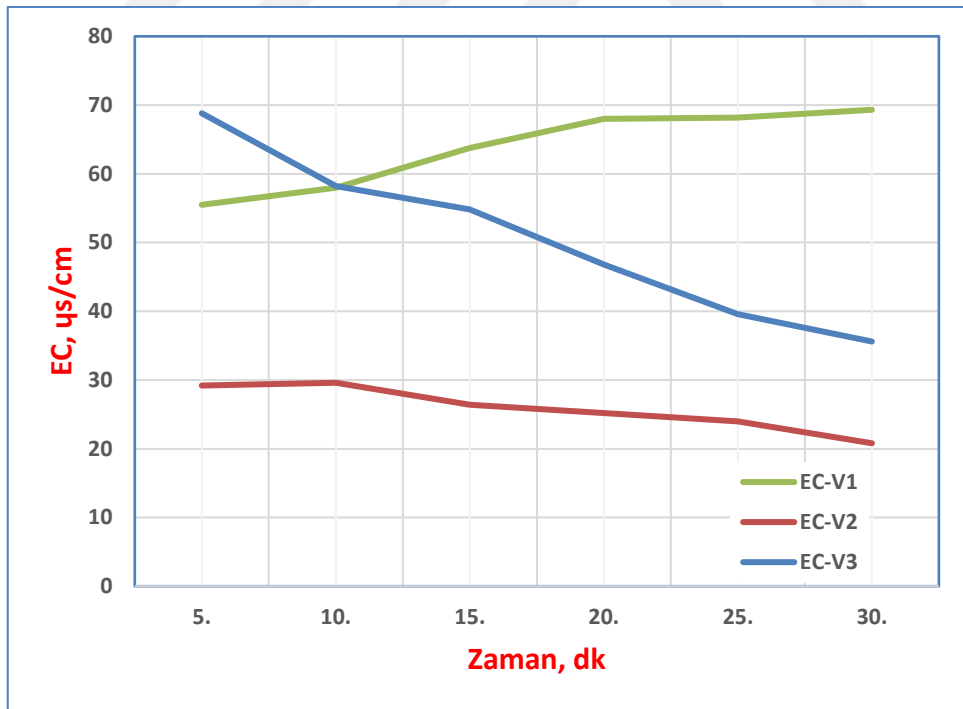
Çizelge 3.13’deyse deney sonuçlarından elde edilen standart sapmalar ve yüzde değişim değerleri verilmiştir.

Çizelge 3. 14 0.01 M NaCl çözeltide V1, V2 ve V3 hızlarında TDS/EC değişim tablosu

Periyod	EC-V3 (μ s/cm)	TDS-V3	EC-V2 (μ s/cm)	TDS-V2	EC-V1 (μ s/cm)	TDS-V1
1.	68.8	33.4	29.2	14.8	55.4	29.8
2.	58.2	29.6	29.6	14.8	57.9	29.7
3.	54.8	27.4	26.4	13.6	63.7	31.3
4.	46.8	23.4	25.2	13.2	67.9	34.1
5.	39.6	20.1	24	12.2	68.1	34.4
6.	35.6	17.8	20.8	10.6	69.3	35.1



Şekil 3. 1 0.01 M NaCl çözeltisinde V1,V2 ve V3 pompa hızlarında TDS değişimi



Şekil 3. 2 0.01 M NaCl çözeltisinde V1, V2 ve V3 pompa hızlarında EC değişimi

Çizelge 3.14'te 0.01 M NaCl çözelti deney sonuçları Şekil 3.1 ve Şekil 3.2' de bu üç hız için TDS, EC değişimleri grafik haline getirilmiştir.

Çizelge 3. 15 0.01 M NaCl çözeltide V1 bölgesel ölçüm değerleri değişim tablosu

Ölçüm Yeri	EC (µs/cm)	TDS (ppm)	pH	Sıcaklık (°C)
Giriş	49.0	20.2	3.5	18.1
Çıkış	63.8	32.4	3.3	18.1
Deney düzeneğinin içi	78.1	42.2	3.1	19.2

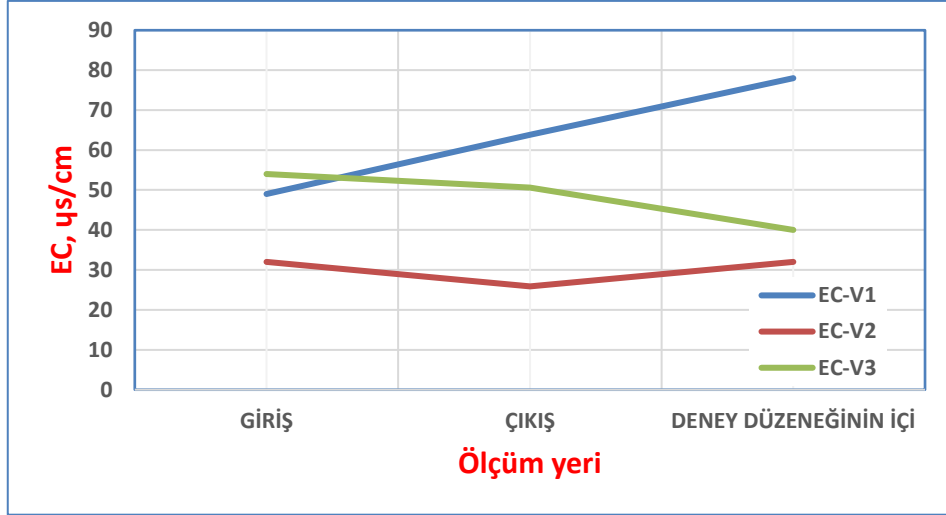
Çizelge 3. 16 0.01 M NaCl çözeltide V2 bölgesel ölçüm değerleri değişim tablosu

Ölçüm Yeri	EC (µs/cm)	TDS (ppm)	pH	Sıcaklık (°C)
Giriş	32.1	16.2	3.2	19.5
Çıkış	25.9	13.2	2.9	18.4
Deney düzeneğinin içi	32.2	16.2	2.9	20.1

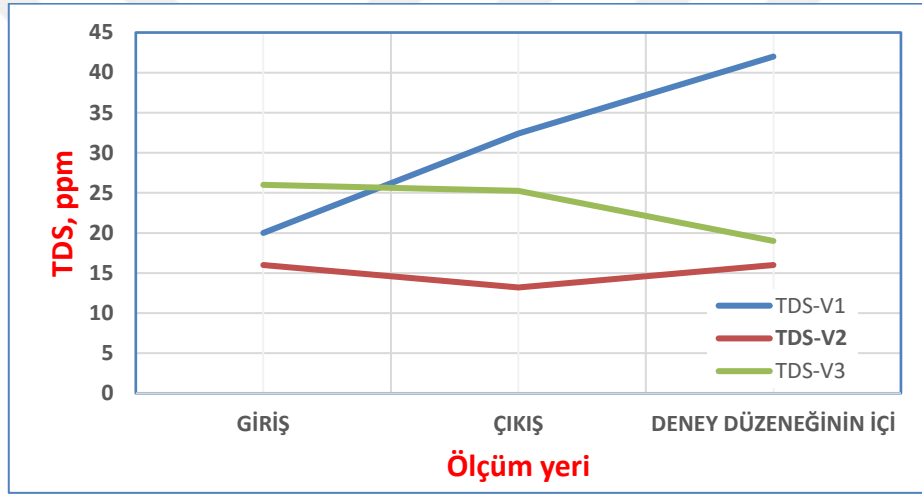
Çizelge 3. 17 0.01 M NaCl çözeltide V3 bölgesel ölçüm değerleri değişim tablosu

Ölçüm Yeri	EC (µs/cm)	TDS (ppm)	pH	Sıcaklık (°C)
Giriş	54.0	26.2	2.6	15.1
Çıkış	50.6	25.3	2.9	18.4
Deney düzeneğinin içi	40.1	19.3	2.6	16.2

Deneyler yapılırken deney öncesi ölçümler giriş değerleri olarak, deney sonrasında elde edilen periyotlara ait ölçümlerin ortalamaları çıkış değerleri olarak tanımlanmış olup deney sonunda deney setinin içi boşaltılarak buradaki değerlerde okunup kaydedilmiştir. Çizelge 3.15'te V1 hızındaki ölçülen değerler, Çizelge 3.16'da V2 hızındaki ölçülen değerler, Çizelge 3.17'deyse V3 hızındaki ölçülen değerler kaydedilmiş ve tablo haline dönüştürülmüştür.



Şekil 3. 3 0.01 M NaCl çözelti bölgesel ölçüm EC değişim grafiği



Şekil 3. 4 0.01 M NaCl çözelti bölgesel ölçüm TDS değişim grafiği

Çizelge 3.15, Çizelge 3.16 ve Çizelge 3.17'deki ölçüm sonuçları kullanılarak Şekil 3.3 EC ve Şekil 3.4'de TDS değişimleri üç farklı bölgede grafik haline gösterilmiştir.

5.2.2 0.1 M NaCl İçeren Saf Su Deneyleri

0.1 M NaCl içeren rezervuar suyu deney öncesi değerleri Çizelge 3.18'deki gibidir

Çizelge 3. 18 0.1 M NaCl çözeltisi V1 hızı için deney öncesi yapılan ölçüm değerleri

EC (µs/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	pH	Sıcaklık (°C)
126	59	0.37	30	3.7	16.5

Çizelge 3. 19 0.1 M NaCl tuz çözeltisi ve V1 pompa hızında deney ölçüm değerleri

pH	Sıcaklık (°C)	Periyod Sayısı	EC (µs/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	$\bar{X}$ EC	$\bar{X}$ TDS	$\bar{X}$ Akım	$\bar{X}$ Volt
3.4	16.5	1.	101	66	0.47	30	128.2	70.2	0.50	30
		2.	108	63	0.58					
		3.	121	72	0.48					
		4.	157	77	0.48					
		5.	154	73	0.49					
		6.	160	76	0.50					
		7.	160	75	0.50					
3.5	16.4	8.	166	77	0.50	30	163.4	76.8	0.50	30
		9.	163	77	0.50					
		10.	168	79	0.51					
		11.	166	79	0.51					
		12.	169	76	0.51					
		13.	162	79	0.52		167.2	76.8	0.51	30
		14.	167	77	0.51					
3.3	16.3	15.	172	73	0.51					
		16.	173	78	0.51					
		17.	173	82	0.50					
		18.	169	76	0.50	30	171.2	79.6	0.50	30
		19.	172	80	0.49					
		20.	169	82	0.48					
		21.	170	80	0.48					
3.6	16.5	22.	172	81	0.48					
		23.	168	78	0.49	30	168.6	79.4	0.48	30
		24.	167	80	0.49					
		25.	166	78	0.48					
		26.	166	85	0.50					
		27.	174	82	0.50					
		28.	157	80	0.49	30	165.6	81.8	0.50	30
3.5	16.3	29.	165	78	0.50					
		30.	166	84	0.49					

Çizelge 3. 20 0.1 M NaCl ve V1 Pompa hızında standart sapmalar ve yüzde değişim değerleri

Σ EC	Σ TDS	Σ Akım Şiddeti (A)	Σ Gerilim (V)	% EC	% TDS	% Akım Şiddeti (A)	% Gerilim (V)
23.2	5.0	0.0	0.0	1.7	18.9	35.1	0.0
3.2	1.3	0.0	0.0	29.6	30.1	35.6	0.0
3.3	2.2	0.0	0.0	32.7	30.1	38.3	0.0
1.8	2.3	0.0	0.0	35.8	34.9	34.0	0.0
2.1	1.2	0.0	0.0	33.8	34.5	30.8	0.0
5.3	2.5	0.0	0.0	31.4	38.6	34.0	0.0

0.1 M NaCl çözeltisinde V1 hızında Çizelge 3.18’de deney öncesi rezervuar olarak kullanılan suyun başlangıçtaki değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.19’da 30 dk boyunca yapılan ölçümler sonucunda elde edilen veriler ve bu verilere ait 5’er dakikalık elde edilen ortalamalar verilmiştir.

Çizelge 3.20’deysa deney sonuçlarından elde edilen standart sapmalar ve yüzde değişim değerleri verilmiştir.

Daha sonra 0.1 M NaCl içeren çözeltiyle V2 pompa hızında diğer deneye geçilmiştir. Deney öncesi mezür, beher, deney düzeneği içi suyla yıkanarak temizlenmiş, pompanın sirkülasyonu sağlayan boruları temiz suyla 5 dk boyunca çalıştırılarak tuzdan arındırılmıştır. Tüm bütün bu deney düzeneklerinin tamamen kuruması beklenerek sonraki deneye geçilmiştir.

Çizelge 3. 21 0.1 M NaCl çözeltisi V2 hızı için deney öncesi yapılan ölçüm değerleri

EC ($\mu\text{S/cm}$)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	pH	Sıcaklık (°C)
166	76	0.44	30	3.4	16.5

Çizelge 3. 22 0.1 M NaCl tuz çözeltisi ve V2 pompa hızında deney ölçüm değerleri

pH	Sıcaklık (°C)	Periyod Sayısı	EC (µs/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	$\bar{X}$ EC	$\bar{X}$ TDS	$\bar{X}$ Akım	$\bar{X}$ Volt
3.3	16.7	1.	173	82	0.44	30	167.0	79.8	0.45	30
		2.	162	75	0.45					
		3.	169	81	0.46					
		4.	159	79	0.46					
		5.	172	82	0.46					
		6.	173	81	0.46					
3.2	16.9	7.	179	77	0.45	30	176.6	80.8	0.46	30
		8.	172	82	0.46					
		9.	180	83	0.45					
		10.	179	81	0.47					
		11.	176	80	0.48					
		12.	180	85	0.49					
3.1	16.5	13.	183	86	0.48	30	178.8	83.6	0.48	30
		14.	179	83	0.47					
		15.	176	84	0.46					
		16.	185	85	0.46					
		17.	182	86	0.47					
		18.	182	87	0.47	30	183.0	85.0	0.48	30
2.9	16.5	19.	186	82	0.49					
		20.	180	85	0.50					
		21.	186	89	0.49					
		22.	173	89	0.50					
		23.	190	88	0.49	30	182.0	87.0	0.48	30
		24.	183	83	0.48					
2.8	16.5	25.	178	86	0.46					
		26.	180	86	0.43					
		27.	185	90	0.43					
		28.	182	90	0.42	30	185.0	88.6	0.43	30
2.7	16.3	29.	192	89	0.43					
		30.	186	88	0.43					

Çizelge 3. 23 0.1 M NaCl ve V2 Pompa hızında standart sapmalar ve yüzde değişim değerleri

Σ EC	Σ TDS	Σ Akım Şiddeti (A)	Σ Gerilim (V)	% EC	% TDS	% Akım Şiddeti (A)	% Gerilim (V)
5.5	2.6	0.0	0.0	0.6	5.0	3.1	0.0
3.3	2.0	0.0	0.0	6.3	6.3	4.0	0.0
2.6	2.0	0.0	0.0	7.7	10.0	8.1	0.0
2.1	1.6	0.0	0.0	10.2	11.8	8.6	0.0
5.9	2.2	0.0	0.0	9.6	14.4	10.0	0.0
4.1	1.5	0.0	0.0	11.4	16.5	-2.7	0.0

0.1 M NaCl çözeltisinde Çizelge 3.21’de deney öncesi rezervuar olarak kullanılan suyun başlangıçtaki değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.22’de 30 dk boyunca yapılan ölçümler sonucunda elde edilen veriler ve bu verilere ait 5’er dakikalık elde edilen ortalamalar verilmiştir.

Çizelge 3.23’deyse deney sonuçlarından elde edilen standart sapmalar ve yüzde değişim değerleri verilmiştir.

Daha sonra 0.1 M NaCl içeren çözeltiyle V3 pompa hızında diğer deneye geçilmiştir. Deney öncesi mezür, beher, deney düzeneği içi suyla yıkanarak temizlenmiş, pompanın sirkülasyonu sağlayan boruları temiz suyla 5 dk boyunca çalıştırılarak tuzdan arındırılmıştır. Tüm bütün bu deney düzeneklerinin tamamen kuruması beklenerek sonraki deneye geçilmiştir.

Çizelge 3. 24 0.1 M NaCl çözeltisi V3 hızı için deney öncesi yapılan ölçüm değerleri

EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	pH	Sıcaklık (°C)
130	69	0.34	30	3.5	16.5

Çizelge 3. 25 0.1 M NaCl tuz çözeltisi ve V3 pompa hızında deney ölçüm değerleri

pH	Sıcaklık (°C)	Periyod Sayısı	EC (µs/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	$\bar{X}$ EC	$\bar{X}$ TDS	$\bar{X}$ Akım	$\bar{X}$ Volt
3.3	16.5	1.	146	66	0.38	30	152.0	70.2	0.38	30
		2.	147	74	0.38					
		3.	160	75	0.37					
		4.	154	67	0.37					
		5.	153	69	0.38					
		6.	154	73	0.37					
		7.	163	76	0.37					
3.2	16.4	8.	154	76	0.37	30	153.6	75.4	0.37	30
		9.	143	74	0.37					
		10.	154	78	0.38					
		11.	166	79	0.38					
		12.	166	78	0.38					
3.4	16.5	13.	166	79	0.39	30	165.6	77.2	0.38	30
		14.	160	72	0.39					
		15.	170	78	0.38					
		16.	160	79	0.38					
		17.	155	77	0.39					
3.2	16.5	18.	167	79	0.39	30	158.0	78.8	0.39	30
		19.	150	79	0.39					
		20.	160	80	0.38					
		21.	166	79	0.39					
		22.	163	76	0.38					
3.1	16.8	23.	170	76	0.38	30	166.4	76.0	0.38	30
		24.	167	73	0.39					
		25.	166	76	0.38					
		26.	156	74	0.39					
		27.	152	73	0.38					
3.1	16.5	28.	166	74	0.39	30	160.4	75.0	0.37	30
		29.	172	78	0.36					
		30.	156	76	0.34					

Çizelge 3. 26 0.1 M NaCl ve V3 Pompa hızında standart sapmalar ve yüzde değişim değerleri

Σ EC	Σ TDS	Σ Akım Şiddeti (A)	Σ Gerilim (V)	% EC	% TDS	% Akım Şiddeti (A)	% Gerilim (V)
5.1	3.6	0.0	0.0	16.9	1.7	10.5	0.0
6.3	1.7	0.0	0.0	18.1	9.2	9.4	0.0
3.2	2.6	0.0	0.0	27.3	11.8	12.9	0.0
5.6	0.9	0.0	0.0	21.8	14.2	13.5	0.0
2.2	1.9	0.0	0.0	28.0	10.1	12.9	0.0
7.4	1.7	0.0	0.0	23.3	8.7	9.4	0.0

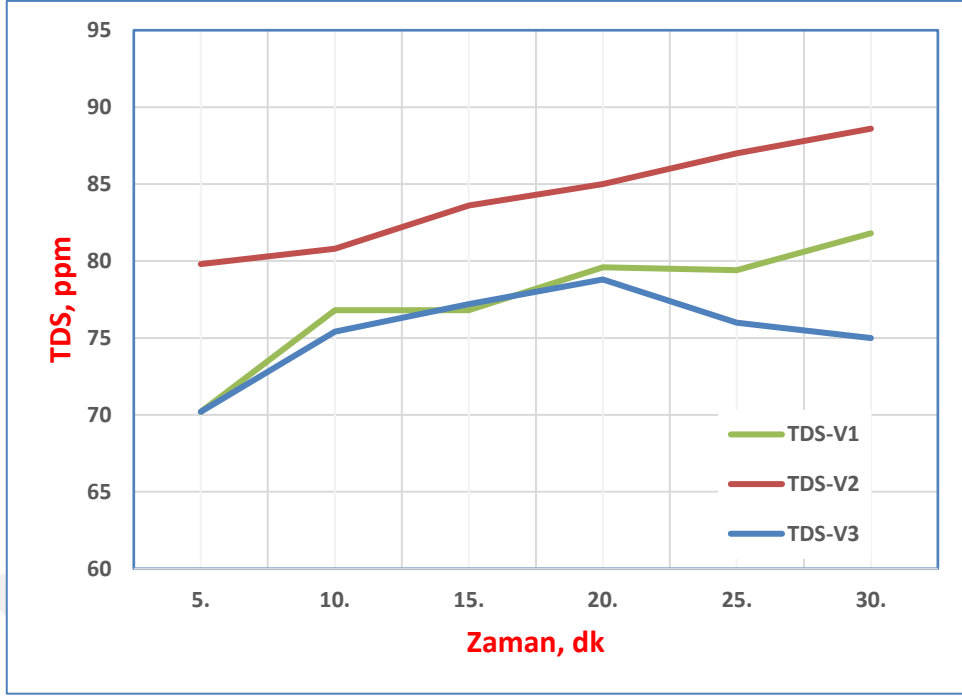
0.1 M NaCl çözeltisinde V3 hızında Çizelge 3.24’de deney öncesi rezervuar olarak kullanılan suyun başlangıçtaki değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.25’de 30 dk boyunca yapılan ölçümler sonucunda elde edilen veriler ve bu verilere ait 5’er dakikalık elde edilen ortalamalar verilmiştir.

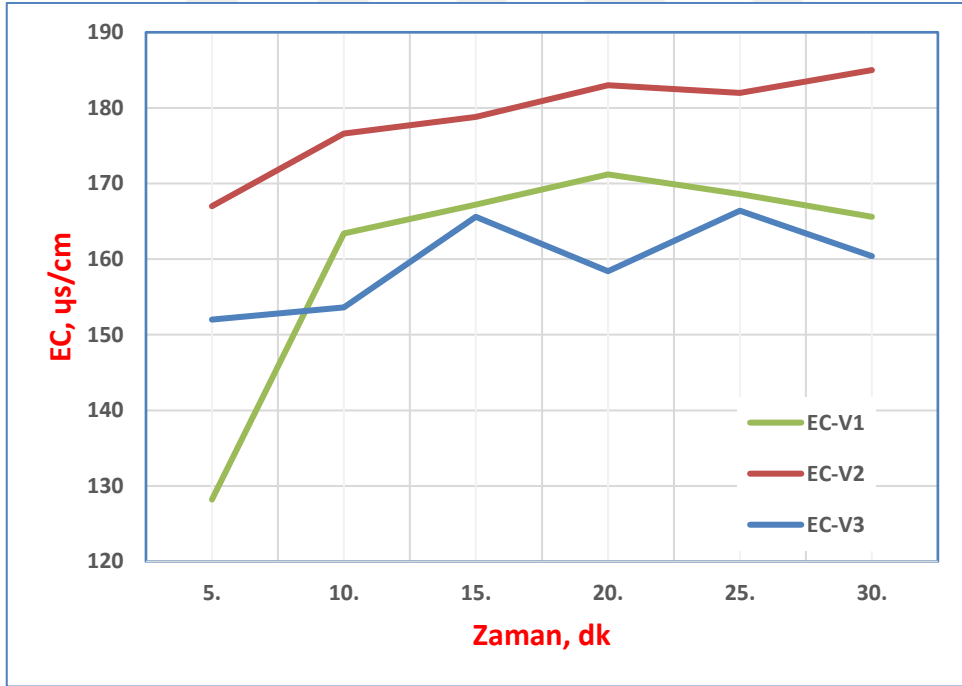
Çizelge 3.26’daysa deney sonuçlarından elde edilen standart sapmalar ve yüzde değişim değerleri verilmiştir.

Çizelge 3. 27 0.1 M NaCl çözeltide V1, V2 ve V3 hızlarında TDS/EC değişim tablosu

Periyod	EC-V3 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS-V3	EC-V2 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS-V2	EC-V1 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS-V1
1.	152.1	70.2	167.1	79.8	128.2	70.2
2.	153.6	75.4	176.6	80.8	163.4	76.8
3.	165.6	77.2	178.8	83.6	167.2	76.8
4.	158.4	78.8	183.2	85.1	171.2	79.6
5.	166.4	76.1	182.3	87.2	168.6	79.4
6.	160.4	75.2	185.1	88.6	165.6	81.8



Şekil 3. 5 0.1 M NaCl çözeltisinde V1, V2 ve V3 pompa hızlarında TDS değişimi



Şekil 3. 6 0.1 M NaCl çözeltisinde V1, V2 ve V3 pompa hızlarında EC değişimi

Çizelge 3.27’de 0.1 M NaCl çözeltiyse yapılan deneyler sonucunda elde edilen TDS ve EC değişimleri özet bir tabloda toplanmıştır. Şekil 3.5 ve Şekil 3.6’ da bu üç hız için TDS, EC değişimleri grafik haline getirilmiştir.

Çizelge 3. 28 0.1 M NaCl çözeltide V1 bölgesel ölçüm değerleri değişim tablosu

Ölçüm Yeri	EC (µs/cm)	TDS (ppm)	pH	Sıcaklık (°C)
Giriş	126.2	59.1	3.7	16.5
Çıkış	160.7	77.4	3.5	16.3
Deney düzeneğinin içi	227.1	109.2	6.3	17.2

Çizelge 3. 29 0.1 M NaCl çözeltide V2 bölgesel ölçüm değerleri değişim tablosu

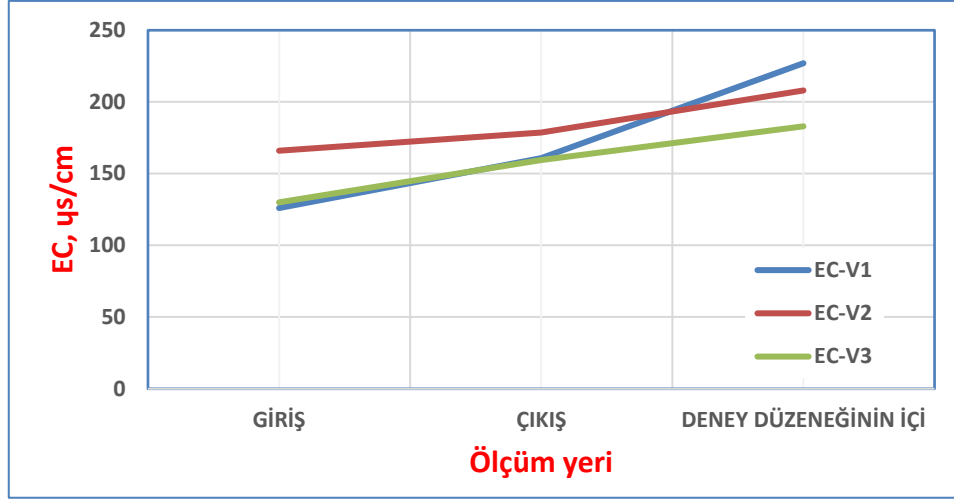
Ölçüm Yeri	EC (µs/cm)	TDS (ppm)	pH	Sıcaklık (°C)
Giriş	166.3	76.1	3.4	16.5
Çıkış	178.7	84.1	5.7	16.6
Deney düzeneğinin içi	208.2	96.2	3.2	16.5

Çizelge 3. 30 0.1 M NaCl çözeltide V3 bölgesel ölçüm değerleri değişim tablosu

Ölçüm Yeri	EC (µs/cm)	TDS (ppm)	pH	Sıcaklık (°C)
Giriş	130.1	69.3	3.5	16.5
Çıkış	159.4	75.4	3.2	16.5
Deney düzeneğinin içi	183.2	82.3	3.1	17.1

Deneyler yapılırken deney öncesi ölçümler giriş değerleri olarak, deney sonrasında elde edilen periyotlara ait ölçümlerin ortalamaları çıkış değerleri olarak tanımlanmış olup deney sonunda deney setinin içi boşaltılarak buradaki değerlerde okunup kaydedilmiştir.

Çizelge 3.28'te 0.1 M NaCl içeren saf suyun V1 hızındaki ölçülen değerler, Çizelge 3.29'da V2 hızındaki ölçülen değerler, Çizelge 3.30'deyse V3 hızındaki ölçülen değerler kaydedilmiş ve tablo haline dönüştürülmüştür.



Şekil 3. 7 0.1 M NaCl çözelti bölgesel ölçüm EC değişim grafiği



Şekil 3. 8 0.1 M NaCl çözelti bölgesel ölçüm TDS değişim grafiği

Çizelge 3.28, Çizelge 3.29 ve Çizelge 5.30'daki ölçüm sonuçları kullanılarak Şekil 3.8 EC ve Şekil 3.9'da TDS değişimleri üç farklı bölgede grafik haline gösterilmiştir.

5.2.3 1 M NaCl İçeren Saf Su Deneyleri

1 M NaCl içeren rezervuar suyu deney öncesi değerleri Çizelge 3.31'deki gibidir.

Çizelge 3. 31 1 M NaCl çözeltisi V1 hızı için deney öncesi yapılan ölçüm değerleri

EC (µs/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	pH	Sıcaklık (°C)
7600	3800	2.1	6.3	6.5	20

Çizelge 3. 32 l M NaCl tuz çözeltisi ve V1 pompa hızında deney ölçüm değerleri

pH	Sıcaklık (°C)	Periyod Sayısı	EC (µs/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	$\bar{X}$ EC	$\bar{X}$ TDS	$\bar{X}$ Akım	$\bar{X}$ Volt
6.2	20	1.	7580	3650	2.1	6.6	7496.0	3742.0	2.10	6.64
		2.	6850	3850	2.1	6.8				
		3.	7860	3830	2.1	6.5				
		4.	7720	3650	2.1	6.7				
		5.	7470	3730	2.1	6.6				
		6.	7734	3820	2.1	6.5				
6.2	19.5	7.	7238	3336	2.1	6.3	7234.0	3564.1	2.10	6.36
		8.	6950	3476	2.1	6.4				
		9.	7330	3747	2.1	6.3				
		10.	6918	3440	2.1	6.3				
		11.	6876	3515	2.1	6.3				
		12.	6722	3360	2.1	6.4				
6.1	19.6	13.	6848	3436	2.1	6.4	6837.0	3418.2	2.10	6.38
		14.	6910	3370	2.1	6.4				
		15.	6830	3410	2.1	6.4				
		16.	6650	3270	2.1	6.4				
		17.	6756	3383	2.1	6.1				
		18.	7020	3650	2.1	6.2	6792.0	3409.3	2.10	6.22
6.1	19.6	19.	6770	3342	2.1	6.3				
		20.	6766	3400	2.1	6.2				
		21.	6748	3355	2.1	6.2				
		22.	6520	3264	2.1	6.2				
		23.	6730	3380	2.1	6.3	6688.2	3390.0	2.10	6.22
6.1	19.5	24.	6700	3350	2.1	6.1				
		25.	6740	3600	2.1	6.3				
		26.	6540	3380	2.1	6.5				
		27.	6710	3400	2.1	6.6				
		28.	6800	3380	2.1	6.5	6698.2	3374.2	2.10	6.44
5.9	19.1	29.	6740	3410	2.1	6.2				
		30.	6700	3300	2.1	6.4				

Çizelge 3. 33 1 M NaCl ve V1 Pompa hızında standart sapmalar ve yüzde değişim değerleri

Σ EC	Σ TDS	Σ Akım Şiddeti (A)	Σ Gerilim (V)	% EC	% TDS	% Akım Şiddeti (A)	% Gerilim (V)
348.6	85.4	0.0	0.1	-1.4	-1.5	0.0	5.4
296.6	186.6	0.0	0.1	-4.8	-6.2	0.0	1.0
63.6	55.6	0.0	0.0	-10.0	-10.0	0.0	1.3
122.2	128.6	0.0	0.1	-10.6	-10.3	0.0	-1.3
85.4	112.2	0.0	0.1	-12.0	-10.8	0.0	-1.3
86.3	38.8	0.0	0.1	-11.9	-11.2	0.0	2.2

1 M NaCl çözeltisinde Çizelge 3.31’de deney öncesi rezervuar olarak kullanılan suyun başlangıçtaki değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.32’de 30 dk boyunca yapılan ölçümler sonucunda elde edilen veriler ve bu verilere ait 5’er dakikalık elde edilen ortalamalar verilmiştir.

Çizelge 3.33’deyse deney sonuçlarından elde edilen standart sapmalar ve yüzde değişim değerleri verilmiştir.

Daha sonra 1 M NaCl içeren çözeltiyle V2 pompa hızında diğer deneye geçilmiştir. Deney öncesi mezür, beher, deney düzeneği içi suyla yıkanarak temizlenmiş, pompanın sirkülasyonu sağlayan boruları temiz suyla 5 dk boyunca çalıştırılarak tuzdan arındırılmıştır. Tüm bütün bu deney düzeneklerinin tamamen kuruması beklenerek sonraki deneye geçilmiştir.

Çizelge 3. 34 1 M NaCl çözeltisi V2 hızı için deney öncesi yapılan ölçüm değerleri

EC (μ S/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	pH	Sıcaklık (°C)
7380	3685	2.1	6.4	6	16

Çizelge 3. 35 l M NaCl tuz çözeltisi ve V2 pompa hızında deney ölçüm değerleri

pH	Sıcaklık (°C)	Periyod Sayısı	EC (µs/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	$\bar{X}$ EC	$\bar{X}$ TDS	$\bar{X}$ Akım	$\bar{X}$ Volt
5.7	15.8	1.	6750	3360	2.1	6.5	6447.2	3207.8	2.1	6.8
		2.	6594	3314	2.1	6.7				
		3.	6374	3150	2.1	6.8				
		4.	6338	3085	2.1	7.0				
		5.	6180	3130	2.1	7.0				
5.8	16.1	6.	6320	3118	2.1	7.1	5797.2	2883.6	2.1	7.1
		7.	6120	3100	2.1	7.0				
		8.	5440	2716	2.1	7.0				
		9.	5326	2714	2.1	7.1				
		10.	5780	2770	2.1	7.3				
5.7	16.0	11.	5366	2720	2.1	7.2	5119.2	2594.0	2.1	6.7
		12.	5600	2656	2.1	6.8				
		13.	5000	2600	2.1	6.6				
		14.	5050	2640	2.1	6.4				
		15.	4580	2354	2.1	6.6				
5.7	16.2	16.	4470	2285	2.1	6.9	4880.0	2449.0	2.1	6.7
		17.	4610	2220	2.1	6.7				
		18.	5220	2700	2.1	6.7				
		19.	4950	2430	2.1	6.8				
		20.	5150	2610	2.1	6.6				
5.8	16.6	21.	5450	2670	2.1	6.4	5954.0	2970.0	2.1	6.5
		22.	5760	2900	2.1	6.3				
		23.	6180	3100	2.1	6.6				
		24.	6080	3080	2.1	6.5				
		25.	6300	3100	2.1	6.6				
5.9	16.3	26.	6240	3170	2.1	6.8	6156.0	3112.0	2.1	6.8
		27.	6180	3080	2.1	6.7				
		28.	6240	3150	2.1	6.8				
		29.	6070	3060	2.1	6.7				
		30.	6050	3100	2.1	6.8				

Çizelge 3. 36 1 M NaCl ve V2 Pompa hızında standart sapmalar ve yüzde değişim değerleri

Σ EC	Σ TDS	Σ Akım Şiddeti (A)	Σ Gerilim (V)	% EC	% TDS	% Akım Şiddeti (A)	% Gerilim (V)
201.0	108.6	0.0	0.2	-12.6	-12.9	0.0	6.2
381.4	185.2	0.0	0.1	-21.4	-21.7	0.0	10.9
346.9	126.1	0.0	0.3	-30.6	-29.6	0.0	5.0
294.8	183.6	0.0	0.1	-33.9	-33.5	0.0	5.3
309.3	167.8	0.0	0.1	-19.3	-19.4	0.0	1.2
81.6	41.7	0.0	0.0	-16.6	-15.5	0.0	5.6

1 M NaCl çözeltisinde Çizelge 3.34’de deney öncesi rezervuar olarak kullanılan suyun başlangıçtaki değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.35’de 30 dk boyunca yapılan ölçümler sonucunda elde edilen veriler ve bu verilere ait 5’er dakikalık elde edilen ortalamalar verilmiştir.

Çizelge 3.36’da deney sonuçlarından elde edilen standart sapmalar ve yüzde değişim değerleri verilmiştir.

Daha sonra 1 M NaCl içeren çözeltiyle V3 pompa hızında diğer deneye geçilmiştir. Deney öncesi mezür, beher, deney düzeneği içi suyla yıkanarak temizlenmiş, pompanın sirkülasyonu sağlayan boruları temiz suyla 5 dk boyunca çalıştırılarak tuzdan arındırılmıştır. Tüm bütün bu deney düzeneklerinin tamamen kuruması beklenerek sonraki deneye geçilmiştir.

Çizelge 3. 37 1 M NaCl çözeltisi V3 hızı için deney öncesi yapılan ölçüm değerleri

EC (μ S/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	pH	Sıcaklık (°C)
6900	3431	2.1	6.4	6	16.3

Çizelge 3. 38 1 M NaCl tuz çözeltisi ve V3 pompa hızında deney ölçüm değerleri

pH	Sıcaklık (°C)	Periyod Sayısı	EC (µs/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	$\bar{X}$ EC	$\bar{X}$ TDS	$\bar{X}$ Akım	$\bar{X}$ Volt
5.7	15.8	1.	6900	3430	2.1	6.6	7327.0	3666.0	2.1	6.8
		2.	7230	3600	2.1	6.8				
		3.	7320	3720	2.1	6.9				
		4.	7630	3780	2.1	6.8				
		5.	7555	3800	2.1	6.8				
		6.	7940	3960	2.1	6.8				
5.8	16.1	7.	7930	3960	2.1	6.9	7842.8	3931.0	2.1	6.7
		8.	7810	3955	2.1	6.7				
		9.	7784	3880	2.1	6.7				
		10.	7750	3900	2.1	6.6				
		11.	7790	3895	2.1	6.4				
		12.	7820	3950	2.1	6.3				
5.7	16.1	13.	7880	3930	2.1	6.3	7810.0	3912.0	2.1	6.4
		14.	7880	3980	2.1	6.3				
		15.	7680	3805	2.1	6.6				
		16.	7330	3910	2.1	6.4				
		17.	7750	3860	2.1	6.3				
		18.	7660	3876	2.1	6.9				
5.7	16.2	19.	7630	3630	2.1	6.7	7576.4	3834.6	2.1	6.6
		20.	7512	3897	2.1	6.6				
		21.	7360	3630	2.1	6.8				
		22.	7140	3630	2.1	6.6				
		23.	6950	3410	2.1	6.4				
		24.	6480	3310	2.1	6.3				
5.8	16.5	25.	7100	3450	2.1	6.1	7006.0	3486.0	2.1	6.4
		26.	6430	3230	2.1	6.1				
		27.	6120	3050	2.1	6.5				
		28.	6050	3100	2.1	6.2				
		29.	5840	3080	2.1	6.1				
		30.	5200	2860	2.1	6.1				

Çizelge 3. 39 1 M NaCl ve V3 Pompa hızında standart sapmalar ve yüzde değişim değerleri

Σ EC	Σ TDS	Σ Akım Şiddeti (A)	Σ Gerilim (V)	% EC	% TDS	% Akım Şiddeti (A)	% Gerilim (V)
7327.0	3666.0	2.1	6.8	7327.0	3666.0	2.1	6.8
7842.8	3931.0	2.1	6.7	7842.8	3931.0	2.1	6.7
7810.0	3912.0	2.1	6.4	7810.0	3912.0	2.1	6.4
7576.4	3834.6	2.1	6.6	7576.4	3834.6	2.1	6.6
7006.0	3486.0	2.1	6.4	7006.0	3486.0	2.1	6.4
5928.0	3064.0	2.1	6.1	5928.0	3064.0	2.1	6.1

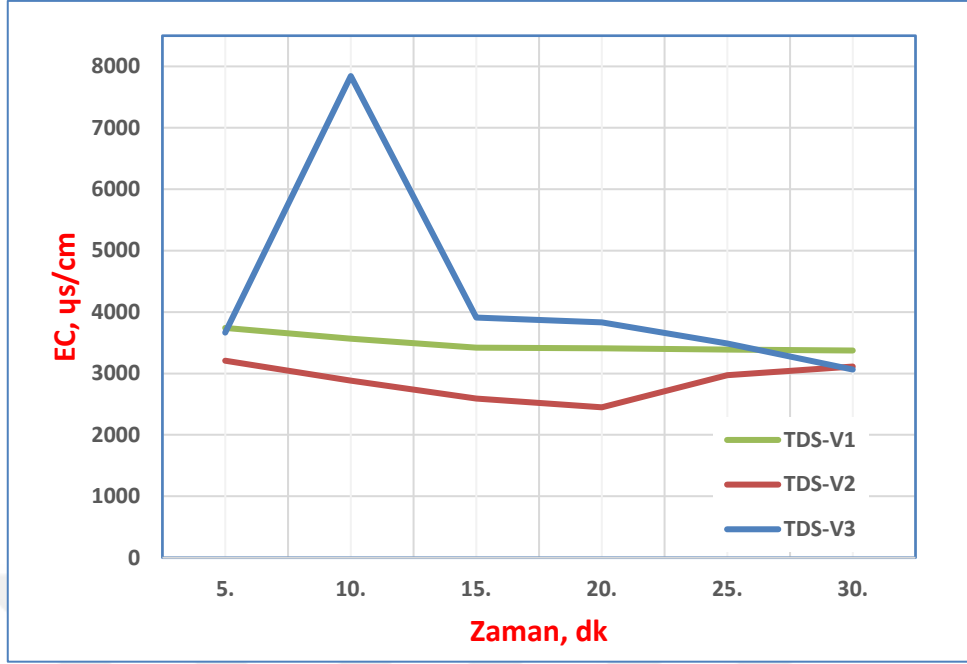
1 M NaCl çözeltisinde Çizelge 3.37’de deney öncesi rezervuar olarak kullanılan suyun başlangıçtaki değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.38’de 30 dk boyunca yapılan ölçümler sonucunda elde edilen veriler ve bu verilere ait 5’er dakikalık elde edilen ortalamalar verilmiştir.

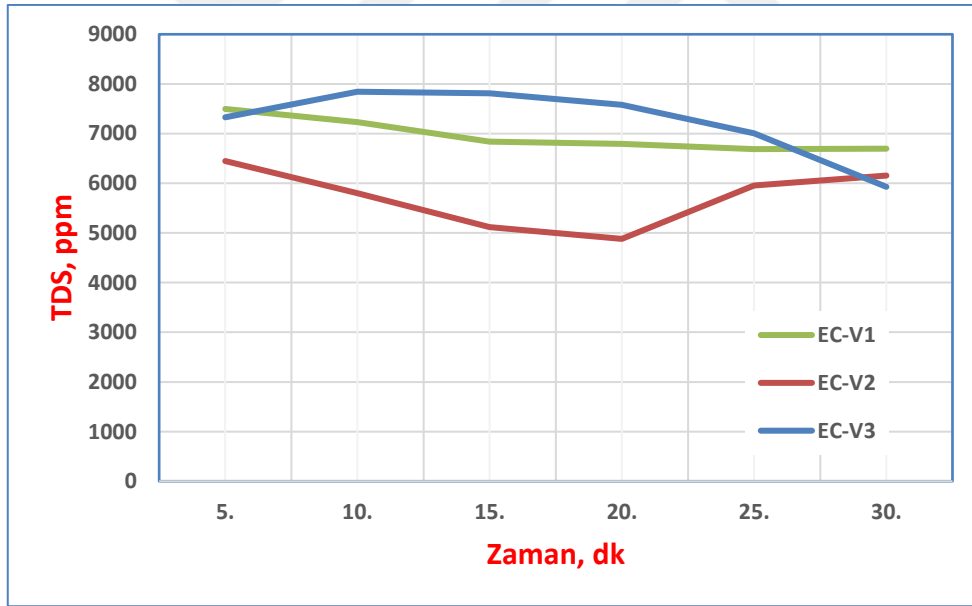
Çizelge 3.39’da deney sonuçlarından elde edilen standart sapmalar ve yüzde değişim değerleri verilmiştir. Çizelge 3.40’da da V1, V2 ve V3 hızlarında EC ve TDS değişimleri verilmiştir.

Çizelge 3. 40 1 M NaCl çözeltide V1, V2 ve V3 hızlarında TDS/EC değişim tablosu

Periyod	EC-V3 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS-V3	EC-V2 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS-V2	EC-V1 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS-V1
1.	7327.1	3666.1	6447.2	3207.8	7496.1	3742.1
2.	7842.8	7842.8	5797.2	2883.6	7234.1	3563.8
3.	7810.2	3912.1	5119.2	2594.2	6837.2	3418.2
4.	7576.4	3834.6	4880.1	2449.1	6792.4	3409.1
5.	7006.2	3486.1	5954.1	2970.0	6687.6	3389.8
6.	5928.1	3064.2	6156.2	3112.1	6698.1	3374.1



Şekil 3. 9 1 M NaCl çözeltisinde V1, V2 ve V3 pompa hızlarında TDS değişimi



Şekil 3. 10 1 M NaCl çözeltisinde V1, V2 ve V3 pompa hızlarında EC değişimi

Çizelge 3.40’da 1 M NaCl çözeltiyse yapılan deneyler sonucunda elde edilen TDS ve EC değişimleri özet bir tabloda toplanmıştır. Şekil 3.9 ve Şekil 3.10’ da bu üç hız için TDS, EC değişimleri grafik haline getirilmiştir.

3.2.4 Saf Su Deney Sonuçları Bileşik Analizleri

Üç farklı oranda NaCl çözeltisinde; V1 hızında Çizelge 3.41’de, V2 hızında Çizelge 3.42’de, V3 hızında deney setinin farklı yerlerinde ölçülen değerler Çizelge 3.43’de EC değişim tabloları verilmiştir.

Çizelge 3. 41 V1 hızında üç farklı mol NaCl çözeltide EC değişimi tablosu

Ölçüm Yeri	EC-V1-0.01 M	EC-V1-0.1 M	EC-V1-1 M
Giriş	49.2	126.1	7600.1
Çıkış	63.8	160.7	6957.5
Deney düzeneğinin içi	78.1	227.1	7900.1

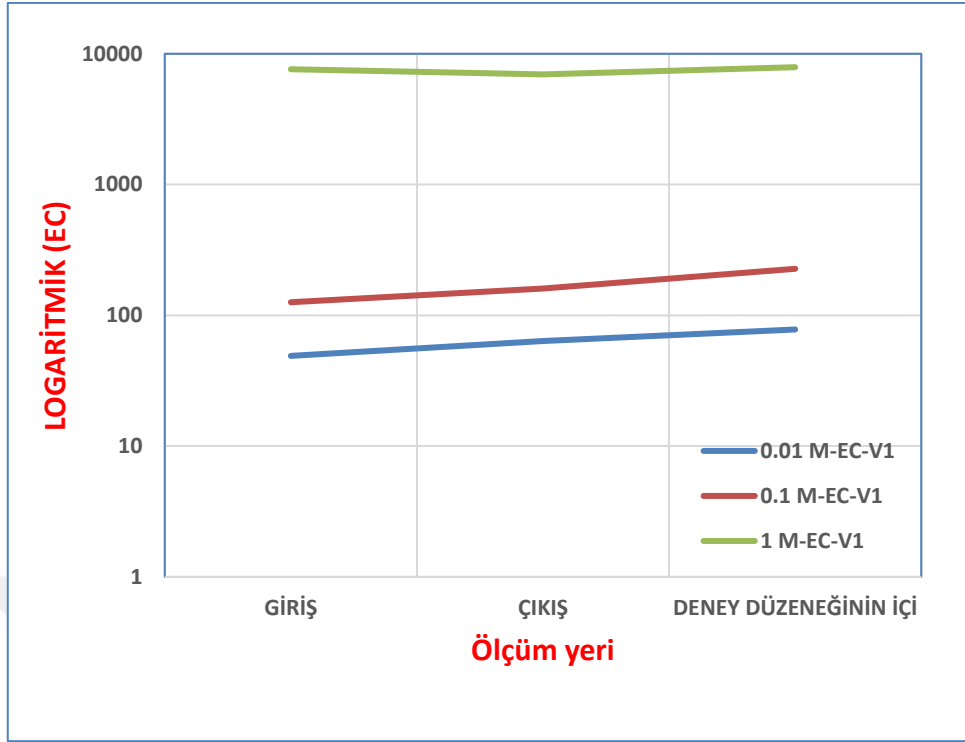
Çizelge 3. 42 V2 hızında üç farklı mol NaCl çözeltide EC değişimi tablosu

Ölçüm Yeri	EC-V2-0.01 M	EC-V2-0.1 M	EC-V2-1 M
Giriş	32.1	166.1	7380.1
Çıkış	25.9	178.7	5725.6
Deney düzeneğinin içi	32.2	208.2	5980.1

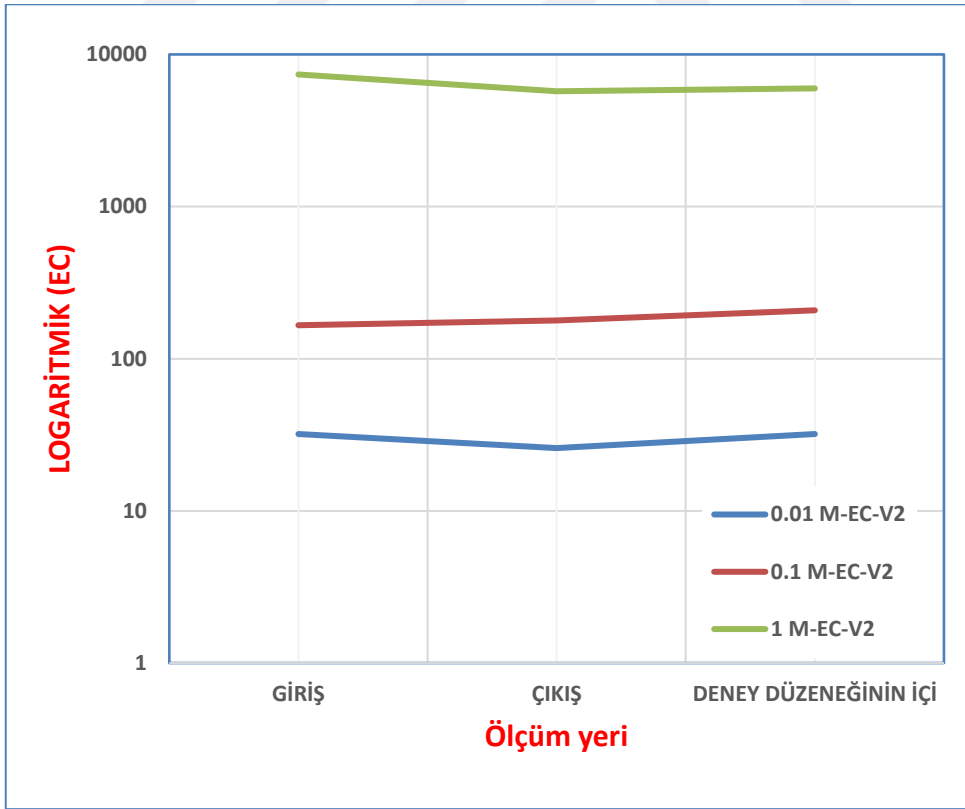
Çizelge 3. 43 V3 hızında üç farklı mol NaCl çözeltide EC değişimi tablosu

Ölçüm Yeri	EC-V3-0.01 M	EC-V3-0.1 M	EC-V3-1 M
Giriş	54.2	130.1	6900.1
Çıkış	50.6	159.4	7248.4
Deney düzeneğinin içi	60.1	183.2	7380.1

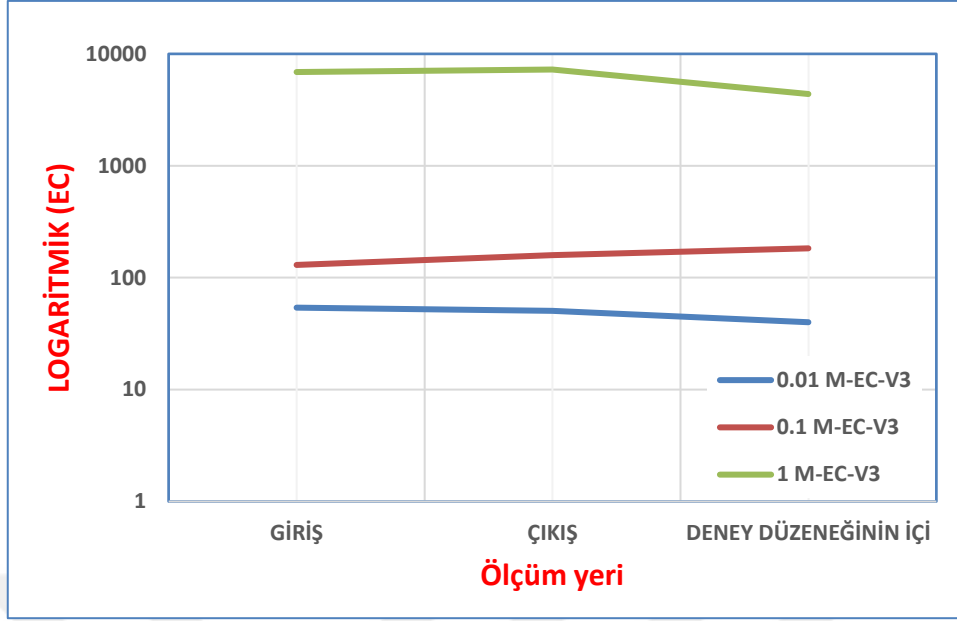
Üç farklı oranda NaCl çözeltisinde; V1 hızında Şekil 3.11’de, V2 hızında Şekil 3.12’de, V3 hızında Şekil 3.13’de logaritmik on tabanında EC değişim grafikleri verilmiştir.



Şekil 3. 11 Üç farklı NaCl içeren çözeltide V1 pompa hızında logaritmik EC değişimi



Şekil 3. 12 Üç farklı NaCl içeren çözeltide V2 pompa hızında logaritmik EC değişimi



Şekil 3. 13 Üç farklı NaCl içeren çözeltide V3 pompa hızında logaritmik EC değişimi

Üç farklı oranda NaCl içeren çözelti ve 3 farklı pompa hızında yapılan deneyler sonucunda Çizelge 3.44'te V1 hızına, Çizelge 3.45'te V2 hızına ve Çizelge 3.46'te V3 hızına bağlı TDS değişim tabloları verilmiştir.

Çizelge 3. 44 V1 hızında üç farklı mol NaCl çözeltide TDS değişimi tablosu

Ölçüm Yeri	TDS-V1-0.01 M	TDS-V1-0.1 M	TDS-V1-1 M
Giriş	20.2	59.1	3800.2
Çıkış	32.4	77.4	3482.8
Deney düzeneğinin içi	42.1	109.1	3950.1

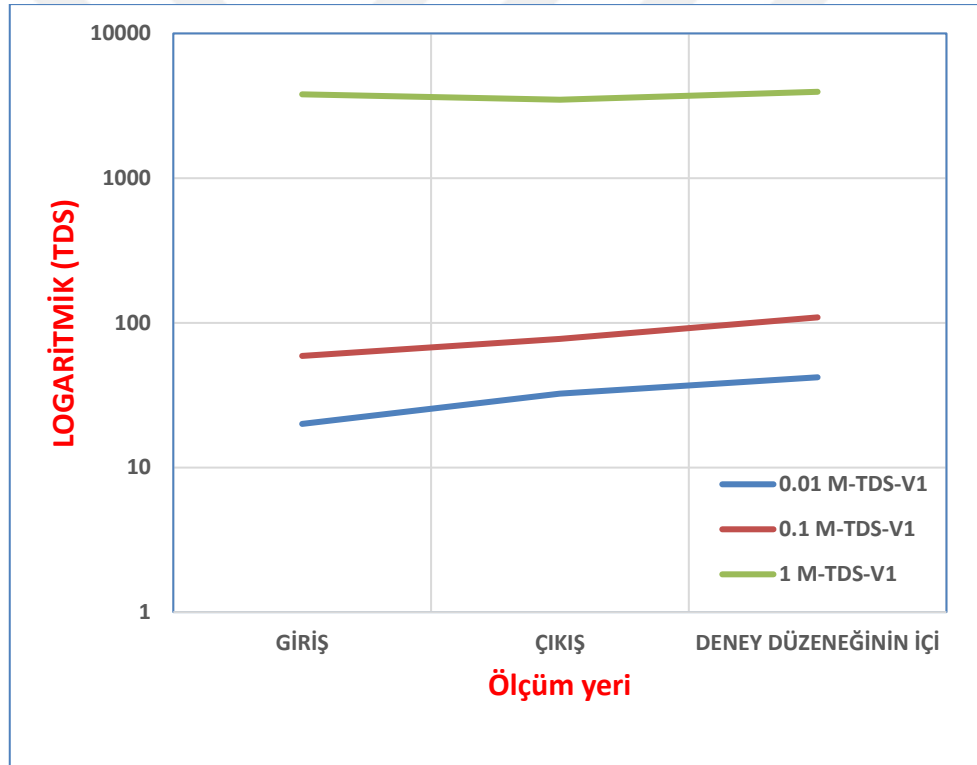
Çizelge 3. 45 V2 hızında üç farklı mol NaCl çözeltide TDS değişimi tablosu

Ölçüm Yeri	TDS-V2-0.01 M	TDS-V2-0.1 M	TDS-V2-1 M
Giriş	16.1	76.1	3685.0
Çıkış	13.2	84.1	2869.4
Deney düzeneğinin içi	16.1	96.1	2960.0

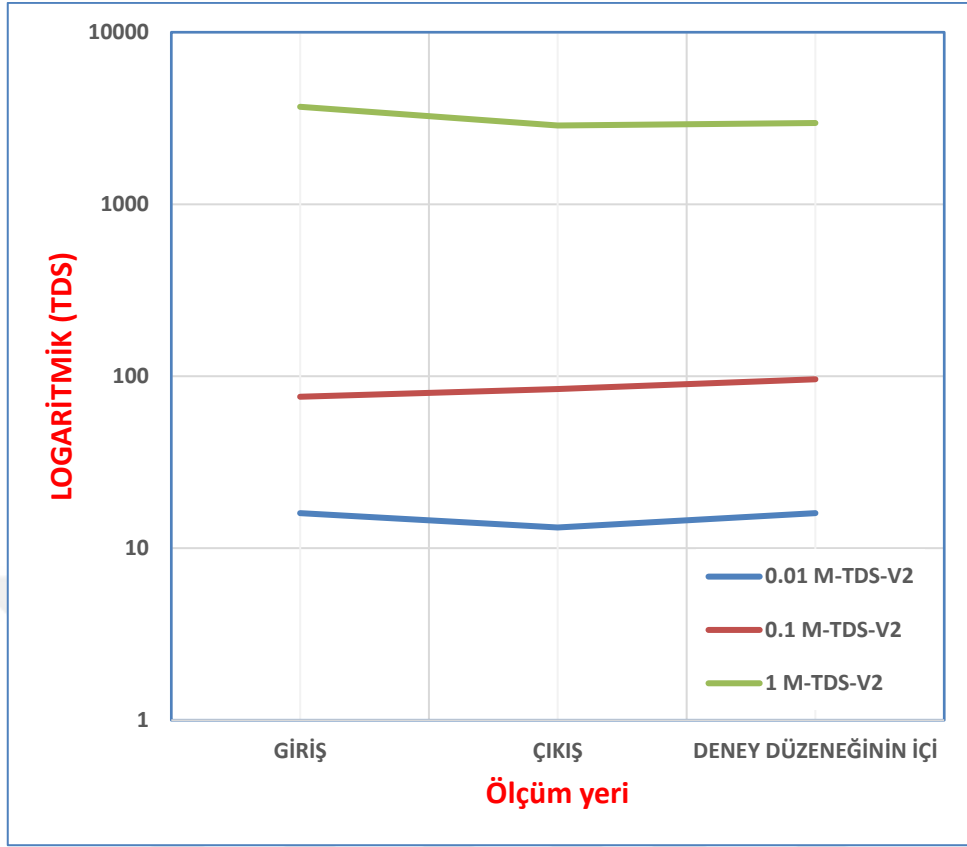
Çizelge 3. 46 V3 hızında üç farklı mol NaCl çözeltide TDS değişimi tablosu

Ölçüm Yeri	TDS-V3-0.01 M	TDS-V3-0.1 M	TDS-V3-1 M
Giriş	26.0	69.0	3431.0
Çıkış	25.3	75.4	3648.9
Deney düzeneğinin içi	29.0	82.0	3650.0

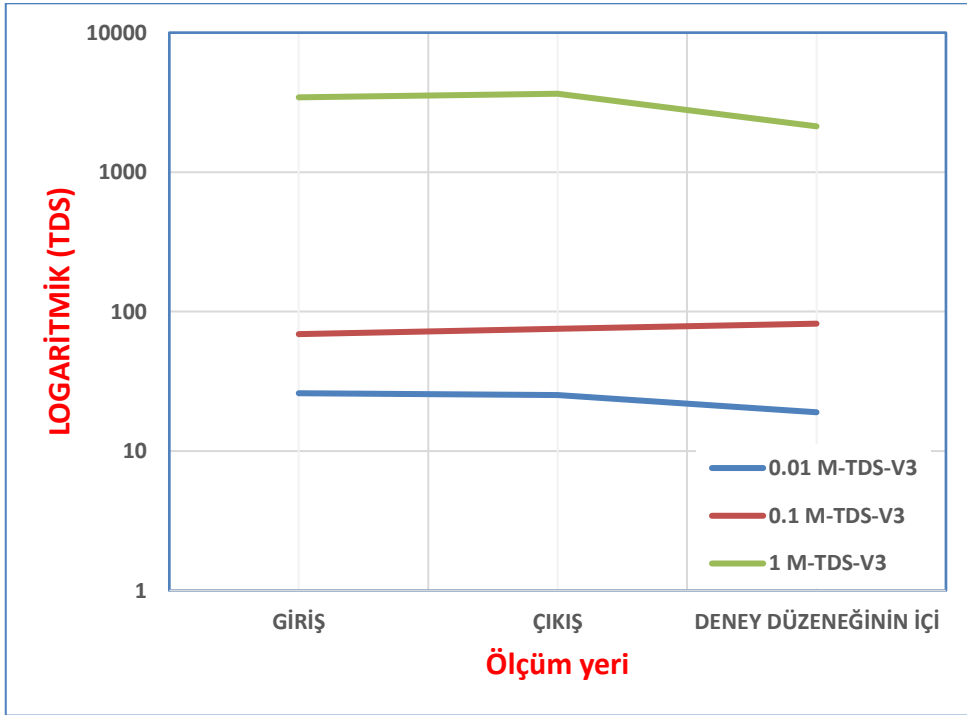
Üç farklı oranda NaCl içeren çözelti ve 3 farklı pompa hızında yapılan deneyler sonucunda Şekil 3.14'de V1 hızına, Şekil 3.15'de V2 hızına ve Şekil 3.16'da V3 hızına bağlı logaritmik TDS değişim grafikler verilmiştir



Şekil 3. 14 Üç farklı NaCl içeren çözeltide V1 pompa hızında logaritmik TDS değişimi



Şekil 3. 15 Üç farklı NaCl içeren çözeltide V2 pompa hızında logaritmik TDS değişimi



Şekil 3. 16 Üç farklı NaCl içeren çözeltide V3 pompa hızında logaritmik TDS değişimi

Üç farklı oranda NaCl içeren çözelti ve 3 farklı pompa hızında yapılan deneyler sonucunda Çizelge 3.47’de 0.01 M, Çizelge 3.48’de 0.1 M ve Çizelge 3.49’da 1 M hıza bağlı olarak EC değişimleri verilmiştir

Çizelge 3. 47 0.01 M NaCl çözeltide hıza bağlı EC değişim tablosu

Periyod	EC-V1	EC-V2	EC-V3
1.	55.5	29.2	68.8
2.	58.0	29.6	58.2
3.	63.7	26.4	54.8
4.	68.0	25.2	46.8
5.	68.2	24.0	39.6
6.	69.3	20.8	35.6
Ort.	63.8	25.9	50.6

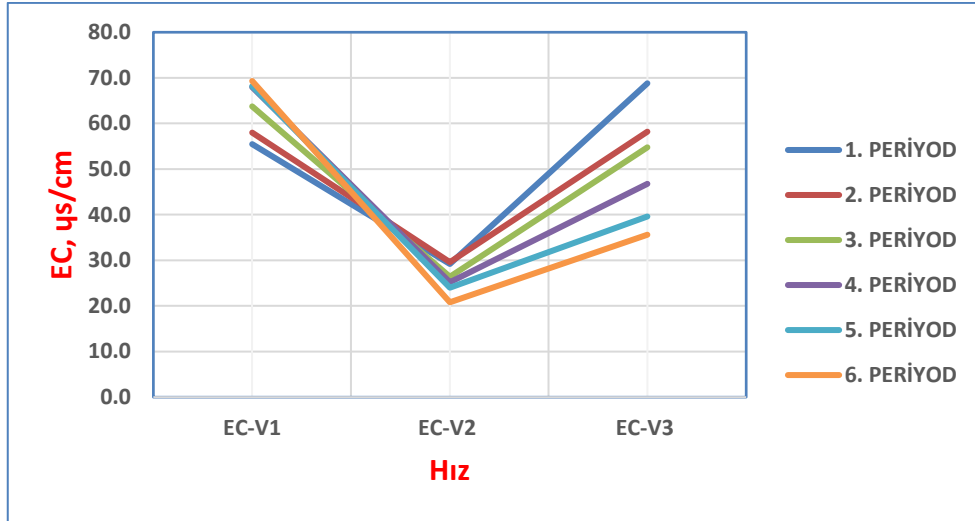
Çizelge 3. 48 0.1 M NaCl çözeltide hıza bağlı EC değişim tablosu

Periyod	EC-V1	EC-V2	EC-V3
1.	128.2	167.0	152.0
2.	163.4	176.6	153.6
3.	167.2	178.8	165.6
4.	171.2	183.0	158.4
5.	168.6	182.0	166.4
6.	165.6	185.0	160.4
Ort.	160.7	178.7	159.4

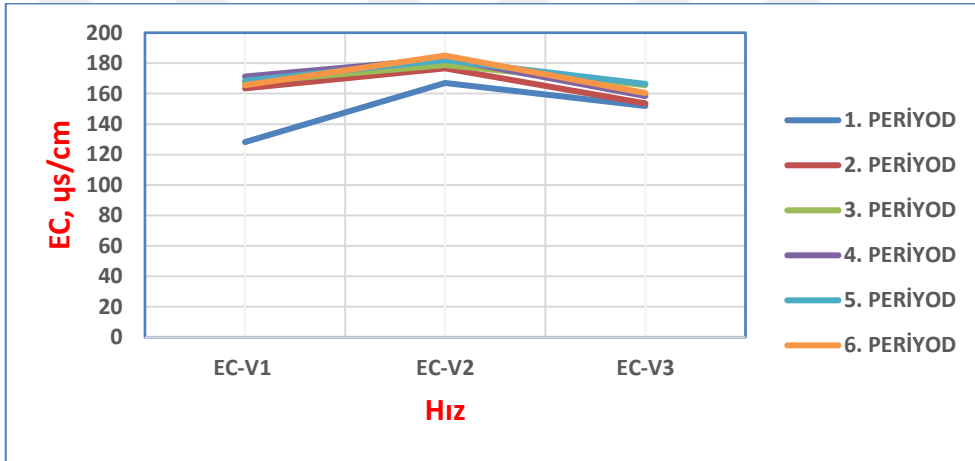
Çizelge 3. 49 1 M NaCl çözeltide hıza bağlı EC değişim tablosu

Periyod	EC-V1	EC-V2	EC-V3
1.	7496.0	6447.2	7327.0
2.	7234.0	5797.2	7842.8
3.	6837.2	5119.2	7810.0
4.	6792.4	4880.0	7576.4
5.	6687.6	5954.0	7006.0
6.	6698.0	6156.0	5928.0
Ort.	6957.5	5725.6	7248.4

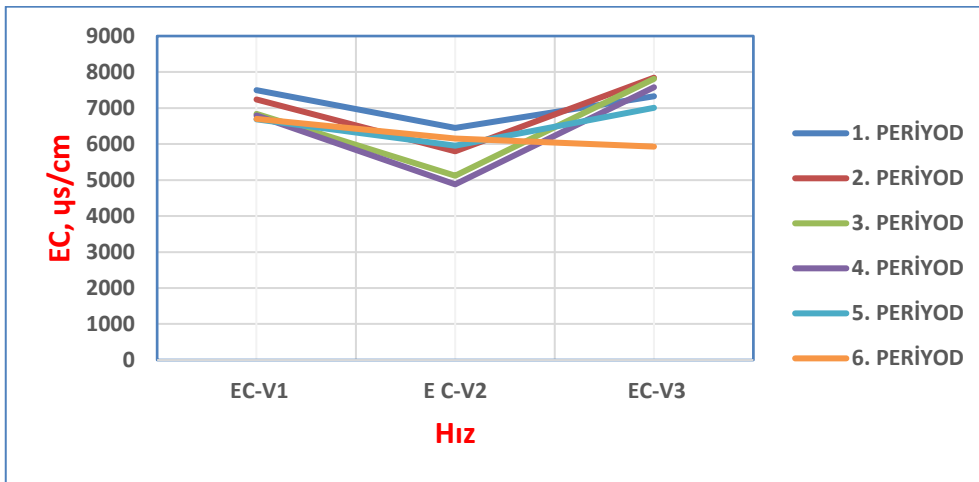
Üç farklı oranda NaCl içeren çözelti ve 3 farklı pompa hızında yapılan deneyler sonucunda Şekil 3.17’de 0.01 M, Şekil 3.18’de 0.1 M ve Şekil 3.19’da 1 M hıza bağlı olarak EC değişimleri verilmiştir.



Şekil 3. 17 0.01 M NaCl içeren çözeltide hıza bağlı EC değişimi



Şekil 3. 18 0.1 M NaCl içeren çözeltide hıza bağlı EC değişimi



Şekil 3. 19 1 M NaCl içeren çözeltide hıza bağlı EC değişimi

Üç farklı oranda NaCl içeren çözelti ve 3 farklı pompa hızında yapılan deneyler sonucunda Çizelge 5.50’de 0.01 M, Çizelge 5.51’de 0.1 M ve Çizelge 5.52’de 1 M hıza bağlı olarak TDS değişimleri verilmiştir

Çizelge 3. 50 0.01 M NaCl çözeltide hıza bağlı TDS değişim tablosu

Periyod	TDS-V1	TDS-V2	TDS-V3
1.	29.9	14.8	33.4
2.	29.8	14.8	29.6
3.	31.4	13.6	27.4
4.	34.1	13.2	23.4
5.	34.5	12.2	20.0
6.	35.1	10.6	17.8
Ort.	32.5	13.2	25.3

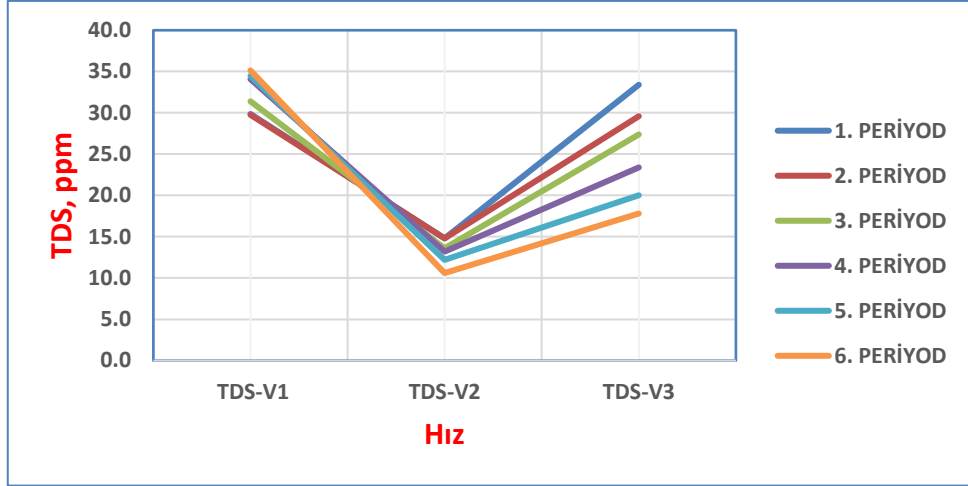
Çizelge 3. 51 0.1 M NaCl çözeltide hıza bağlı TDS değişim tablosu

Periyod	TDS-V1	TDS-V2	TDS-V3
1.	70.2	79.8	70.2
2.	76.8	80.8	75.4
3.	76.8	83.6	77.2
4.	79.6	85.0	78.8
5.	79.4	87.0	76.0
6.	81.8	88.6	75.0
Ort.	77.4	84.1	75.4

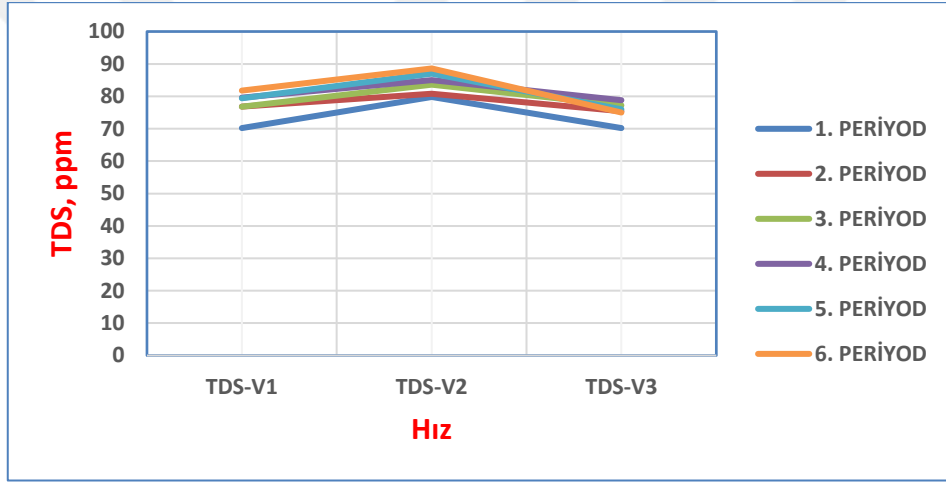
Çizelge 3. 52 1 M NaCl çözeltide hıza bağlı TDS değişim tablosu

Periyod	TDS-V1	TDS-V2	TDS-V3
1.	3742.0	3207.8	3666.0
2.	3563.8	2883.6	7842.8
3.	3418.2	2594.0	3912.0
4.	3409.0	2449.0	3834.6
5.	3389.8	2970.0	3486.0
6.	3374.0	3112.0	3064.0
Ort.	3482.8	2869.4	4300.9

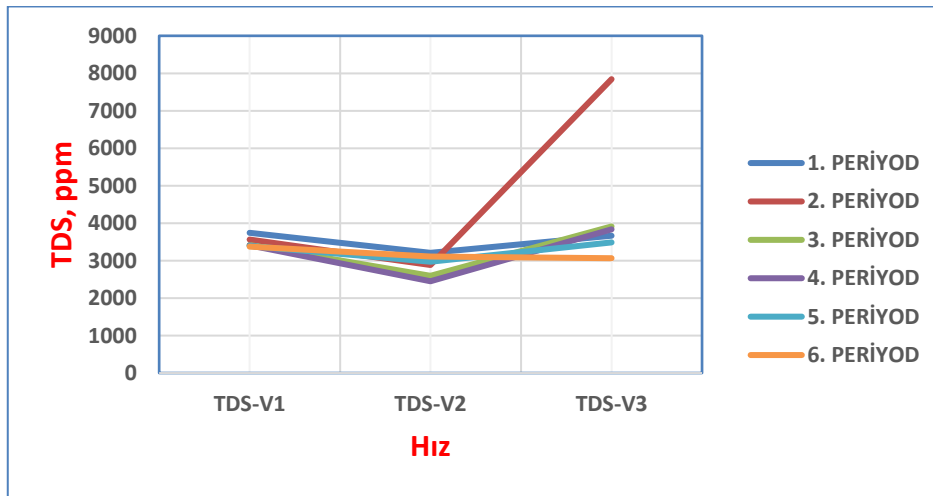
Üç farklı oranda NaCl içeren çözelti ve 3 farklı pompa hızında yapılan deneyler sonucunda Şekil 3.20’de 0.01 M, Şekil 3.21’de 0.1 M ve Şekil 3.22’de 1 M hıza bağlı olarak TDS değişimleri verilmiştir.



Şekil 3. 20 0.01 M NaCl içeren çözeltide hıza bağlı TDS değişimi



Şekil 3. 21 0.1 M NaCl içeren çözeltide hıza bağlı TDS değişimi



Şekil 3. 22 1 M NaCl içeren çözeltide hıza bağlı TDS değişimi

3.3 Jeotermal Su Deneyleri

Termal sularda bulunan silis tesisat sistemlerinin verimli çalışmasını engelleyen, borularda ve kuyularda tıkanıklıklara sebep olan maddelerden biridir. Jeotermal tuzlu suların içerisinde bulunan silikanın çoğu çözünmüş halde bulunur ve termal tesislerde borulara silikanın bağlanma eğilimi ortam sıcaklık düşüşüyle daha da fazla olmaktadır. Şimdiye kadar yapılan silika konulu çalışmalarda, silika polimerizasyon hızı üzerindeki etkiler, sudaki pH kontrolü ve reaktif ilave edilmesi sonucunda silikanın kontrollü çökeltilmesi üzerine çalışılmıştır. Jeotermal tesislerin reenjeksiyon hattından (Geri dönüş yolu) alınan numune üzerine gerçekleştirilecek konsantrasyon artırma yöntemleri için sürenin incelenmesi ve silikanın kontrollü, istenilen düzeyde çökmesini hızlandıracak silika kristalazyonunu, polimerizasyonunu artıracak (CEED) ilavesi gibi yöntemler araştırılmıştır.

Termal sulardan istenilen boyutta ve kalitede nano silis elde etmek için birden fazla etki eden parametreler mevcuttur. Elde edilen silikalarda en önemli noktalardan biri silika kalitesini belirlenmesidir. Nihai ürünün partikül boyutu, spesifik yüzey alanı ve safsızlık miktarı gibi faktörlerde kullanarak kaliteli bir silikanın kalitesini belirler. Böylece jeotermal sistemlere zarar verebilecek silika sistemden uzaklaştırılmış olmakla kalmayıp katma değerli ürün elde edilmektedir.

Kaynak suyun belirlenmesinde Afyon bölgesine ait termal sular ilk etapta kullanılacak olup dolayısıyla ilk olarak mevcut termal sulardan doğru kuyu ve kaynak tespit edilecektir. Bu işlem sırasında kuyu suyunun çıkışından alınan kaynak numunesi ile dönüş suyundan alınan suyunun kimyasal analizleri yapılarak içindeki silis ve diğer mineral miktarlarının oranlarına bakılmıştır. Sıcaklık kullanılacak kaynak suyun seçiminde etki eden bir diğer parametredir. Genel anlamda yapılan literatür çalışmalarında sıcaklık artışıyla sili çözünü mü arasında doğru orantı olduğu bilinmekte. Afyon jeotermal sularından çalışılacak kaynağın belirlenmesinden sonra sıcaklık farkının silis çözümüne nasıl etki ettiği üzerine çalışmalar yapılmıştır.

5.3.1 Açık Çevrim Jeotermal Su ile Yapılan Deneyler

Deneylerde kullanılan jeotermal su Afyonkarahisar bölgesinde konutsal ısıtma amaçlı faaliyetlerini sürdüren AFJET A.Ş. den temin edilmiş Afyonkarahisar bölgesindeki Y260 kuyu suyunun dönüş hattında alınmıştır. Temin edilen su numuneleri oda sıcaklığında bekletilmiş ve sonrasında deneylere başlanmıştır. Açık çevrim jeotermal su ile yapılan testlerde Şekil 3.7’deki elektroliz deney düzeneği kullanılarak bir taraftan taze termal suyla deney düzeneği sürekli 30 dk boyunca beslenmiş ve saf su deneyindeki ölçüm süreci işletilmiştir. TDS ve EC değişimleri birer dakikalık periyotlarla, pH ve sıcaklık değişimleri ise beşer dakikalık periyotlarla ölçülmüştür.

Deney seti karakterizasyonu için yapılan NaCl içeren saf su deneylerinde ortalama EC ve TDS değerine bakılmıştır. Üç farklı pompa hızında değişken tuz oranlarında en yüksek değerler 0.01 M NaCl’de V1, 0.1 M NaCl’de V2, 1 M NaCl’de V3 görülmüştür. Veriler tek bir pompa hızını işaret etmediği için termal su deneylerine V2: 16.5 ml/dk ve V3: 62.5 ml/dk pompa hızları seçilerek devam edilmiştir. Deneylerde ayrıca 0.5A, 1A ve 1.5A’lık akımlar kullanılmış olup elde edilen tablo ve grafikler aşağıda verilmiştir.

5.3.1.1 Açık Çevrim V2 Hızında Yapılan Deneyler

V2 hızında üç farklı amper akım uygulanan termal suda elde edilen analizler sonucunda TDS, EC, pH, sıcaklık, amper ve gerilime ait değişimler bulunmuştur Jeotermal suyla V2 hızında ve 0.5A akımda elektrokoagülasyon deneylerine başlamadan önce suya ait deney öncesi değerler ölçülmüş ve Çizelge 3.53’de gösterilmiştir.

Çizelge 3. 53 Termal suya ait V2 hızı 0.5A akım için deney öncesi yapılan ölçüm değerleri

EC ($\mu\text{S/cm}$)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	pH	Sıcaklık (°C)
4543	2152	0.5	4.7	4	17.5

Çizelge 3. 54 Termal suda V2 pompa hızın ve 0.5A akımda deney ölçüm değerleri

pH	Sıcaklık (°C)	Periyod Sayısı	EC (µs/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	$\bar{X}$ EC	$\bar{X}$ TDS	$\bar{X}$ Akım	$\bar{X}$ Volt
4.0	16.7	1.	4890	2340	0.50	4.9	4922.4	2324.0	0.5	4.8
		2.	4967	2360	0.50	4.8				
		3.	4930	2320	0.50	4.8				
		4.	4935	2310	0.50	4.8				
		5.	4890	2290	0.50	4.8				
		6.	4835	2283	0.50	4.8				
3.9	17.0	7.	4830	2270	0.50	4.8	4790.8	2249.0	0.5	4.8
		8.	4822	2250	0.50	4.8				
		9.	4727	2222	0.50	4.9				
		10.	4740	2220	0.50	4.9				
		11.	4718	2210	0.50	4.9				
		12.	4540	2178	0.50	4.9				
4.0	17.2	13.	4640	2200	0.50	4.9	4646.6	2193.2	0.5	4.9
		14.	4665	2189	0.50	4.9				
		15.	4670	2189	0.50	4.9				
		16.	4640	2089	0.50	4.9				
		17.	4640	2170	0.50	4.9				
		18.	4645	2140	0.50	4.9	4629.8	2152.8	0.5	4.9
4.0	17.5	19.	4574	2178	0.50	4.9				
		20.	4650	2187	0.50	4.9				
		21.	4560	2169	0.50	4.9				
		22.	4620	2167	0.50	4.9				
		23.	4565	2143	0.50	4.9	4588.8	2159.4	0.5	4.9
4.1	17.5	24.	4584	2163	0.50	4.9				
		25.	4615	2155	0.50	4.9				
		26.	4595	2160	0.50	4.9				
		27.	4645	2180	0.50	4.9				
		28.	4632	2180	0.50	4.9	4600.4	2168.4	0.5	4.9
4.1	17.5	29.	4600	2166	0.50	4.9				
		30.	4530	2156	0.50	4.9				

Deney düzeneğine 0.5A akım uygulandığında parametrelerdeki oluşan değişim değerleri periyodik olarak ölçülerek Çizelge 3.54'deki değerler elde edilmiştir. Çizelge 3.54'te ki ölçüm değerleri üzerine istatistiksel çalışmalar yapılarak verilere ait ortalamalar ve yüzdesel değişimlerinin neler olduğu üzerine çalışmalar yapılmıştır. Termal suyla yapılan V2 pompa hızı ve 0.5A akıma ait elde edilen verilerden ortalama EC, TDS, Akım ve gerilim değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Ayrıca deney başlamadan önce termal suya ait giriş ölçüm değerleri ile deney sonucunda periyot ölçümlerine ait değerler arasında ki yüzde değişimleri ölçülmüş olup Çizelge 3.55'te verilmiştir.

Çizelge 3. 55 Termal su V2 pompa hızı, 0.5A akımda standart sapma ve yüzde değişimleri

Σ EC	Σ TDS	Σ Akım Şiddeti (A)	Σ Gerilim (V)	% EC	% TDS	% Akım Şiddeti (A)	% Gerilim (V)
29.3	24.2	0.0	0.0	8.4	8.0	0.0	2.6
47.1	25.2	0.0	0.0	5.5	4.5	0.0	3.0
4.9	59.0	10.9	0.0	0.0	2.3	1.9	0.0
0.5	4.9	28.1	35.6	0.0	0.0	1.9	0.0
4.9	24.8	9.5	0.0	0.0	1.0	0.3	0.0
0.5	4.9	39.9	10.0	0.0	0.0	1.3	0.8

Jeotermal suyla V2 hızında ve 1A akımda elektrokoagülasyon deneylerine başlamadan önce suya ait deney öncesi değerler ölçülmüş ve Çizelge 3.56'de gösterilmiştir.

Çizelge 3. 56 Termal suya ait V2 hızı 1A akım için deney öncesi yapılan ölçüm değerleri

EC (μ S/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	pH	Sıcaklık (°C)
4015	1930	1	7.3	4	15.4

Deney düzeneğine 1A akım uygulandığında TDS, EC, pH, sıcaklık, amper ve gerilime ait parametrelerdeki değişim değerleri periyodik ölçülerek Çizelge 3.57'deki değerler elde edilmiştir.

Çizelge 3. 57 Termal suda V2 pompa hızın ve 1A akımda deney ölçüm değerleri

pH	Sıcaklık (°C)	Periyod Sayısı	EC (µs/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	$\bar{X}$ EC	$\bar{X}$ TDS	$\bar{X}$ Akım	$\bar{X}$ Volt
4.0	15.5	1.	4360	1557	1	7.5	4303.0	1904.4	1.0	7.5
		2.	4245	2030	1	7.5				
		3.	4370	2050	1	7.5				
		4.	4290	1987	1	7.5				
		5.	4250	1898	1	7.5				
		6.	4200	1891	1	7.5				
4.0	15.5	7.	4294	2028	1	7.5	4198.8	1955.2	1.0	7.5
		8.	4172	1992	1	7.5				
		9.	4192	1965	1	7.5				
		10.	4136	1900	1	7.5				
		11.	3836	1853	1	7.5				
		12.	3824	1823	1	7.5				
3.9	15.8	13.	3930	1810	1	7.5	3968.0	1876.2	1.0	7.5
		14.	4138	1918	1	7.4				
		15.	4112	1977	1	7.4				
		16.	4142	1824	1	7.4				
		17.	4050	1870	1	7.4				
		18.	4197	1872	1	7.4				
4.0	15.8	19.	4022	1780	1	7.4	4103.4	1835.2	1.0	7.4
		20.	4106	1830	1	7.4				
		21.	4000	1750	1	7.4				
		22.	4180	1928	1	7.4				
		23.	4200	1966	1	7.4				
		24.	4198	1883	1	7.4				
3.9	16	25.	4200	1960	1	7.4	4155.6	1897.4	1.0	7.4
		26.	4230	1870	1	7.4				
		27.	4050	1930	1	7.4				
		28.	3900	1908	1	7.4				
		29.	4200	1907	1	7.4				
		30.	4100	1903	1	7.4				

Çizelge 3.57’da ki ölçüm değerleri üzerine istatistiksel çalışmalar yapılarak verilere ait ortalamalar ve yüzdesel değişimlerinin neler olduğu üzerine çalışmalar yapılmıştır.

Termal suyla yapılan V2 pompa hızı ve 1A akıma ait deneyler sonucunda elde edilen verilerden ortalama EC, TDS, Akım ve gerilim değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Ayrıca deney başlamadan önce termal suya ait giriş ölçüm değerleri ile deney sonucunda periyot ölçümlerine ait değerler arasında ki yüzde değişimleri ölçülmüş olup Çizelge 3.58’de verilmiştir.

Çizelge 3. 58 Termal su V2 pompa hızı, 1A akımda standart sapma ve yüzde değişimleri

Σ EC	Σ TDS	Σ Akım Şiddeti (A)	Σ Gerilim (V)	% EC	% TDS	% Akım Şiddeti (A)	% Gerilim (V)
53.1	181.4	0.0	0.0	7.2	-1.3	0.0	2.7
52.5	52.8	0.0	0.0	4.6	1.3	0.0	2.7
133.6	62.7	0.0	0.0	-1.2	-2.8	0.0	2.2
62.8	34.0	0.0	0.0	2.2	-4.9	0.0	1.4
78.2	79.4	0.0	0.0	3.5	-1.7	0.0	1.4
117.7	19.3	0.0	0.0	2.0	-1.4	0.0	1.4

Jeotermal suyla V2 hızında ve 1.5A akımda elektrokoagülasyon deneylerine başlamadan önce suya ait deney öncesi değerler ölçülmüş ve Çizelge 3.59’da gösterilmiştir.

Çizelge 3. 59 Termal suya ait V2 hızı 1.5A akım için deney öncesi yapılan ölçüm değerleri

EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	pH	Sıcaklık (°C)
4566	2186	1.5	9	4.3	17.5

Deney düzeneğine 1.5A akım uygulandığında TDS, EC, pH, sıcaklık, amper ve gerilime ait parametrelerdeki değişim değerleri periyodik ölçülerek Çizelge 3.60’da ki değerler elde edilmiştir.

Çizelge 3. 60 Termal suda V2 pompa hızın ve 1.5A akımda deney ölçüm değerleri

pH	Sıcaklık (°C)	Periyod Sayısı	EC (µs/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	$\bar{X}$ EC	$\bar{X}$ TDS	$\bar{X}$ Akım	$\bar{X}$ Volt
4.4	17.5	1.	4900	2310	1.5	8.9	4847.0	2316.8	1.5	8.9
		2.	4933	2326	1.5	8.9				
		3.	4751	2328	1.5	8.9				
		4.	4900	2327	1.5	8.8				
		5.	4751	2293	1.5	8.8				
		6.	4917	2274	1.5	8.8				
4.2	17.5	7.	4863	2294	1.5	8.8	4837.0	2260.8	1.5	8.8
		8.	4793	2209	1.5	8.8				
		9.	4790	2282	1.5	8.7				
		10.	4822	2245	1.5	8.7				
		11.	4780	2234	1.5	8.7				
		12.	4770	2262	1.5	8.7				
4.1	17.3	13.	4738	2252	1.5	8.7	4760.2	2244.8	1.5	8.7
		14.	4773	2234	1.5	8.7				
		15.	4740	2242	1.5	8.7				
		16.	4780	2250	1.5	8.7				
		17.	4798	2238	1.5	8.7				
		18.	4712	2232	1.5	8.7				
4.2	17.5	19.	4756	2223	1.5	8.7	4757.2	2236.8	1.5	8.7
		20.	4740	2241	1.5	8.7				
		21.	4785	2247	1.5	8.7				
		22.	4686	2255	1.5	8.7				
		23.	4811	2251	1.5	8.7				
		24.	4772	2264	1.5	8.7				
4.1	17.5	25.	4820	2227	1.5	8.7	4774.8	2248.8	1.5	8.7
		26.	4691	2241	1.5	8.7				
		27.	4816	2238	1.5	8.7				
		28.	4725	2230	1.5	8.7				
		29.	4772	2226	1.5	8.7				
		30.	4737	2241	1.5	8.7				

Termal suyla yapılan V2 pompa hızı ve 1.5A akıma ait deneyler sonucunda elde edilen verilerden ortalama EC, TDS, Akım ve gerilim değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Ayrıca deney başlamadan önce termal suya ait giriş ölçüm değerleri ile deney sonucunda periyot ölçümlerine ait değerler arasında ki yüzde değişimleri ölçülmüş olup Çizelge 3.61’de verilmiştir.

Çizelge 3. 61 Termal su V2 pompa hızı, 1.5A akımda standart sapma ve yüzde değişimleri

Σ EC	Σ TDS	Σ Akım Şiddeti (A)	Σ Gerilim (V)	% EC	% TDS	% Akım Şiddeti (A)	% Gerilim (V)
79.3	13.6	0.0	0.0	6.2	6.0	0.0	-1.6
47.8	30.5	0.0	0.0	5.9	3.4	0.0	-2.7
8.7	17.6	10.9	0.0	0.0	4.3	2.7	0.0
8.7	30.1	9.0	0.0	0.0	4.2	2.3	0.0
8.7	47.6	12.3	0.0	0.0	4.6	2.9	0.0
8.7	42.7	6.1	0.0	0.0	4.0	2.3	0.0

3.3.1.2 Açık Çevrim V3 Hızında Yapılan Deneyler

V3 hızında üç farklı amper akım uygulanan termal suda elde edilen analizler sonucunda TDS, EC, pH, sıcaklık, amper ve gerilime ait değişimler bulunmuştur. Jeotermal suyla V3 hızında ve 0.5A akımda elektrokoagülasyon deneylerine başlamadan önce suya ait deney öncesi değerler ölçülmüş ve Çizelge 3.62’de gösterilmiştir.

Çizelge 3. 62 Termal suya ait V3 hızı 0.5A akım için deney öncesi yapılan ölçüm değerleri

EC (μ S/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	pH	Sıcaklık (°C)
4680	2190	0.5	4.7	4.25	17.8

Deney düzeneğine 0.5A akım uygulandığında parametrelerdeki oluşan değişim değerleri periyodik olarak ölçülerek Çizelge 3.63’de ki değerler elde edilmiştir.

Çizelge 3. 63 Termal suda V3 pompa hızın ve 0.5A akımda deney ölçüm değerleri

pH	Sıcaklık (°C)	Periyod Sayısı	EC (µs/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	$\bar{X}$ EC	$\bar{X}$ TDS	$\bar{X}$ Akım	$\bar{X}$ Volt
4.1	18.0	1.	4910	2330	0.5	5	4844.1	2289.0	0.5	4.9
		2.	4890	2317	0.5	5				
		3.	4871	2304	0.5	5				
		4.	4750	2250	0.5	5				
		5.	4800	2246	0.5	5				
		6.	4740	2228	0.5	5				
4.0	18.2	7.	4670	2205	0.5	5	4700.2	2211.1	0.5	5.0
		8.	4730	2227	0.5	5				
		9.	4689	2196	0.5	5				
		10.	4670	2198	0.5	5				
		11.	4673	2194	0.5	5				
		12.	4700	2208	0.5	5				
4.3	18.4	13.	4670	2128	0.5	5	4664.0	2170.2	0.5	5.0
		14.	4655	2196	0.5	5				
		15.	4624	2125	0.5	5				
		16.	4570	2164	0.5	5				
		17.	4642	2180	0.5	5				
		18.	4640	2182	0.5	5				
4.2	18.4	19.	4636	2160	0.5	5	4621.0	2173.2	0.5	5.0
		20.	4618	2177	0.5	5				
		21.	4695	2185	0.5	5				
		22.	4660	2210	0.5	5				
		23.	4580	2174	0.5	5				
		24.	4647	2206	0.5	5				
4.2	18.5	25.	4655	2200	0.5	5	4647.1	2195.0	0.5	4.9
		26.	4650	2190	0.5	5				
		27.	4658	2184	0.5	5				
		28.	4650	2190	0.5	5				
		29.	4655	2188	0.5	5				
		30.	4670	2180	0.5	5				

Termal suyla yapılan V3 pompa hızı ve 0.5A akıma ait deneyler sonucunda elde edilen verilerden ortalama EC, TDS, Akım ve gerilim değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Ayrıca deney başlamadan önce termal suya ait giriş ölçüm değerleri ile deney sonucunda periyot ölçümlerine ait değerler arasında ki yüzde değişimleri ölçülmüş olup Çizelge 3.64’de verilmiştir.

Çizelge 3. 64 Termal su V3 pompa hızı, 0.5A akımda standart sapma ve yüzde değişimleri

Σ EC	Σ TDS	Σ Akım Şiddeti (A)	Σ Gerilim (V)	% EC	% TDS	% Akım Şiddeti (A)	% Gerilim (V)
60.0	34.8	0.0	0.0	3.5	4.5	0.0	5.1
5.0	29.7	14.0	0.0	0.0	0.4	0.9	0.0
5.0	24.9	36.0	0.0	0.0	-0.3	-0.9	0.0
5.0	27.0	8.9	0.0	0.0	-1.3	-0.8	0.0
4.9	37.5	13.5	0.0	0.0	-0.7	0.2	0.0
4.9	7.4	3.9	0.0	0.0	-0.5	-0.2	0.0

Jeotermal suyla V3 hızında ve 1A akımda elektrokoagülasyon deneylerine başlamadan önce suya ait deney öncesi değerler ölçülmüş ve Çizelge 3.65’de gösterilmiştir.

Çizelge 3. 65 Termal suya ait V3 hızı 1A akım için deney öncesi yapılan ölçüm değerleri

EC (μ S/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	pH	Sıcaklık (°C)
4210	2020	1	7.2	4.1	16

Deney düzeneğine 1A akım uygulandığında TDS, EC, pH, sıcaklık, amper ve gerilime ait parametrelerdeki değişim değerleri periyodik ölçülerek Çizelge 3.65’deki değerler elde edilmiştir.

Çizelge 3. 66 Termal suda V3 pompa hızın ve 1A akımda deney ölçüm değerleri

pH	Sıcaklık (°C)	Periyod Sayısı	EC (µs/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	$\bar{X}$ EC	$\bar{X}$ TDS	$\bar{X}$ Akım	$\bar{X}$ Volt
4.1	16	1.	4210	2002	1	7.2	4297.0	2022.0	1.0	7.2
		2.	4245	2022	1	7.2				
		3.	4335	2018	1	7.2				
		4.	4378	2041	1	7.2				
		5.	4315	2026	1	7.2				
		6.	4278	2028	1	7.2				
4.1	16.2	7.	4166	1920	1	7.2	4266.0	1997.0	1.0	7.1
		8.	4310	2030	1	7.1				
		9.	4274	1985	1	7.1				
		10.	4300	2020	1	7.1				
		11.	4190	1964	1	7.1				
		12.	4122	1930	1	7.1				
4	16.5	13.	4215	1926	1	7.1	4184.0	1963.0	1.0	7.1
		14.	4263	1995	1	7.1				
		15.	4130	1998	1	7.1				
		16.	4320	2045	1	7.0				
		17.	4230	2004	1	7.0				
		18.	4370	1980	1	7.0				
4.06	16.5	19.	4320	2050	1	7.0	4268.0	2020.0	1.0	7.0
		20.	4100	2023	1	7.0				
		21.	4086	2044	1	7.0				
		22.	4012	2012	1	7.0				
		23.	4254	2040	1	7.1				
		24.	4364	2011	1	7.1				
4.12	17	25.	4257	2034	1	7.1	4195.0	2028.0	1.0	7.1
		26.	4120	2030	1	7.1				
		27.	4160	2022	1	7.1				
		28.	4168	2043	1	7.1				
		29.	4235	2028	1	7.1				
		30.	4200	1980	1	7.1				

Termal suyla yapılan V3 pompa hızı ve 1A akıma ait deneyler sonucunda elde edilen verilerden ortalama EC, TDS, Akım ve gerilim değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Ayrıca deney başlamadan önce termal suya ait giriş ölçüm değerleri ile deney sonucunda periyot ölçümlerine ait değerler arasında ki yüzde değişimleri ölçülmüş olup Çizelge 3.67’de verilmiştir.

Çizelge 3. 67 Termal su V3 pompa hızı, 1A akımda standart sapma ve yüzde değişimleri

Σ EC	Σ TDS	Σ Akım Şiddeti (A)	Σ Gerilim (V)	% EC	% TDS	% Akım Şiddeti (A)	% Gerilim (V)
61.0	12.6	0.0	0.0	2.1	0.1	0.0	0.0
51.6	41.6	0.0	0.0	1.3	-1.2	0.0	-0.8
52.9	30.7	0.0	0.0	-0.6	-2.8	0.0	-1.4
95.4	26.0	0.0	0.0	1.4	0.0	0.0	-2.8
127.5	14.0	0.0	0.0	-0.4	0.4	0.0	-1.9
38.7	21.4	0.0	0.0	-0.7	0.0	0.0	-1.3

Jeotermal suyla V3 hızında ve 1.5A akımda elektrokoagülasyon deneylerine başlamadan önce suya ait deney öncesi değerler ölçülmüş ve Çizelge 3.68’de gösterilmiştir.

Çizelge 3. 68 Termal suya ait V3 hızı 1.5A akım için deney öncesi yapılan ölçüm değerleri

EC (μ s/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	pH	Sıcaklık (°C)
4728	2202	1.5	9.9	4.3	17

Deney düzeneğine 1.5A akım uygulandığında TDS, EC, pH, sıcaklık, amper ve gerilime ait parametrelerdeki değişim değerleri periyodik ölçülerek Çizelge 3.69’daki değerler elde edilmiştir.

Çizelge 3. 69 Termal suda V3 pompa hızın ve 1.5A akımda deney ölçüm değerleri

pH	Sıcaklık (°C)	Periyod Sayısı	EC (µs/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	$\bar{X}$ EC	$\bar{X}$ TDS	$\bar{X}$ Akım	$\bar{X}$ Volt
4.48	17.0	1.	4767	2233	1.5	9.9	4807.8	2253.2	1.5	9.8
		2.	4796	2251	1.5	9.8				
		3.	4802	2273	1.5	9.8				
		4.	4850	2239	1.5	9.7				
		5.	4824	2270	1.5	9.6				
		6.	4718	2252	1.5	9.6				
4.5	17.2	7.	4792	2248	1.5	9.6	4774.0	2250.6	1.5	9.6
		8.	4780	2256	1.5	9.6				
		9.	4830	2253	1.5	9.6				
		10.	4750	2244	1.5	9.6				
		11.	4682	2262	1.5	9.6				
		12.	4792	2252	1.5	9.6				
4.4	17.3	13.	4790	2266	1.5	9.5	4760.4	2243.8	1.5	9.5
		14.	4770	2191	1.5	9.5				
		15.	4768	2248	1.5	9.5				
		16.	4789	2242	1.5	9.5				
		17.	4757	2250	1.5	9.5				
		18.	4786	2227	1.5	9.5				
4.5	17.3	19.	4750	2256	1.5	9.5	4747.0	2248.6	1.5	9.5
		20.	4653	2268	1.5	9.5				
		21.	4855	2282	1.5	9.5				
		22.	4865	2252	1.5	9.4				
		23.	4805	2254	1.5	9.4				
		24.	4783	2256	1.5	9.4				
4.2	17.5	25.	4805	2252	1.5	9.4	4822.6	2259.2	1.5	9.4
		26.	4818	2254	1.5	9.4				
		27.	4278	2253	1.5	9.4				
		28.	4766	2247	1.5	9.4				
		29.	4773	2207	1.5	9.4				
		30.	4746	2260	1.5	9.4				

Termal suyla yapılan V3 pompa hızı ve 1.5A akıma ait deneyler sonucunda elde edilen verilerden ortalama EC, TDS, Akım ve gerilim değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Ayrıca deney başlamadan önce termal suya ait giriş ölçüm değerleri ile deney sonucunda periyot ölçümlerine ait değerler arasında ki yüzde değişimleri ölçülmüş olup Çizelge 3.70’de verilmiştir.

Çizelge 3. 70 Termal su V3 pompa hızı, 1.5A akımda standart sapma ve yüzde değişimleri

Σ EC	Σ TDS	Σ Akım Şiddeti (A)	Σ Gerilim (V)	% EC	% TDS	% Akım Şiddeti (A)	% Gerilim (V)
27.9	16.1	0.0	0.1	1.7	2.3	0.0	-1.4
38.0	4.2	0.0	0.0	1.0	2.2	0.0	-3.0
9.5	40.4	27.2	0.0	0.0	0.7	1.9	0.0
9.5	49.5	13.7	0.0	0.0	0.4	2.1	0.0
9.4	31.7	11.5	0.0	0.0	2.0	2.6	0.0
9.4	200.5	19.1	0.0	0.0	-1.1	1.9	0.0

3.3.1.3 Açık Çevrim Termal Su Deneylerinin Bileşik Analizi

Açık çevrim test çalışmaların da deney düzeneği sürekli dışardan temiz termal suyla beslenerek uygulanan üç farklı akım değeri ve iki farklı pompa hızı sonucunda deney düzeneğinin davranışı çözümlenmeye çalışmıştır.

Çizelge 3.71’de V2 hızına ve uygulanan üç farklı akım değerini bağlı elde edilen ortalama EC ve TDS değerleri tek bir tabloda özetlenerek gösterilmiştir.

Çizelge 3.72’dayse V3 hızına ve uygulanan üç farklı akım değerini bağlı elde edilen ortalama EC ve TDS değerleri tek bir tabloda özetlenerek gösterilmiştir.

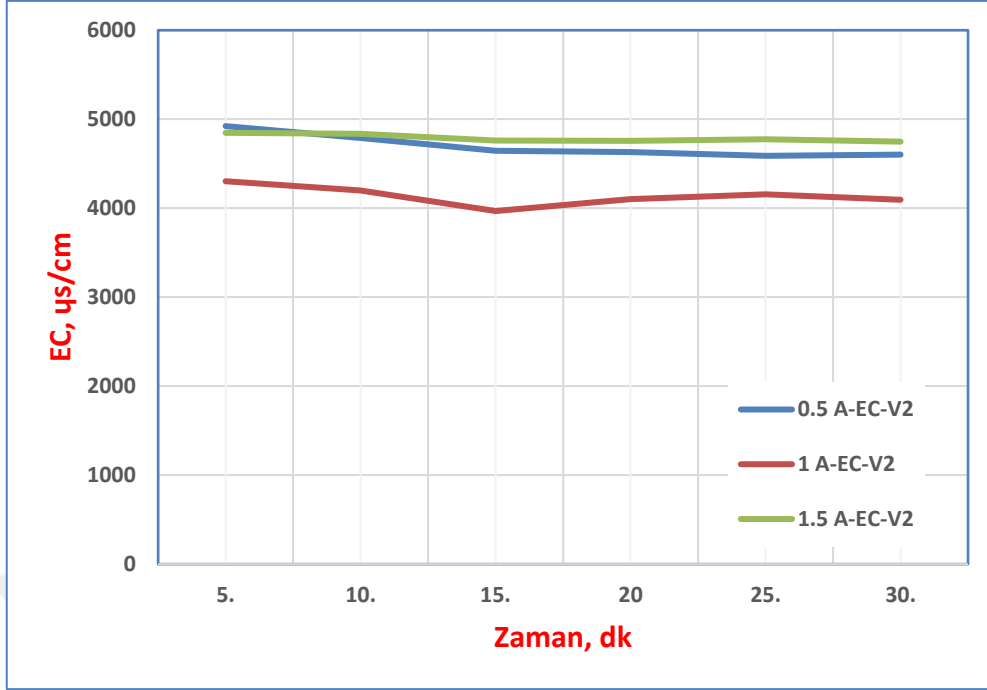
Çizelge 3. 71 Termal su V2 pompa hızında üç farklı akıma ait TDS-EC değişimi

Periyot	0.5 A TDS-V2	1 A TDS-V2	1.5 A TDS-V2	0.5 A EC-V2	1 A EC-V2	1.5 A EC-V2
1.	2324	1904	2317	4922	4303	4847
2.	2249	1955	2261	4791	4199	4837
3.	2193	1876	2245	4647	3968	4760
4.	2153	1835	2237	4630	4103	4757
5.	2159	1897	2249	4589	4156	4775
6.	2168	1904	2235	4600	4096	4748

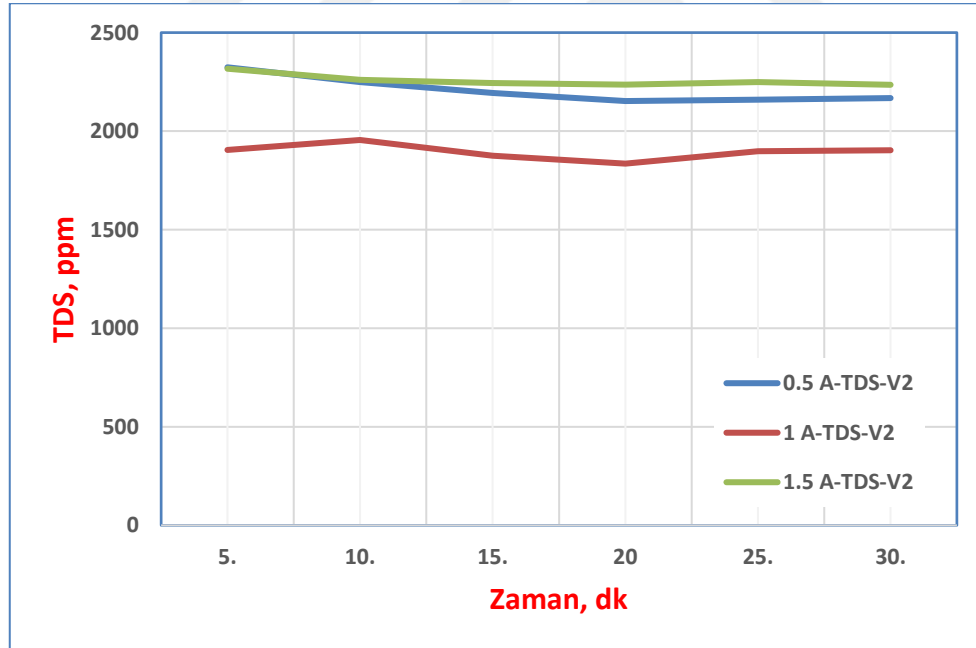
Çizelge 3. 72 Termal su V3 pompa hızında üç farklı akıma ait TDS-EC değişimi

Periyot	0.5 A TDS-V3	1 A TDS-V3	1.5 A TDS-V3	0.5 A EC-V3	1 A EC-V3	1.5 A EC-V3
1.	2289	2022	2253	4844	4297	4808
2.	2211	1997	2251	4700	4266	4774
3.	2170	1963	2244	4664	4184	4760
4.	2173	2020	2249	4621	4268	4747
5.	2195	2028	2259	4647	4195	4823
6.	2186	2021	2244	4657	4177	4676

Çizelge 3.71’de ki deney sonrası elde edilen ortalama veriler esas alınarak V2 hızına ait Şekil 3.23’te ve Şekil 3.24’de sırasıyla bağlı EC ve TDS değişimlerinin grafikleri gösterilmiştir.

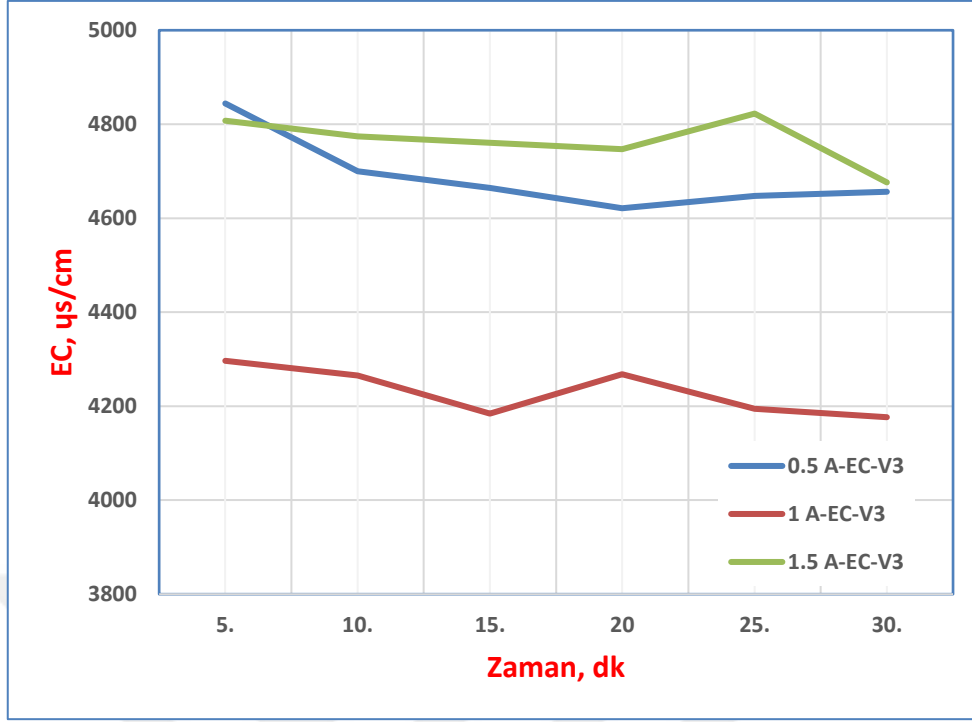


Şekil 3. 23 V2 hızı ve akım değişimine EC değişim grafiği

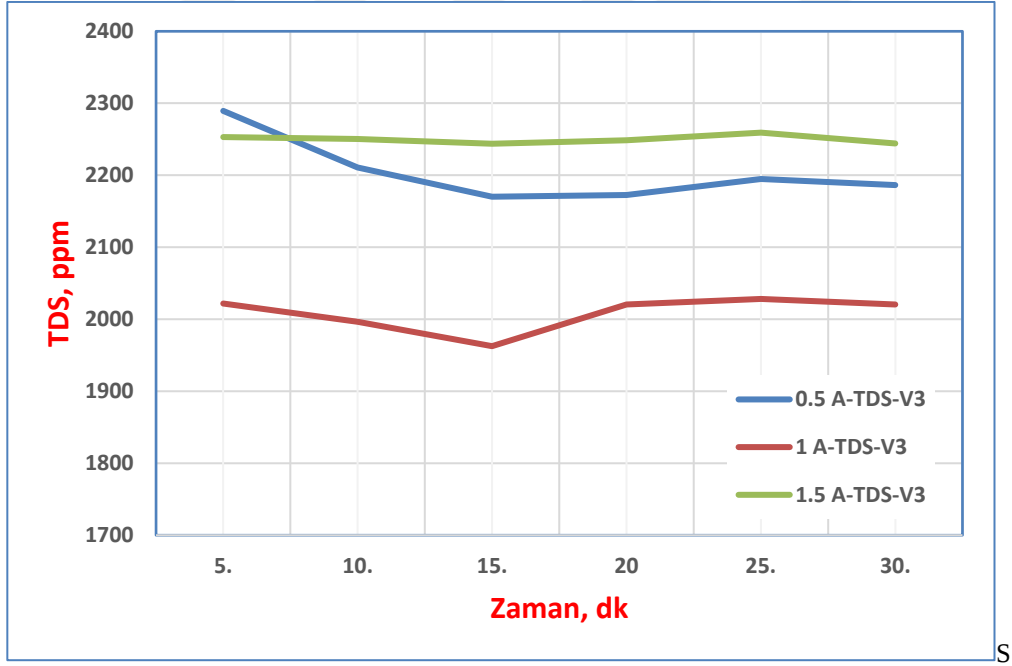


Şekil 3. 24 V2 hızı ve akım değişimine TDS değişim grafiği

Çizelge 3.72'deki deney sonrası elde edilen ortalama veriler esas alınarak Şekil 3.25'de ve Şekil 3.26'da sırasıyla V3 hızına bağlı EC ve TDS değişimlerinin grafikleri gösterilmiştir.

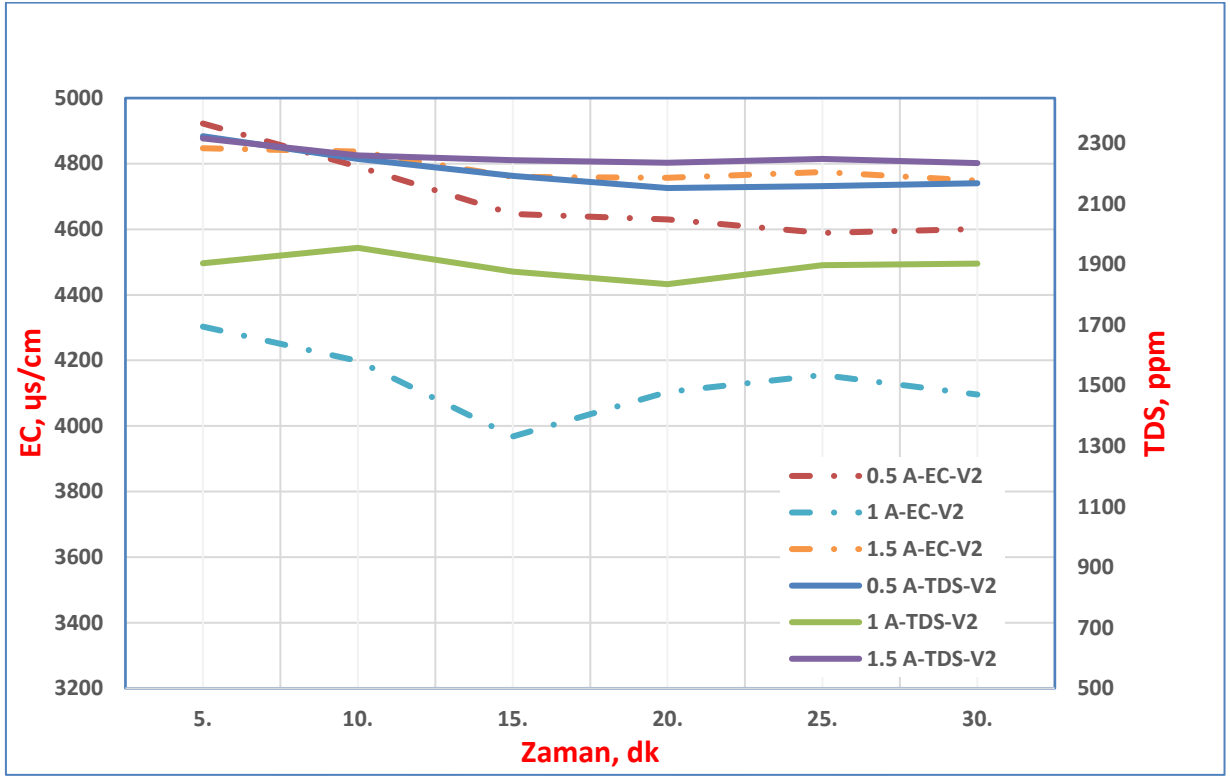


Şekil 3. 25 V3 hızı ve akım değişimine EC değişim grafiği

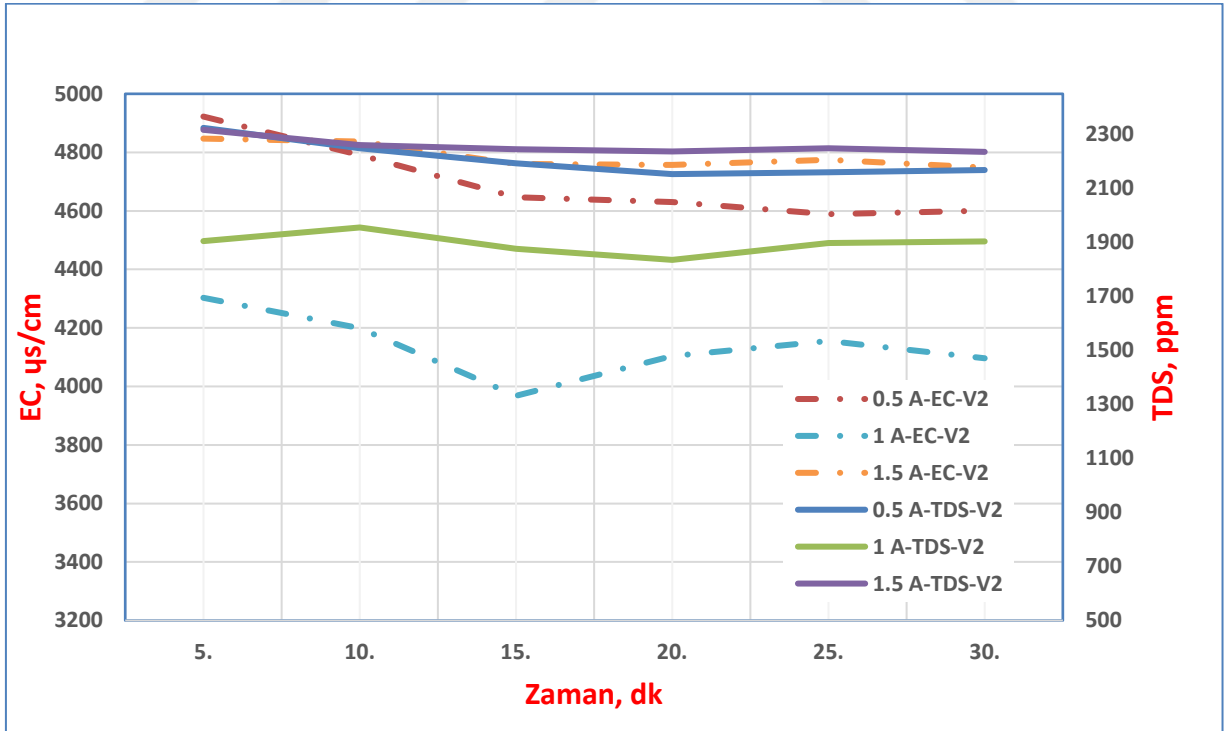


Şekil 3. 26 V3 hızı ve akım değişimine TDS değişim grafiği

Şekil 3.27’de V2 hızı ve amper değişimine bağlı EC/TDS değişimleri tek bir grafikte gösterilirken Şekil 3.29’daysa V3 hızı ve amper değişimine bağlı EC/TDS değişimleri tek bir grafikte gösterilmiştir.



Şekil 3. 27 V2 hızı ve amper değişimine bağlı EC/TDS değişimi



Şekil 3. 28 V3 hızı ve amper değişimine bağlı EC/TDS değişimi

V2 hızında üç farklı akım yoğunluğu ve 2 farklı pompa hızında yapılan deneylerde deney öncesi giriş değerleriyle deney sonrasında çıkış değeri ve deney düzeneğinde içindeki çözeltinin değerleri ölçülmüştür.

Aşağıdaki tablolarda Çizelge 5.73’de TDS değişimi Çizelge 5.74’de EC değişimleri verilmiştir.

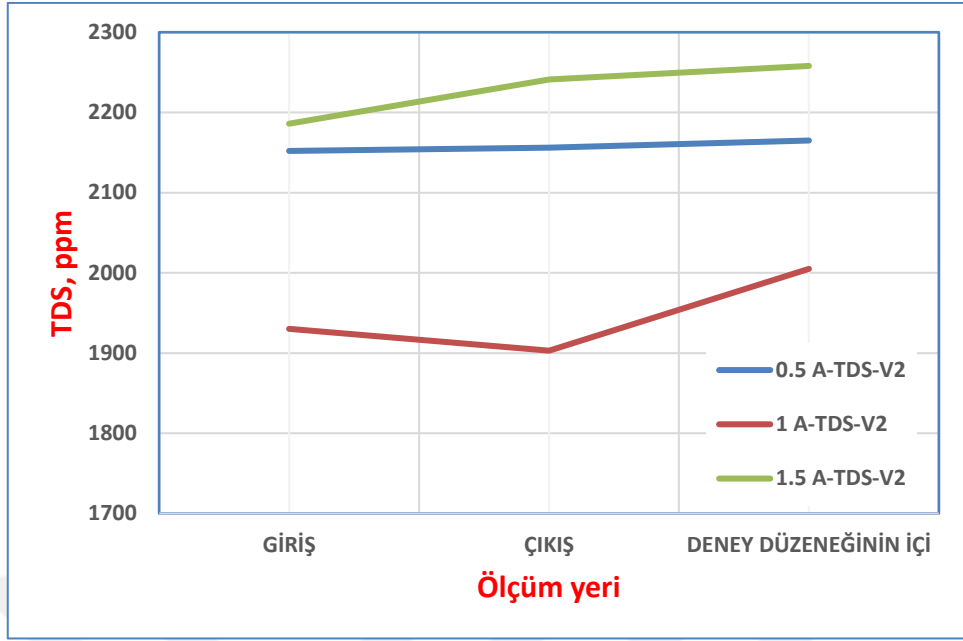
Çizelge 3. 73 V2 hızına ait TDS değişim tablosu

Ölçüm Yeri	TDS-V2-0.5A	TDS-V2-1A	TDS-V2-1.5A
Giriş	2152.0	1930.0	2186.0
Çıkış	2006.0	1903.0	2241.0
Deney düzeneğinin içi	2115.0	2005.0	2258.0

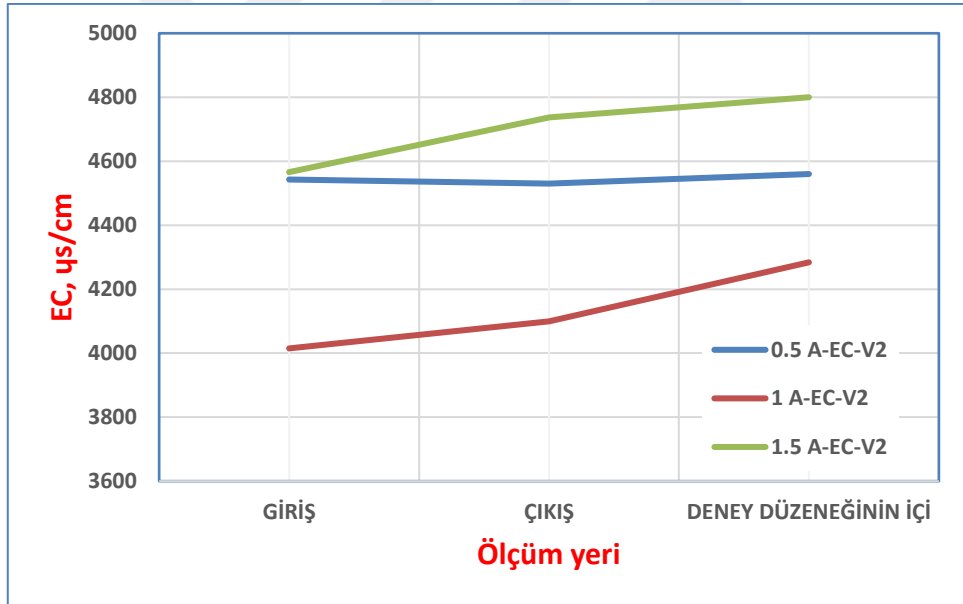
Çizelge 3. 74 V2 hızına ait EC değişim tablosu

Ölçüm Yeri	EC-V2-0.5A	EC-V2-1A	EC-V2-1.5A
Giriş	4543.0	4015.0	4566.1
Çıkış	4530.0	4100.1	4737.2
Deney düzeneğinin içi	4560.0	4284.2	4800.0

Çizelge 3.73 ve Çizelge 3.74’deki değerlere göre Şekil 3.29’de TDS değişimlerine ait Şekil 3.30’da EC değişimlerine ait grafikleri verilmiştir.



Şekil 3. 29 V2 hızına bağlı TDS değişim grafiği



Şekil 3. 30 V2 hızına bağlı EC değişim grafiği

V3 hızında üç farklı akım yoğunluğu ve 2 farklı pompa hızında yapılan deneylerde deney öncesi giriş değerleriyle deney sonrasında çıkış değeri ve deney düzeneğinde içindeki çözeltinin değerleri ölçülmüştür. Aşağıdaki tablolarda Çizelge 5.75’de TDS değişimi Çizelge 5.76’da EC değişimleri verilmiştir.

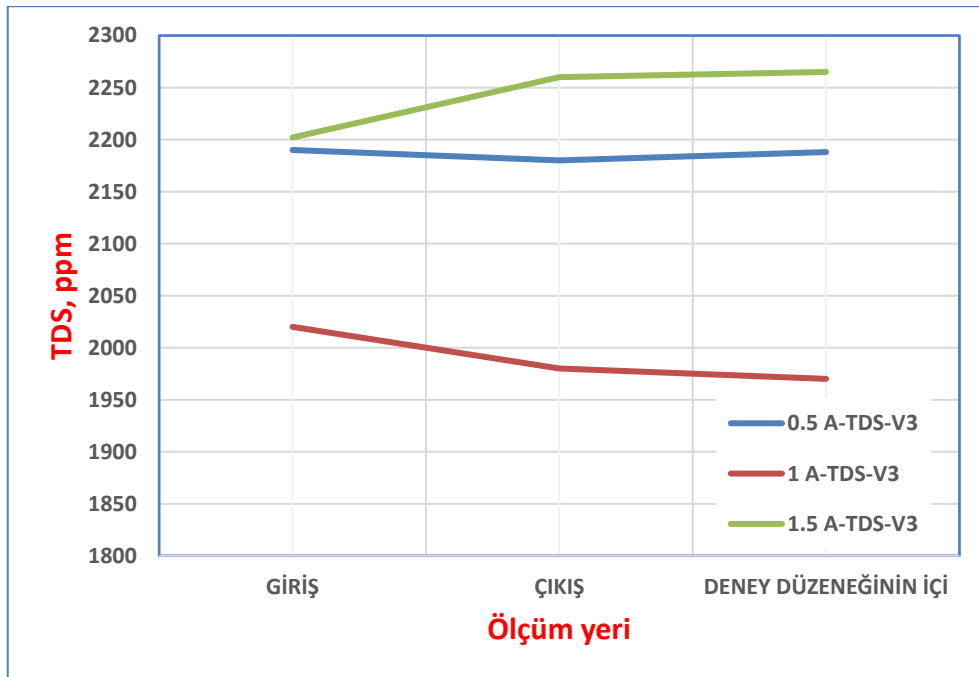
Çizelge 3. 75 V3 hızına ait TDS değişim tablosu

Ölçüm Yeri	TDS-V3-0.5A	TDS-V3-1A	TDS-V3-1.5A
Giriş	2190.0	2020	2202
Çıkış	2180.1	1980	2260
Deney düzeneğinin içi	2188.0	1990	2265

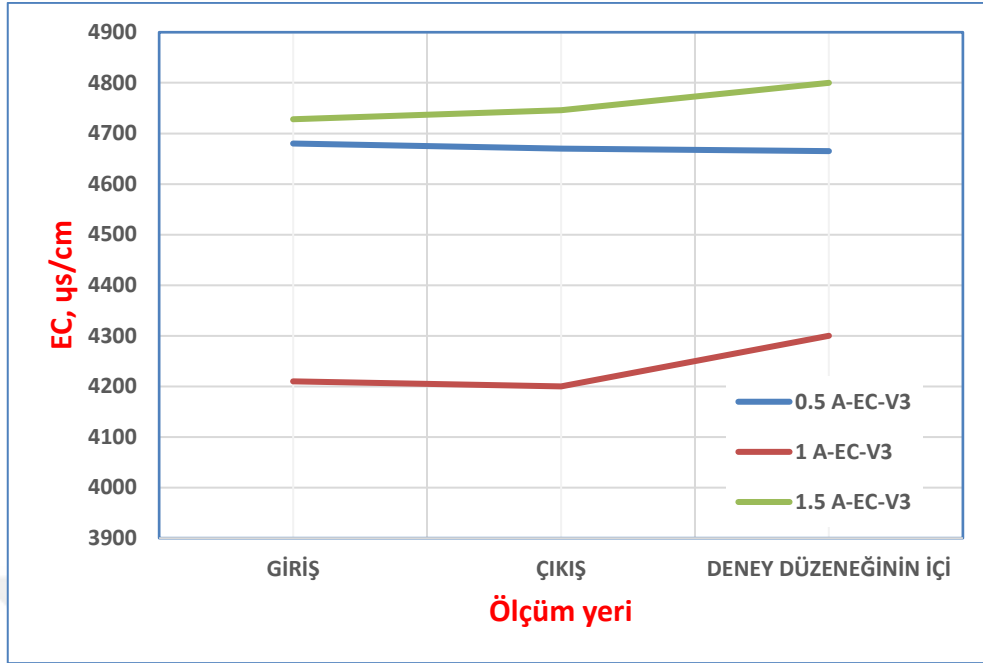
Çizelge 3. 76 V3 hızına ait EC değişim tablosu

Ölçüm Yeri	EC-V3-0.5A	EC-V3-1A	EC-V3-1.5A
Giriş	4680.0	4210.0	4728.2
Çıkış	4670.0	4200.1	4746.0
Deney düzeneğinin içi	4675.2	4300.2	4800.0

Çizelge 3.75 ve Çizelge 5.76'daki değerlere göre Şekil 3.31'de TDS, Şekil 3.32'de EC değişimlerine ait grafikler verilmiştir.



Şekil 3. 31 V3 hızına bağlı TDS değişim grafiği

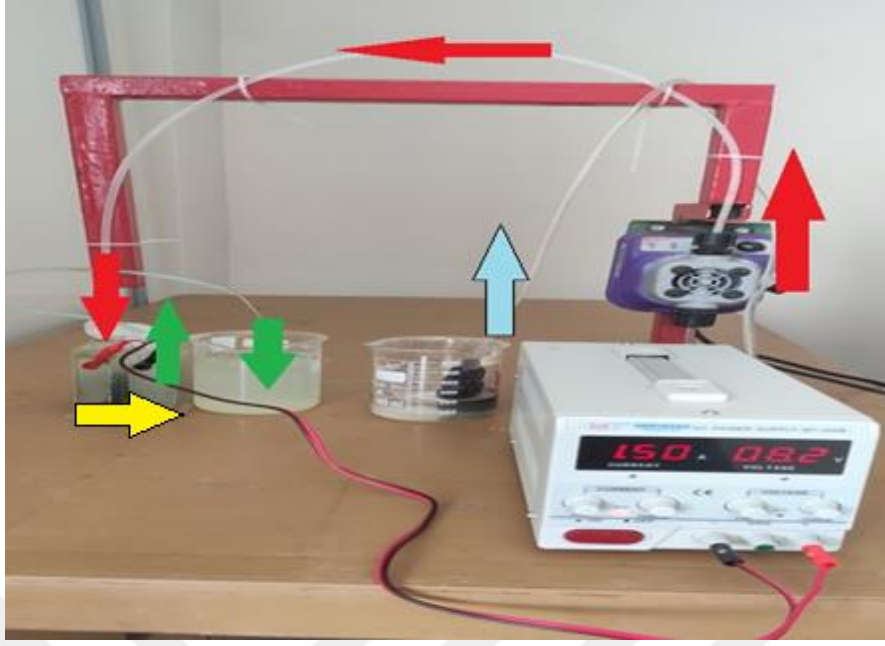


Şekil 3. 32 V3 hızına bağlı EC değişim grafiği

3.3.2 Kapalı Çevrim Jeotermal Su ile Yapılan Deneyler

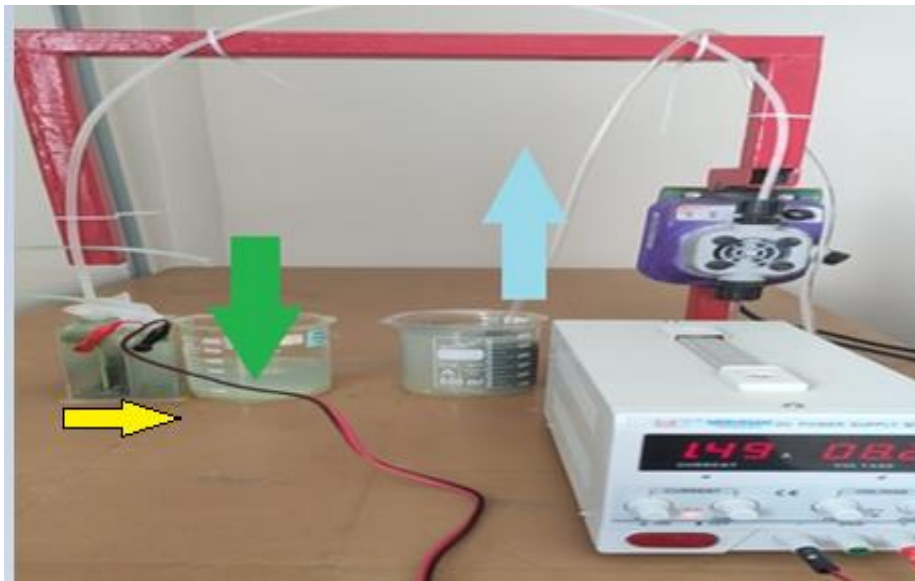
Kapalı çevrim deneyde Resim 3.7 de verilen deney düzeneği dışarıda sürekli olarak taze termal suyla beslenirken kapalı çevrim deneyde farklı olarak 30 dk boyunca devam eden deney iki aşamaya bölünmüştür iki aşamada gerçekleşmiştir. Ölçümler saf su deneylerindekiyle aynı süreçler işletilmiştir. Deney birer dakikalık periyotlar sonucunda TDS ve EC değerleri ölçülerek kaydedilmiştir. pH ve sıcaklık değişimleri beşer dakikalık periyotlarda ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Deney düzeneğindeki su seviyesi elektrot plaka ve çubukların altına düşmesine izin verilmemiştir. Su seviyesi elektrot seviyesinin altına düştüğünde deney düzeneğine su eklenip en son gerilim düzeyine kadar beklenip sonra tekrar su pompalanmaya başlanmıştır.

Deneye başladıktan sonra 1. Aşamada 15 dk boyunca deney düzeneği Resim 3.10'da görüldüğü gibi dışarıdan temiz termal suyla beslenmiştir. 2. aşamadaysa deney düzeneğinden elektroliz yapıp toplanan termal sular tekrar pompanın besleme haznesine konulup Resim 3.11'de görüldüğü gibi su deney düzeneğine geri pompalanmıştır.



Resim 3. 10 Kapalı devre çevrim termal su deney 1. Aşama

Kapalı çevrim deney düzeneği Resim 5.10’da verilmiştir. Bu düzenekte mavi okla gösterilen akış yönü kullanılan peristaltik pompanın emiş yaptığı rezervuar haznesidir. Mavi ok yönünde emiş yapılan su pompaya ulaştıktan sonra kırmızı ok yönünde borularla elektroliz ünitesinin içine basılmaktadır. İki bölmeli elektroliz ünitesine gelen su sarı ok yönünde pompanın debisiyle orantılı olarak akışla elektroliz yapılarak daha sonra yeşil ok yönünde biriktirme haznesine dolmaktadır.



Resim 3. 11 Kapalı devre çevrim termal su deney 2. aşama

Kapalı çevrim deney ikinci aşamasında Resim 3.10'da yeşil okla gösterilen elektrokoagülasyona tabi tutulan termal su Resim 3.11'de mavi okla gösterilen kısma konarak deney düzeneğine giden su bu rezervden beslenmiş ve bir kez daha elektroliz işlemine tabi tutulmuştur.

3.3.2.1 Kapalı Çevrim V2 Hızında Yapılan Deneyler

V2 hızında üç farklı amper akım uygulanan termal suda elde edilen analizler sonucunda TDS, EC, pH, sıcaklık, amper ve gerilime ait değişimler bulunmuştur Jeotermal suyla V2 hızında ve 0.5A akımda elektrokoagülasyon deneylerine başlamadan önce suya ait deney öncesi değerler ölçülmüş ve Çizelge 3.77'de gösterilmiştir.

Çizelge 3. 77 Termal suya ait V2 hızı 0.5A akım için deney öncesi yapılan ölçüm değerleri

EC ($\mu\text{S/cm}$)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	pH	Sıcaklık (°C)
4476	2110	0.5	4.6	4.57	18

Deney düzeneğine 0.5A akım uygulandığında parametrelerdeki oluşan değişim değerleri periyodik olarak ölçülerek Çizelge 3.78'de ki değerler elde edilmiştir.

Çizelge 3.78'de ki ölçüm değerleri üzerine istatistiksel çalışmalar yapılarak verilere ait ortalamalar ve yüzdesel değişimlerinin neler olduğu üzerine çalışmalar yapılmıştır. Termal suyla yapılan V2 pompa hızı ve 0.5A akıma ait elde edilen verilerden ortalama EC, TDS, Akım ve gerilim değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Deney başlamadan önce termal suya ait giriş ölçüm değerleri ile deney sonucunda periyot ölçümlerine ait değerler arasında ki yüzde değişimleri ölçülmüş olup Çizelge 3.79'da verilmiştir.

Çizelge 3. 78 çevrim V2 pompa hızında ve 0.5A akımda deney ölçüm değerleri

pH	Sıcaklık (°C)	Periyod Sayısı	E C (µs/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	$\bar{X}$ EC	$\bar{X}$ TDS	$\bar{X}$ Akım	$\bar{X}$ Volt
4.6	18.0	1.	4680	2135	0.50	4.6	4645.2	2175.8	0.5	4.6
		2.	4666	2222	0.50	4.6				
		3.	4520	2130	0.50	4.6				
		4.	4670	2189	0.50	4.6				
		5.	4690	2203	0.50	4.6				
		6.	4630	2206	0.50	4.6				
4.4	18.5	7.	4634	2203	0.50	4.6	4679.4	2206.8	0.5	4.6
		8.	4715	2175	0.50	4.6				
		9.	4665	2234	0.50	4.6				
		10.	4753	2216	0.50	4.6				
		11.	4670	2197	0.50	4.6				
		12.	4750	2207	0.50	4.6				
4.6	18.6	13.	4747	2205	0.50	4.6	4715.4	2212.6	0.5	4.6
		14.	4747	2222	0.50	4.6				
		15.	4663	2232	0.50	4.6				
		16.	4567	2140	0.50	4.6				
		17.	4660	2150	0.50	4.6				
		18.	4575	2152	0.50	4.6				
4.5	18.5	19.	4496	2158	0.50	4.6	4594.6	2158.4	0.5	4.6
		20.	4675	2192	0.50	4.5				
		21.	4682	2178	0.50	4.5				
		22.	4624	2211	0.50	4.5				
		23.	4688	2216	0.50	4.5				
		24.	4721	2170	0.50	4.5				
4.6	18.6	25.	4680	2217	0.50	4.5	4679.0	2198.4	0.5	4.5
		26.	4721	2216	0.50	4.5				
		27.	4630	2180	0.50	4.5				
		28.	4757	2235	0.50	4.5				
		29.	4681	2223	0.50	4.5				
		30.	4730	2220	0.50	4.5				

Çizelge 3. 79 Termal su V2 pompa hızı, 0.5A akımda standart sapma ve yüzde değişimleri

Σ EC	Σ TDS	Σ Akım Şiddeti (A)	Σ Gerilim (V)	% EC	% TDS	% Akım Şiddeti (A)	% Gerilim (V)
63.2	36.9	0.0	0.0	3.8	3.1	0.0	0.0
47.7	19.2	0.0	0.0	4.5	4.6	0.0	0.0
40.0	12.6	0.0	0.0	5.3	4.9	0.0	0.0
65.7	17.8	0.0	0.0	2.6	2.3	0.0	-0.4
31.2	20.2	0.0	0.0	4.5	4.2	0.0	-2.2
44.2	18.5	0.0	0.0	5.1	5.0	0.0	-2.2

Jeotermal suyla V2 hızında ve 1A akımda elektrokoagülasyon deneylerine başlamadan önce suya ait deney öncesi değerler ölçülmüş ve Çizelge 3.80’de gösterilmiştir.

Çizelge 3. 80 Termal suya ait V2 hızı 1A akım için deney öncesi yapılan ölçüm değerleri

EC (μ S/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	pH	Sıcaklık (°C)
4700	2190	1	6.7	5	20

Deney düzeneğine 1A akım uygulandığında TDS, EC, pH, sıcaklık, amper ve gerilime ait parametrelerdeki değişim değerleri periyodik ölçülerek Çizelge 3.81’de ki değerler elde edilmiştir.

Çizelge 3.81’de ki ölçüm değerleri üzerine istatistiksel çalışmalar yapılarak verilere ait ortalamalar ve yüzdesel değişimlerinin neler olduğu üzerine çalışmalar yapılmıştır. Termal suyla yapılan V2 pompa hızı ve 1A akıma ait elde edilen verilerden ortalama EC, TDS, Akım ve gerilim değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Deney başlamadan önce termal suya ait giriş ölçüm değerleri ile deney sonucunda periyot ölçümlerine ait değerler arasında ki yüzde değişimleri ölçülmüş olup Çizelge 3.82’de verilmiştir

Çizelge 3. 81 Kapalı çevrim V2 pompa hızında ve 1A akımda deney ölçüm değerleri

pH	Sıcaklık (°C)	Periyod Sayısı	E C (µs/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	$\bar{X}$ EC	$\bar{X}$ TDS	$\bar{X}$ Akım	$\bar{X}$ Volt
4.8	18.5	1.	4640	2240	1	6.6	4817.6	2267.0	1.0	6.6
		2.	4890	2294	1	6.6				
		3.	4826	2228	1	6.6				
		4.	4852	2290	1	6.6				
		5.	4880	2283	1	6.6				
		6.	4710	2272	1	6.6				
4.5	18.5	7.	4815	2258	1	6.6	4767.0	2249.6	1.0	6.6
		8.	4770	2260	1	6.6				
		9.	4780	2210	1	6.6				
		10.	4760	2248	1	6.6				
		11.	4782	2222	1	6.6				
		12.	4753	2250	1	6.6				
4.6	19.0	13.	4766	2235	1	6.5	4771.8	2231.8	1.0	6.5
		14.	4782	2200	1	6.5				
		15.	4776	2252	1	6.5				
		16.	4517	2100	1	6.5				
		17.	4716	2174	1	6.5				
		18.	4730	2235	1	6.5				
4.6	18.6	19.	4734	2196	1	6.5	4672.6	2187.0	1.0	6.5
		20.	4666	2230	1	6.5				
		21.	4740	2196	1	6.5				
		22.	4740	2228	1	6.5				
		23.	4760	2235	1	6.5				
		24.	4675	2235	1	6.5				
4.5	18.6	25.	4720	2300	1	6.5	4727.0	2238.8	1.0	6.5
		26.	4700	2232	1	6.5				
		27.	4712	2176	1	6.5				
		28.	4653	2221	1	6.5				
		29.	4721	2215	1	6.5				
		30.	4543	2220	1	6.5				

Çizelge 3. 82 Termal su V2 pompa hızı, 1A akımda standart sapma ve yüzde değişimleri

Σ EC	Σ TDS	Σ Akım Şiddeti (A)	Σ Gerilim (V)	% EC	% TDS	% Akım Şiddeti (A)	% Gerilim (V)
91.6	27.4	0.0	0.0	2.5	3.5	0.0	-1.5
34.0	21.2	0.0	0.0	1.4	2.7	0.0	-1.5
11.1	19.3	0.0	0.0	1.5	1.9	0.0	-2.4
81.5	48.9	0.0	0.0	-0.6	-0.1	0.0	-3.0
28.9	33.8	0.0	0.0	0.6	2.2	0.0	-3.0
65.7	19.2	0.0	0.0	-0.7	1.0	0.0	-3.0

Jeotermal suyla V2 hızında ve 1.5A akımda elektrokoagülasyon deneylerine başlamadan önce suya ait deney öncesi değerler ölçülmüş ve Çizelge 5.83’de gösterilmiştir.

Çizelge 3. 83 Termal suya ait V2 hızı 1.5A akım için deney öncesi ölçüm değerleri

EC (μ S/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	pH	Sıcaklık (°C)
4270	2010	1.5	9.2	5	22

Deney düzeneğine 1.5A akım uygulandığında TDS, EC, pH, sıcaklık, amper ve gerilime ait parametrelerdeki değişim değerleri periyodik ölçülerek Çizelge 3.84’deki değerler elde edilmiştir.

Çizelge 3.84’de ki ölçüm değerleri üzerine istatistiksel çalışmalar yapılarak verilere ait ortalamalar ve yüzdesel değişimlerinin neler olduğu üzerine Çizelge 3.845’de ki çalışmalar yapılmıştır. Termal suyla yapılan V2 pompa hızı ve 1.5A akıma ait elde edilen verilerden ortalama EC, TDS, Akım ve gerilim değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Çizelge 3. 84 Kapalı çevrim V2 pompa hızında ve 1.5A akımda deney ölçüm değerleri

pH	Sıcaklık (°C)	Periyod Sayısı	E C (µs/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	$\bar{X}$ EC	$\bar{X}$ TDS	$\bar{X}$ Akım	$\bar{X}$ Volt
5.1	17.5	1.	4416	1907	1.5	9	4383.6	2030.8	1.5	8.9
		2.	4267	2030	1.5	9				
		3.	4410	2060	1.5	8.9				
		4.	4450	2070	1.5	8.8				
		5.	4375	2087	1.5	8.8				
		6.	4390	2110	1.5	8.8				
4.9	17.5	7.	4566	2112	1.5	8.7	4541.2	2140.2	1.5	8.7
		8.	4570	2160	1.5	8.7				
		9.	4598	2154	1.5	8.7				
		10.	4582	2165	1.5	8.7				
		11.	4567	2134	1.5	8.6				
		12.	4603	2151	1.5	8.6				
5.0	17.3	13.	4611	2157	1.5	8.6	4602.2	2154.6	1.5	8.6
		14.	4598	2167	1.5	8.6				
		15.	4632	2164	1.5	8.6				
		16.	4585	2100	1.5	8.6				
		17.	4620	2142	1.5	8.5				
		18.	4575	2135	1.5	8.5				
5.0	17.5	19.	4627	2127	1.5	8.5	4619.8	2142.8	1.5	8.5
		20.	4692	2210	1.5	8.5				
		21.	4614	2200	1.5	8.5				
		22.	4630	2180	1.5	8.5				
		23.	4662	2173	1.5	8.4				
		24.	4630	2170	1.5	8.4				
5.0	17.5	25.	4600	2135	1.5	8.4	4627.2	2171.6	1.5	8.4
		26.	4617	2170	1.5	8.4				
		27.	4665	2163	1.5	8.4				
		28.	4636	2165	1.5	8.3				
		29.	4600	2154	1.5	8.3				
		30.	4540	2174	1.5	8.3				

Çizelge 3. 85 Termal su V2 pompa hızı, 1.5A akımda standart sapma ve yüzde değişimleri

Σ EC	Σ TDS	Σ Akım Şiddeti (A)	Σ Gerilim (V)	% EC	% TDS	% Akım Şiddeti (A)	% Gerilim (V)
63.0	64.6	0.0	0.1	2.7	1.0	0.0	-3.3
76.4	24.1	0.0	0.0	6.4	6.5	0.0	-5.2
21.1	11.7	0.0	0.0	7.8	7.2	0.0	-6.5
41.2	36.5	0.0	0.0	8.2	6.6	0.0	-7.4
20.7	21.1	0.0	0.0	8.4	8.0	0.0	-8.3
41.8	6.8	0.0	0.0	8.0	7.7	0.0	-9.3

5.3.2.2 Kapalı Çevrim V3 Hızında Yapılan Deneyler

V3 hızında üç farklı amper akım uygulanan termal suda elde edilen analizler sonucunda TDS, EC, pH, sıcaklık, amper ve gerilime ait değişimler bulunmuştur Jeotermal suyla V3 hızında ve 0.5A akımda elektrokoagülasyon deneylerine başlamadan önce suya ait deney öncesi değerler ölçülmüş ve Çizelge 3.86’da gösterilmiştir.

Çizelge 3. 86 Termal suya ait V3 hızı 0.5A akım için deney öncesi ölçüm değerleri

EC (μ S/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	pH	Sıcaklık (°C)
5086	2444	0.5	4.9	4.7	19

Deney düzeneğine 0.5A akım uygulandığında parametrelerdeki oluşan değişim değerleri periyodik olarak ölçülerek Çizelge 3.87’deki değerler elde edilmiştir. Çizelge 3.87’de ki ölçüm değerleri üzerine istatistiksel çalışmalar yapılarak verilere ait ortalamalar ve yüzdesel değişimlerinin neler olduğu üzerine çalışmalar yapılmıştır. Termal suyla yapılan V3 pompa hızı ve 0.5A akıma ait elde edilen verilerden ortalama EC, TDS, Akım ve gerilim değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Deney başlamadan önce termal suya ait giriş ölçüm değerleri ile deney sonucunda periyot ölçümlerine ait değerler arasında ki yüzde değişimleri ölçülmüş olup Çizelge 3.88’de verilmiştir.

Çizelge 3. 87 Kapalı çevrim V3 pompa hızında ve 0.5A akımda deney ölçüm değerleri

pH	Sıcaklık (°C)	Periyod Sayısı	E C (µs/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	$\bar{X}$ EC	$\bar{X}$ TDS	$\bar{X}$ Akım	$\bar{X}$ Volt
5.0	19.5	1.	4572	2122	0.5	4.9	4638.0	2166.4	0.5	4.9
		2.	4567	2151	0.5	4.9				
		3.	4643	2161	0.5	4.9				
		4.	4681	2192	0.5	5.0				
		5.	4727	2206	0.5	5.0				
		6.	4731	2210	0.5	5.0				
		7.	4751	2215	0.5	5.0				
4.7	19.5	8.	4779	2235	0.5	5.0	4757.0	2224.6	0.5	5.0
		9.	4764	2223	0.5	5.0				
		10.	4760	2240	0.5	5.0				
		11.	4770	2225	0.5	5.0				
		12.	4775	2240	0.5	5.0				
4.6	19.2	13.	4772	2220	0.5	5.0	4769.8	2232.6	0.5	5.0
		14.	4760	2250	0.5	5.0				
		15.	4772	2228	0.5	5.0				
		16.	4665	2212	0.5	5.0				
		17.	4717	2215	0.5	5.0				
4.8	19.5	18.	4746	2227	0.5	5.0	4682.0	2205.2	0.5	5.0
		19.	4632	2211	0.5	5.0				
		20.	4650	2161	0.5	5.0				
		21.	4587	2191	0.5	5.0				
		22.	4652	2187	0.5	5.0				
4.7	19.1	23.	4638	2186	0.5	4.9	4625.4	2187.4	0.5	4.9
		24.	4680	2183	0.5	4.9				
		25.	4570	2190	0.5	4.9				
		26.	4652	2205	0.5	4.9				
		27.	4620	2175	0.5	4.9				
4.7	19.1	28.	4652	2190	0.5	4.9	4643.4	2187.2	0.5	4.9
		29.	4643	2173	0.5	4.9				
		30.	4650	2193	0.5	4.9				

Çizelge 3. 88 Termal su V3 pompa hızı, 0.5A akımda standart sapma ve yüzde değişimleri

Σ EC	Σ TDS	Σ Akım Şiddeti (A)	Σ Gerilim (V)	% EC	% TDS	% Akım Şiddeti (A)	% Gerilim (V)
62.0	29.9	0.0	0.0	-8.8	-11.4	0.0	0.8
15.8	11.4	0.0	0.0	-6.5	-9.0	0.0	2.0
5.2	10.9	0.0	0.0	-6.2	-8.6	0.0	2.0
42.7	22.8	0.0	0.0	-7.9	-9.8	0.0	2.0
41.0	2.9	0.0	0.0	-9.1	-10.5	0.0	0.8
12.2	11.9	0.0	0.0	-8.7	-10.5	0.0	0.0

Jeotermal suyla V3 hızında ve 1A akımda elektrokoagülasyon deneylerine başlamadan önce suya ait deney öncesi değerler ölçülmüş ve Çizelge 3.89’da gösterilmiştir.

Çizelge 3. 89 Termal suya ait V3 hızı 1A akım için deney öncesi ölçüm değerleri

EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	pH	Sıcaklık (°C)
5120	2417	1	6.5	4.85	17.8

Deney düzeneğine 1A akım uygulandığında TDS, EC, pH, sıcaklık, amper ve gerilime ait parametrelerdeki değişim değerleri periyodik ölçülerek Çizelge 3.90’daki değerler elde edilmiştir.

Çizelge 3.90’da ki ölçüm değerleri üzerine istatistiksel çalışmalar yapılarak verilere ait ortalamalar ve yüzdesel değişimlerinin neler olduğu üzerine Çizelge 3.91’de çalışmalar yapılmıştır. Termal suyla yapılan V3 pompa hızı ve 1A akıma ait elde edilen verilerden ortalama EC, TDS, Akım ve gerilim değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Deney başlamadan önce termal suya ait giriş ölçüm değerleri ile deney sonucunda periyot ölçümlerine ait değerler arasında ki yüzde değişimleri ölçülmüş olup Çizelge 3.92’de verilmiştir.

Çizelge 3. 90 Kapalı çevrim V3 pompa hızında ve 1A akımda deney ölçüm değerleri

pH	Sıcaklık (°C)	Periyod Sayısı	E C (µs/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	$\bar{X}$ EC	$\bar{X}$ TDS	$\bar{X}$ Akım	$\bar{X}$ Volt
4.7	17.5	1.	4835	2242	1	6.5	4851.4	2291.0	1.0	6.5
		2.	4865	2293	1	6.5				
		3.	4796	2297	1	6.5				
		4.	4840	2315	1	6.5				
		5.	4921	2308	1	6.5				
		6.	4871	2294	1	6.4				
4.7	18.0	7.	4890	2280	1	6.4	4866.4	2275.8	1.0	6.4
		8.	4840	2300	1	6.4				
		9.	4894	2205	1	6.4				
		10.	4837	2300	1	6.3				
		11.	4863	2294	1	6.3				
		12.	4845	2280	1	6.3				
4.5	18.0	13.	4896	2281	1	6.3	4814.4	2292.2	1.0	6.3
		14.	4751	2296	1	6.3				
		15.	4717	2310	1	6.3				
		16.	4850	2245	1	6.3				
		17.	4871	2296	1	6.3				
		18.	4875	2238	1	6.3				
4.5	18.0	19.	4806	2288	1	6.3	4854.4	2268.6	1.0	6.3
		20.	4870	2276	1	6.3				
		21.	4743	2288	1	6.3				
		22.	4832	2235	1	6.3				
		23.	4857	2265	1	6.3				
		24.	4798	2273	1	6.3				
4.4	18.1	25.	4800	2265	1	6.3	4806.0	2265.2	1.0	6.3
		26.	4780	2262	1	6.3				
		27.	4718	2283	1	6.3				
		28.	4852	2254	1	6.3				
		29.	4780	2262	1	6.3				
		30.	4840	2252	1	6.3				

Çizelge 3. 91 Termal su V3 pompa hızı, 1A akımda standart sapma ve yüzde değişimleri

Σ EC	Σ TDS	Σ Akım Şiddeti (A)	Σ Gerilim (V)	% EC	% TDS	% Akım Şiddeti (A)	% Gerilim (V)
41.2	25.7	0.0	0.0	-5.2	-5.2	0.0	0.0
24.1	36.1	0.0	0.0	-5.0	-5.8	0.0	-1.8
68.5	11.0	0.0	0.0	-6.0	-5.2	0.0	-3.1
25.7	23.1	0.0	0.0	-5.2	-6.1	0.0	-3.1
38.3	17.3	0.0	0.0	-6.1	-6.3	0.0	-3.1
48.3	11.0	0.0	0.0	-6.4	-6.4	0.0	-3.1

Jeotermal suyla V3 hızında ve 1A akımda elektrokoagülasyon deneylerine başlamadan önce suya ait deney öncesi değerler ölçülmüş ve Çizelge 3.92’de gösterilmiştir.

Çizelge 3. 92 Termal suya ait V3 hızı 1.5A akım için deney öncesi ölçüm değerleri

EC (μ S/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	pH	Sıcaklık (°C)
4751	2243	1.5	8.5	5	19.3

Deney düzeneğine 1.5A akım uygulandığında TDS, EC, pH, sıcaklık, amper ve gerilime ait parametrelerdeki değişim değerleri periyodik ölçülerek Çizelge 3.93’deki değerler elde edilmiştir.

Çizelge 3.93’de ki ölçüm değerleri üzerine istatistiksel çalışmalar yapılarak verilere ait ortalamalar ve yüzdesel değişimlerinin neler olduğu üzerine Çizelge 3.94’de ki gibi çalışmalar yapılmıştır. Termal suyla yapılan V3 pompa hızı ve 1.5A akıma ait elde edilen verilerden ortalama EC, TDS, Akım ve gerilim değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Çizelge 3. 93 Kapalı çevrim V3 pompa hızında ve 1.5A akımda deney ölçüm değerleri

pH	Sıcaklık (°C)	Periyod Sayısı	E C (µs/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	$\bar{X}$ EC	$\bar{X}$ TDS	$\bar{X}$ Akım	$\bar{X}$ Volt
4.8	18.5	1.	4886	2221	1.5	8.4	4947.6	2299.0	1.5	8.3
		2.	4955	2322	1.5	8.4				
		3.	4970	2338	1.5	8.3				
		4.	4982	2274	1.5	8.3				
		5.	4945	2340	1.5	8.3				
		6.	4982	2330	1.5	8.3				
4.6	18.4	7.	4912	2332	1.5	8.3	4917.6	2324.0	1.5	8.3
		8.	4909	2300	1.5	8.3				
		9.	4835	2323	1.5	8.3				
		10.	4950	2335	1.5	8.3				
		11.	4860	2335	1.5	8.3				
		12.	4906	2306	1.5	8.3				
4.4	18.0	13.	4810	2300	1.5	8.3	4880.2	2311.0	1.5	8.3
		14.	4900	2297	1.5	8.3				
		15.	4925	2317	1.5	8.3				
		16.	4730	2200	1.5	8.3				
		17.	4860	2290	1.5	8.3				
		18.	4899	2297	1.5	8.3				
4.3	18.0	19.	4874	2305	1.5	8.3	4848.6	2275.0	1.5	8.3
		20.	4880	2283	1.5	8.3				
		21.	4840	2300	1.5	8.3				
		22.	4920	2270	1.5	8.3				
		23.	4876	2290	1.5	8.3				
		24.	4878	2289	1.5	8.3				
4.4	17.8	25.	4890	2300	1.5	8.3	4880.8	2289.8	1.5	8.3
		26.	4910	2313	1.5	8.3				
		27.	4850	2294	1.5	8.3				
		28.	4800	2296	1.5	8.3				
		29.	4905	2294	1.5	8.3				
		30.	4900	2320	1.5	8.3				

Çizelge 3. 94 Termal su V3 pompa hızı, 1.5 A akımda standart sapma ve yüzde değişimleri

Σ EC	Σ TDS	Σ Akım Şiddeti (A)	Σ Gerilim (V)	% EC	% TDS	% Akım Şiddeti (A)	% Gerilim (V)
33.3	45.7	0.0	0.0	4.1	2.5	0.0	-1.9
12.6	0.0	0.0	3.5	3.6	0.0	-2.4	12.6
41.0	13.8	0.0	0.0	2.7	3.0	0.0	-2.4
60.6	38.2	0.0	0.0	2.1	1.4	0.0	-2.4
25.8	11.0	0.0	0.0	2.7	2.1	0.0	-2.4
42.4	10.9	0.0	0.0	2.6	2.7	0.0	-2.4

3.3.2.3 Kapalı Çevrim Termal Su Deneylerinin Bileşik Analizi

Kapalı çevrim test çalışmaların da deney düzeneği 15 dk. boyunca dışardan temiz termal suyla beslenmiş sonraki 15 dk. Da elektroliz olmuş termal su deney düzeneğine pompalanmıştır. Uygulanan üç farklı akım değeri ve iki farklı pompa hızı sonucunda deney düzeneğinin davranışı çözümlenmeye çalışmıştır. Çizelge 3.95’de V2 hızına ve uygulanan üç farklı akım değerini bağlı elde edilen ortalama EC ve TDS değerleri tek bir tabloda özetlenerek gösterilmiştir. Çizelge 3.96’deyse V3 hızına ve uygulanan üç farklı akım değerini bağlı elde edilen ortalama EC ve TDS değerleri tek bir tabloda özetlenerek gösterilmiştir.

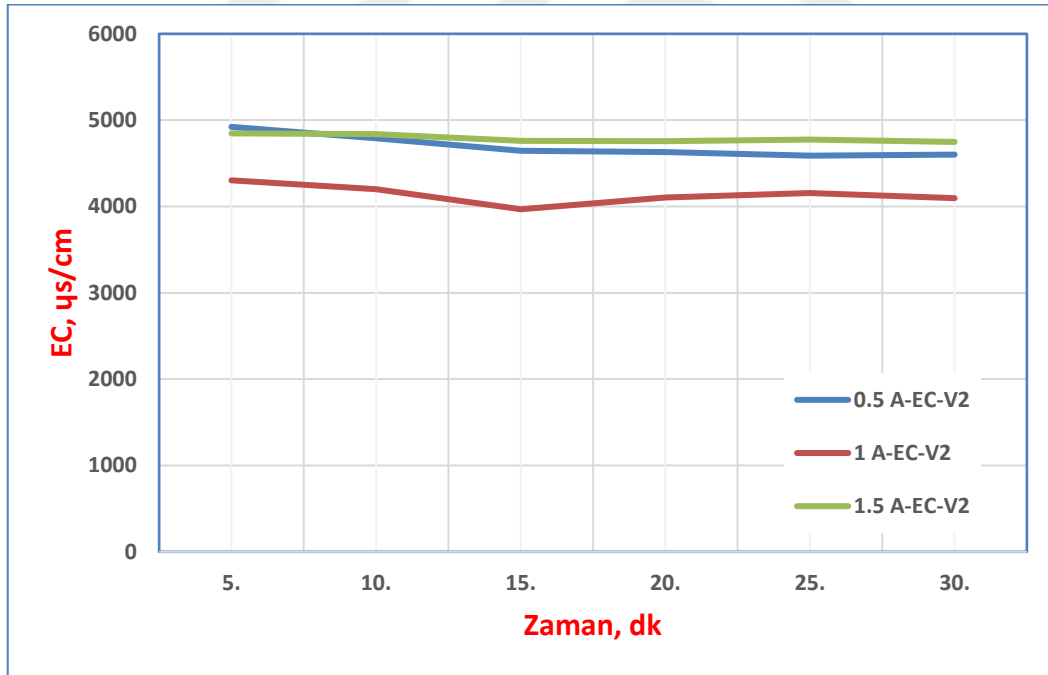
Çizelge 3. 95 Kapalı çevrim termal su V2 pompa hızında üç farklı akıma ait TDS-EC değişimi

Periyot	0.5 A TDS-V2	1 A TDS-V2	1.5 A TDS-V2	0.5 A EC-V2	1 A EC-V2	1.5 A EC-V2
1.	2176	2267	2031	4645	4818	4384
2.	2207	2250	2140	4679	4767	4541
3.	2213	2232	2155	4715	4772	4602
4.	2158	2187	2143	4595	4673	4620
5.	2198	2239	2172	4679	4727	4627
6.	2215	2213	2165	4704	4666	4612

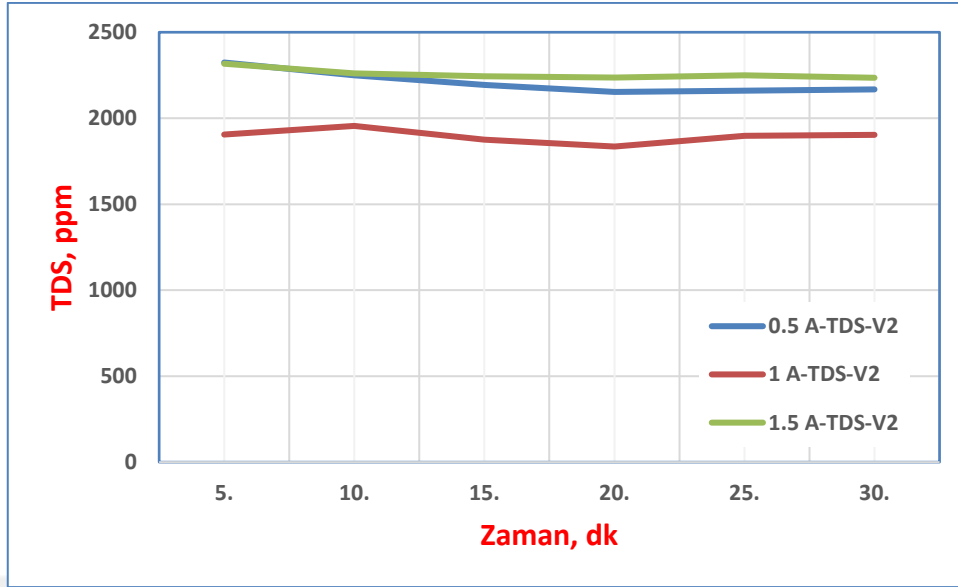
Çizelge 3. 96 Kapalı çevrim termal su V3 pompa hızında üç farklı akıma ait TDS-EC değişimi

Periyot	0.5 A TDS-V3	1 A TDS-V3	1.5 A TDS-V3	0.5 A EC-V3	1 A EC-V3	1.5 A EC-V3
1.	2166	2291	2299	4638	4851	4948
2.	2225	2276	2324	4757	4866	4918
3.	2233	2292	2311	4770	4814	4880
4.	2205	2269	2275	4682	4854	4849
5.	2187	2265	2290	4625	4806	4881
6.	2187	2263	2303	4643	4794	4873

Çizelge 3.96'daki deney sonrası elde edilen ortalama veriler esas alınarak sırasıyla V2 hızına bağlı Şekil 3.33'te ve Şekil 3.34'ta EC ve TDS değişimlerinin grafikleri gösterilmiştir.

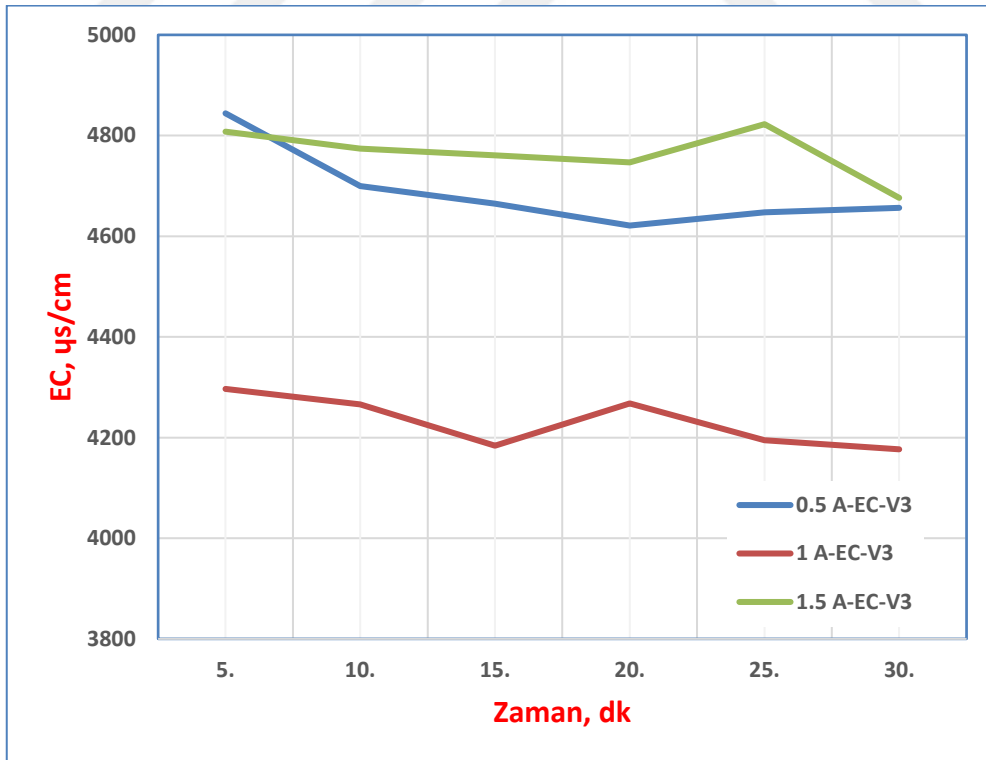


Şekil 3. 33 Kapalı çevrim V2 hızı ve akım değişimine EC değişim grafiği

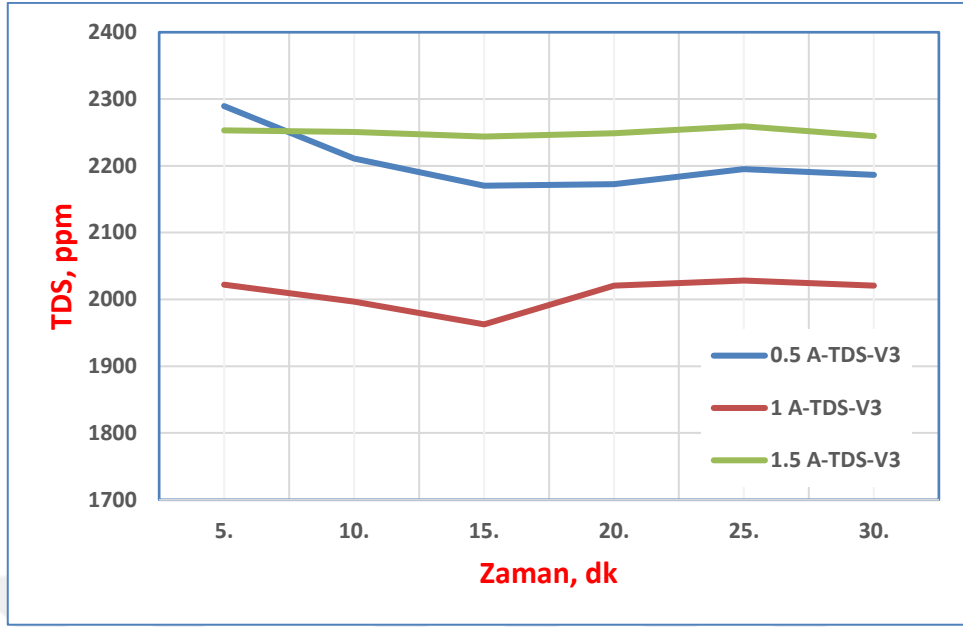


Şekil 3. 34 Kapalı çevrim V2 hızı ve akım değişimine TDS değişim grafiği

Çizelge 5.93'deki deney sonrası elde edilen ortalama veriler esas alınarak Şekil 5.35'de ve Şekil 5.36'te sırasıyla V3 hızına bağlı EC ve TDS değişimlerinin grafikleri gösterilmiştir.

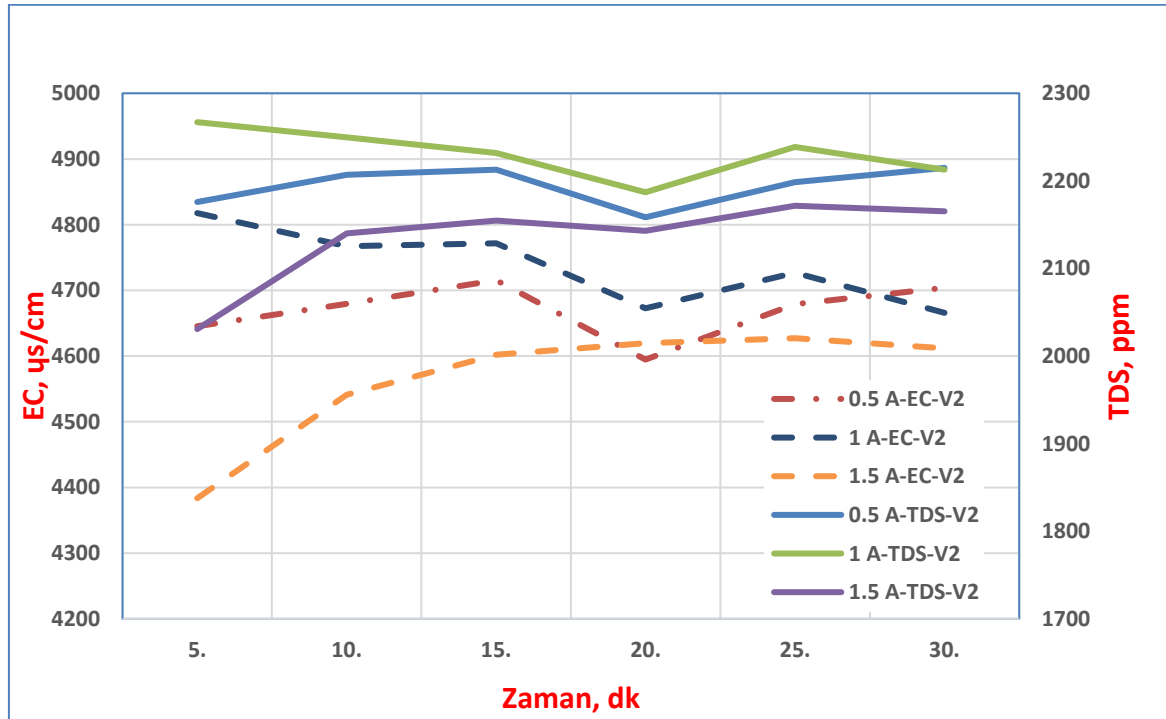


Şekil 3. 35 Kapalı çevrim V3 hızı ve akım değişimine EC değişim grafiği

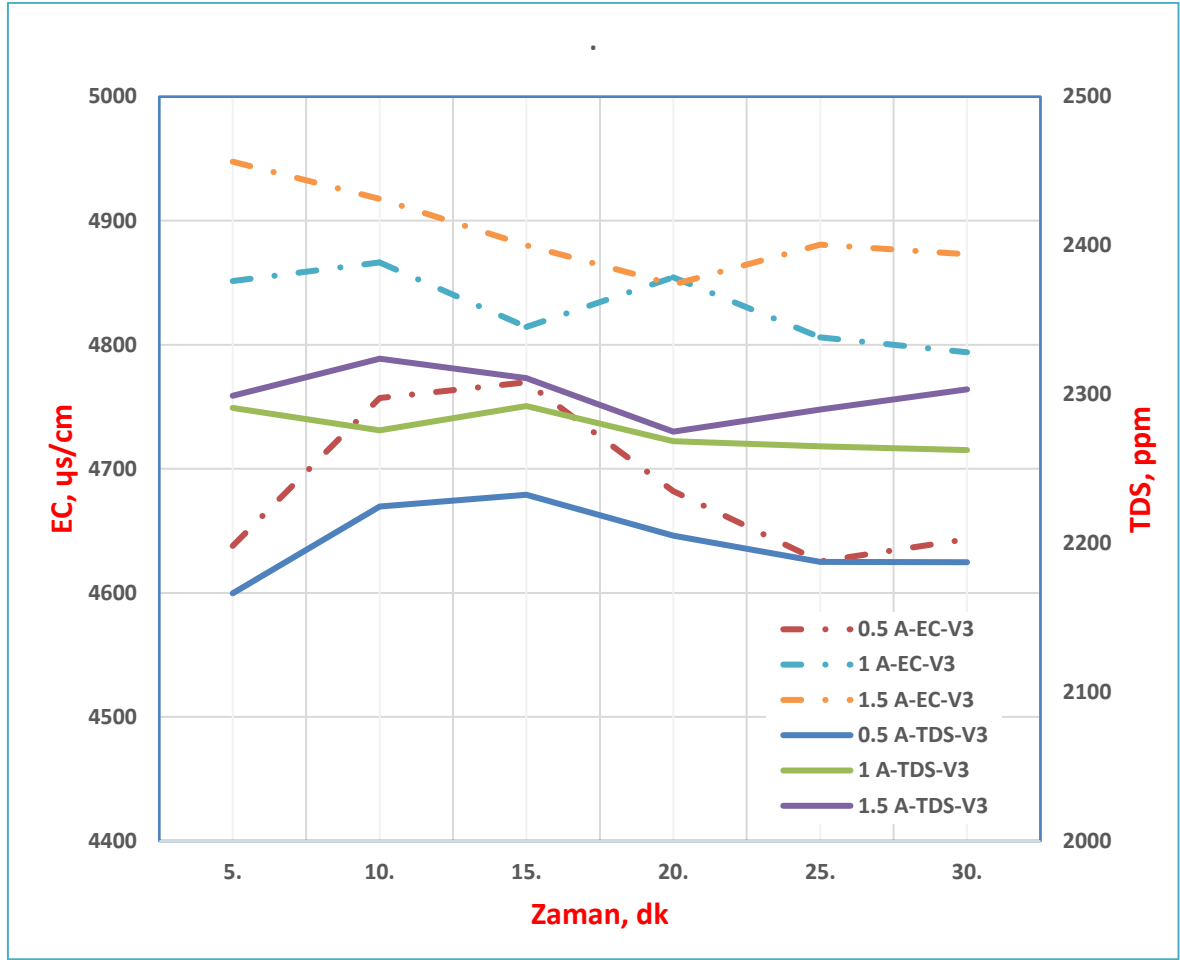


Şekil 3. 36 Kapalı çevrim V3 hızı ve akım değişimine TDS değişim grafiği

Şekil 3.37’da V2 hızı ve amper değişimine bağlı EC/TDS değişimleri tek bir grafikte gösterilirken Şekil 3.38’daysa V3 hızı ve amper değişimine bağlı EC/TDS değişimleri tek bir grafikte gösterilmiştir.



Şekil 3. 37 Kapalı çevrim V2 hızı ve amper değişimine bağlı EC/TDS değişimi



Şekil 3. 38 Kapalı çevrim V3 hızı ve amper değişimine bağlı EC/TDS değişimi

V2 hızında üç farklı akım yoğunluğu ve 2 farklı pompa hızda farklı bölgelerde çözeltinin değerleri ölçülmüştür. Aşağıdaki tablolarda Çizelge 3.97’de TDS değişimi Çizelge 3.98’de EC değişimleri verilmiştir.

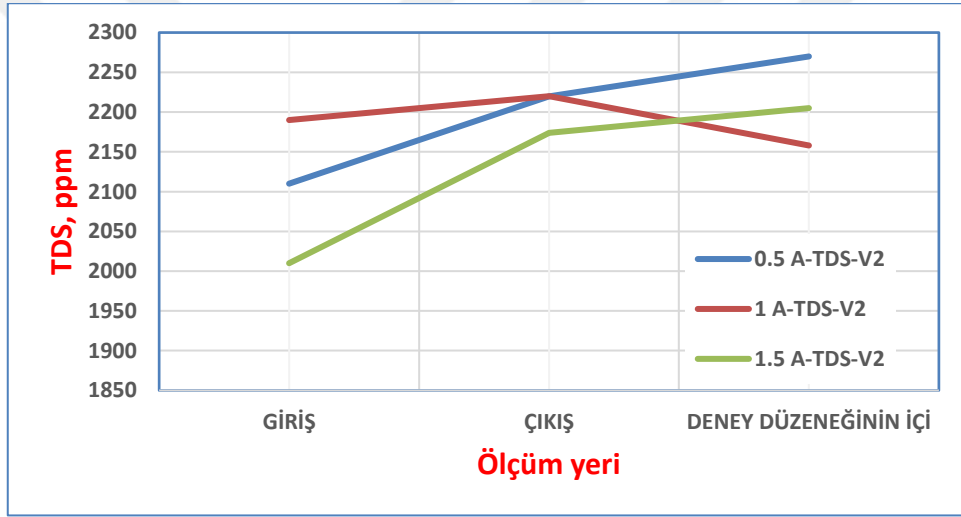
Çizelge 3. 97 Kapalı çevrim V2 hızına ait TDS değişim tablosu

Ölçüm Yeri	TDS-V2-0.5A	TDS-V2-1A	TDS-V2-1.5A
Giriş	2110	2190	2010
Çıkış	2220	2220	2174
Deney düzeneğinin içi	2270	2228	2205

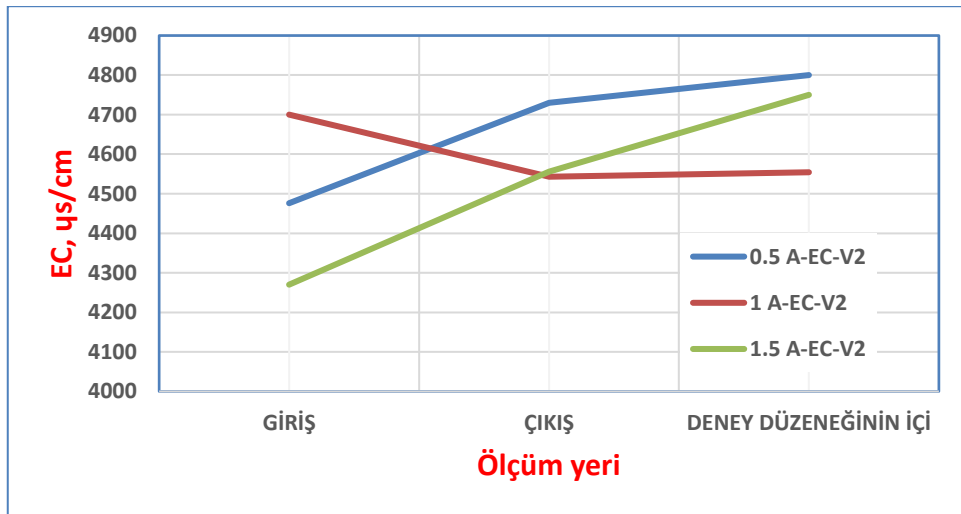
Çizelge 3. 98 Kapalı çevrim V2 hızına ait EC değişim tablosu

Ölçüm Yeri	EC-V2-0.5A	EC-V2-1A	EC-V2-1.5A
Giriş	4476	4700	4270
Çıkış	4730	4543	4556
Deney düzeneğinin içi	4800	4554	4750

Çizelge 3.97 ve Çizelge 3.98'deki değerlere göre Şekil 3.39'da TDS değişimlerine ait Şekil 3.40'da EC değişimlerine ait grafikleri verilmiştir.



Şekil 3. 39 Kapalı çevrim V2 hızına bağlı TDS değişim grafiği



Şekil 3. 40 Kapalı çevrim V2 hızına bağlı EC değişim grafiği

V3 hızında üç farklı akım yoğunluğu ve 2 farklı pompa hızında yapılan deneylerde deney öncesi giriş değerleriyle deney sonrasında çıkış değeri ve deney düzeneğinde içindeki çözeltinin değerleri ölçülmüştür.

Aşağıdaki tablolarda Çizelge 3.99’da TDS değişimi Çizelge 3.100’de EC değişimleri verilmiştir.

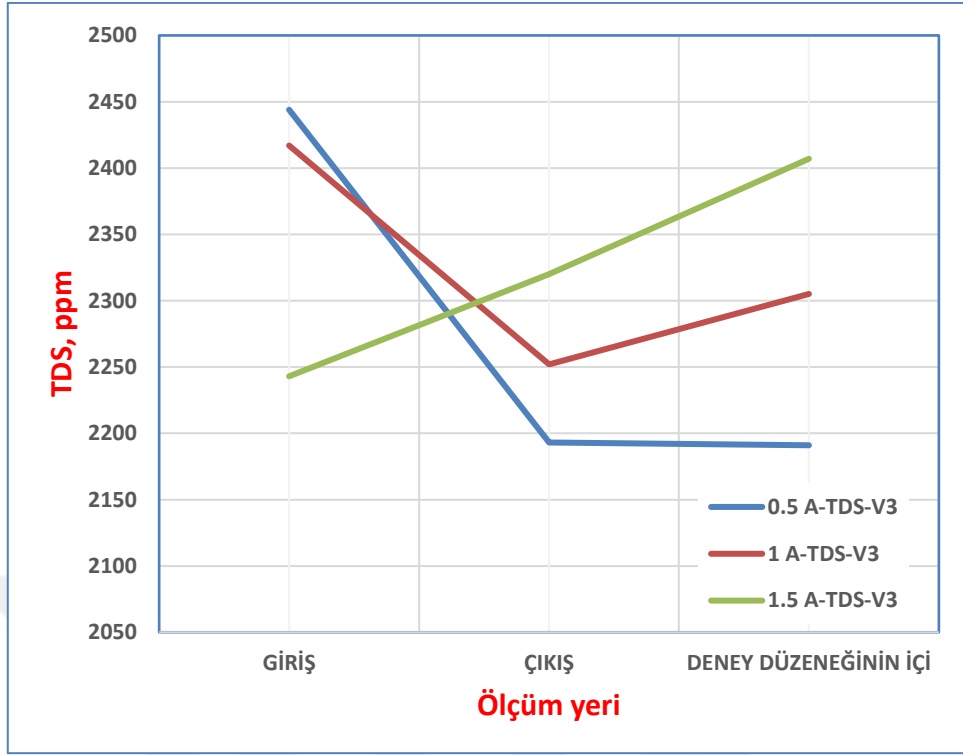
Çizelge 3. 99 Kapalı çevrim V3 hızına ait TDS değişim tablosu

Ölçüm Yeri	TDS-V3-0.5A	TDS-V3-1A	TDS-V3-1.5A
Giriş	2444	2417	2243
Çıkış	2193	2252	2320
Deney düzeneğinin içi	2191	2305	2407

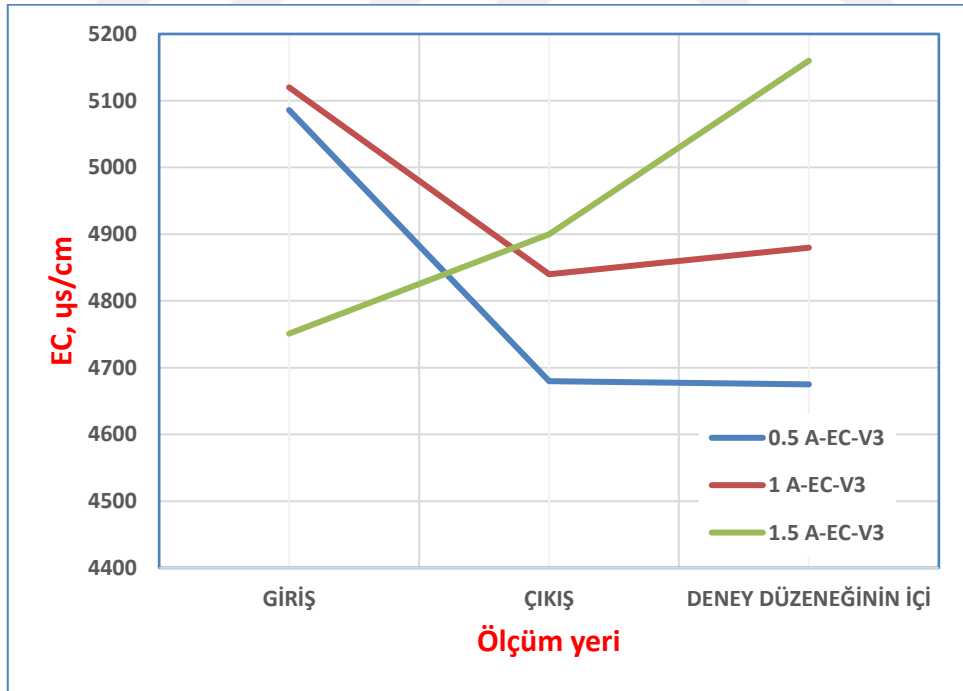
Çizelge 3. 100 Kapalı çevrim V3 hızına ait EC değişim tablosu

Ölçüm Yeri	EC-V3-0.5A	EC-V3-1A	EC-V3-1.5A
Giriş	5086	5120	4751
Çıkış	4680	4840	4900
Deney düzeneğinin içi	4685	4880	5160

Çizelge 3.99 ve Çizelge 3.100’deki değerlere göre Şekil 5.41’de TDS değişimlerine ait Şekil 5.42’de EC değişimlerine ait grafikleri verilmiştir.



Şekil 3. 41 Kapalı çevrim V3 hızına bağlı TDS değişim grafiği



Şekil 3. 42 Kapalı çevrim V3 hızına bağlı EC değişim grafiği

3.3.3 Deney Seti Karakterizasyonu İçin Yapılan Ek Deneyler

Şimdiye kadarki yaptığımız tüm çalışmaların amacı deney setini davranışını karakterize etmektir. Nihani ürün elde etmek için yapacağımız deneylere geçmeden hem açık çevrim için hem de kapalı çevrim için ara akım değerleri seçip deney setinin davranışını daha doğru yordamaya çalışmak.

3.3.3.1 Açık Çevrim Ek Deneyler

İlk etapta açık çevrim deneylerinde 0.75 A ve 1.25 A ara değer için deneyler yapılmış ve deney sonuçlarında grafikler oluşturulmuştur.

Jeotermal suyla açık çevrim V2 hızında 0.75 A akımda deneyleri yapılmıştır. Elektrokoagülasyon deneylerine başlamadan önce termal suya ait deney öncesi değerler ölçülmüş ve Çizelge 3.101’de gösterilmiştir.

Çizelge 3. 101 Termal suya ait V3 hızı 1.5A akım açık çevrim deney öncesi ölçüm değerleri

EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	pH	Sıcaklık (°C)
4450	2100	0.75	5.8	4.3	20

Çizelge 3. 102 Açık çevrim V2 pompa hızında ve 0.75 A akımda deney ölçüm değerleri

pH	Sıcaklık (°C)	Periyod Sayısı	E C (µs/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	$\bar{X}$ EC	$\bar{X}$ TDS	$\bar{X}$ Akım	$\bar{X}$ Volt
4.3	20.0	1.	4465	2060	0.75	5.8	4411.6	2074.2	0.75	5.7
		2.	4390	2070	0.75	5.8				
		3.	4395	2083	0.75	5.7				
		4.	4366	2083	0.75	5.7				
		5.	4442	2075	0.75	5.7				
		6.	4421	2078	0.75	5.7				
4.5	19.5	7.	4472	2047	0.75	5.7	4437.6	2077.8	0.75	5.7
		8.	4385	2080	0.75	5.7				
		9.	4468	2087	0.75	5.7				
		10.	4442	2097	0.75	5.7				
		11.	4510	2084	0.75	5.7				
		12.	4468	2125	0.75	5.7				
4.3	19.3	13.	4440	2092	0.75	5.6	4469.0	2098.0	0.75	5.6
		14.	4481	2080	0.75	5.6				
		15.	4446	2109	0.75	5.6				
		16.	4488	2112	0.75	5.5				
		17.	4492	2089	0.75	5.5				
		18.	4488	2105	0.75	5.5				
4.2	19.3	19.	4465	2120	0.75	5.5	4517.0	2109.2	0.75	5.5
		20.	4652	2120	0.75	5.5				
		21.	4540	2131	0.75	5.5				
		22.	4533	2135	0.75	5.5				
		23.	4567	2136	0.75	5.4				
		24.	4558	2120	0.75	5.4				
4.4	19.3	25.	4550	2118	0.75	5.4	4549.6	2128.0	0.75	5.4
		26.	4533	2112	0.75	5.4				
		27.	4530	2132	0.75	5.4				
		28.	4566	2122	0.75	5.4				
		29.	4557	2140	0.75	5.4				
		30.	4544	2125	0.75	5.4				

Deney düzeneğine 0.75 A akım uygulandığında TDS, EC, pH, sıcaklık, amper ve gerilime ait parametrelerdeki değişim değerleri periyodik ölçülerek Çizelge 3.100'deki değerler elde edilmiştir.

Çizelge 3.102'de ki ölçüm değerleri üzerine istatistiksel çalışmalar yapılarak verilere ait ortalamalar ve yüzdesel değişimlerinin neler olduğu üzerine çalışmalar Çizelge 3.103'de ki gibi yapılmıştır. Termal suyla yapılan V2 pompa hızı ve 0.75 A akıma ait elde edilen verilerden ortalama EC, TDS, Akım ve gerilim değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır

Çizelge 3. 103 Açık çevrim V2 pompa hızı, 0.75 A akımda standart sapma ve yüzde değişimleri

Σ EC	Σ TDS	Σ Akım Şiddeti (A)	Σ Gerilim (V)	% EC	% TDS	% Akım Şiddeti (A)	% Gerilim (V)
36.3	8.7	0.0	0.0	-0.9	-1.2	0.0	-1.0
32.2	16.8	0.0	0.0	-0.3	-1.1	0.0	-1.7
25.3	16.8	0.0	0.0	0.4	-0.1	0.0	-2.8
68.2	11.5	0.0	0.0	1.5	0.4	0.0	-5.2
12.2	7.6	0.0	0.0	2.2	1.3	0.0	-6.2
13.8	9.4	0.0	0.0	2.2	1.2	0.0	-6.9

Jeotermal suyla açık çevrim V2 hızında 1.25 A akımda deneyleri yapılmıştır. Elektrokoagülasyon deneylerine başlamadan önce termal suya ait deney öncesi değerler ölçülmüş ve Çizelge 3.104'de gösterilmiştir.

Çizelge 3. 104 Termal suya ait V2 hızı 1.25 A akım açık çevrim deney öncesi ölçüm değerleri

EC (μ S/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	pH	Sıcaklık (°C)
4640	2155	1.25	7.3	4.8	20

Çizelge 3. 105 Açık çevrim V2 pompa hızında ve 1.25 A akımda deney ölçüm değerleri

pH	Sıcaklık (°C)	Periyod Sayısı	E C (µs/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	$\bar{X}$ EC	$\bar{X}$ TDS	$\bar{X}$ Akım	$\bar{X}$ Volt
4.8	20.5	1.	4296	2020	1.25	7.1	4400.0	2077.6	1.25	7.08
		2.	4360	2050	1.25	7.1				
		3.	4452	2110	1.25	7.1				
		4.	4440	2100	1.25	7.1				
		5.	4452	2108	1.25	7.0				
		6.	4485	2095	1.25	7.0				
4.8	20.3	7.	4496	2091	1.25	6.9	4496.2	2106.2	1.25	6.92
		8.	4472	2112	1.25	6.9				
		9.	4517	2108	1.25	6.9				
		10.	4511	2125	1.25	6.9				
		11.	4520	2116	1.25	6.9				
		12.	4457	2117	1.25	6.9				
4.7	20	13.	4511	2128	1.25	6.9	4506.0	2113.8	1.25	6.88
		14.	4530	2112	1.25	6.9				
		15.	4512	2096	1.25	6.8				
		16.	4520	2136	1.25	6.8				
		17.	4560	2128	1.25	6.8				
		18.	4510	2145	1.25	6.7	4540.8	2135.8	1.25	6.74
4.7	20.3	19.	4557	2140	1.25	6.7				
		20.	4557	2130	1.25	6.7				
		21.	4479	2144	1.25	6.7				
		22.	4514	2095	1.25	6.7				
		23.	4535	2138	1.25	6.7	4517.0	2126.6	1.25	6.70
4.7	20.3	24.	4543	2118	1.25	6.7				
		25.	4514	2138	1.25	6.7				
		26.	4512	2108	1.25	6.7				
		27.	4512	2120	1.25	6.7				
		28.	4510	2120	1.25	6.7	4512.6	2113.4	1.25	6.70
4.6	20.3	29.	4517	2115	1.25	6.7				
		30.	4512	2104	1.25	6.7				

Deney düzeneğine 1.25 A akım uygulandığında TDS, EC, pH, sıcaklık, amper ve gerilime ait parametrelerdeki değişim değerleri periyodik ölçülerek Çizelge 3.105'deki değerler elde edilmiştir.

Çizelge 3.105'de ki ölçüm değerleri üzerine istatistiksel çalışmalar yapılarak verilere ait ortalamalar ve yüzdesel değişimlerinin neler olduğu üzerine Çizelge 3.106'da ki gibi çalışmalar yapılmıştır. Termal suyla yapılan V2 pompa hızı ve 1.25 A akıma ait elde edilen verilerden ortalama EC, TDS, Akım ve gerilim değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır

Çizelge 3. 106 Açık çevrim V2 pompa hızı, 1.25 A akımda standart sapma ve yüzde değişimleri

Σ EC	Σ TDS	Σ Akım Şiddeti (A)	Σ Gerilim (V)	% EC	% TDS	% Akım Şiddeti (A)	% Gerilim (V)
62.3	36.2	0.0	0.0	-5.1	-3.5	0.0	-3.0
16.5	12.2	0.0	0.0	-3.1	-2.2	0.0	-5.2
25.4	10.3	0.0	0.0	-2.8	-1.9	0.0	-5.7
21.3	6.2	0.0	0.0	-2.1	-0.8	0.0	-7.6
22.1	18.0	0.0	0.0	-2.6	-1.3	0.0	-8.2
2.3	6.4	0.0	0.0	-2.7	-1.9	0.0	-8.2

Jeotermal suyla açık çevrim V3 hızında 0.75 A akımda deneyleri yapılmıştır. Elektrokoagülasyon deneylerine başlamadan önce termal suya ait deney öncesi değerler ölçülmüş ve Çizelge 3.107'de gösterilmiştir.

Çizelge 3. 107 Termal suya ait V3 hızı 0.75 A akım açık çevrim deney öncesi ölçüm değerleri

EC (μ s/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	pH	Sıcaklık (°C)
4530	2143	0.75	5.8	4.7	20

Çizelge 3. 108 Açık çevrim V3 pompa hızında ve 0.75 A akımda deney ölçüm değerleri

pH	Sıcaklık (°C)	Periyod Sayısı	E C (µs/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	$\bar{X}$ EC	$\bar{X}$ TDS	$\bar{X}$ Akım	$\bar{X}$ Volt
4.4	18.0	1.	4530	2330	0.75	5.8	4531.0	2289.4	0.8	5.6
		2.	4444	2317	0.75	5.6				
		3.	4560	2304	0.75	5.6				
		4.	4567	2250	0.75	5.6				
		5.	4554	2246	0.75	5.6				
		6.	4575	2228	0.75	5.6				
4.4	18.2	7.	4528	2205	0.75	5.6	4526.4	2210.8	0.8	5.5
		8.	4508	2227	0.75	5.5				
		9.	4511	2196	0.75	5.5				
		10.	4510	2198	0.75	5.5				
		11.	4460	2194	0.75	5.5				
		12.	4488	2208	0.75	5.5				
4.6	18.4	13.	4514	2128	0.75	5.4	4492.0	2170.2	0.8	5.4
		14.	4520	2196	0.75	5.4				
		15.	4478	2125	0.75	5.4				
		16.	4509	2164	0.75	5.4				
		17.	4527	2180	0.75	5.4				
		18.	4520	2182	0.75	5.4				
4.6	18.4	19.	4481	2160	0.75	5.4	4502.6	2172.6	0.8	5.4
		20.	4476	2177	0.75	5.4				
		21.	4514	2185	0.75	5.4				
		22.	4509	2210	0.75	5.4				
		23.	4437	2174	0.75	5.4				
		24.	4483	2206	0.75	5.4				
4.7	18.5	25.	4452	2200	0.75	5.4	4479.0	2195.0	0.8	5.4
		26.	4490	2190	0.75	5.4				
		27.	4457	2184	0.75	5.4				
		28.	4483	2190	0.75	5.4				
		29.	4472	2188	0.75	5.4				
		30.	4510	2180	0.75	5.4				

Çizelge 3. 109 Açık çevrim V3 pompa hızı, 0.75 A akımda standart sapma ve yüzde değişimleri

Σ EC	Σ TDS	Σ Akım Şiddeti (A)	Σ Gerilim (V)	% EC	% TDS	% Akım Şiddeti (A)	% Gerilim (V)
45.2	34.8	0.0	0.1	0.0	6.8	0.0	-2.8
25.3	14.0	0.0	0.0	-0.1	3.2	0.0	-4.5
22.4	36.0	0.0	0.0	-0.8	1.3	0.0	-6.2
20.6	8.9	0.0	0.0	-0.6	1.4	0.0	-6.9
30.4	13.5	0.0	0.0	-1.1	2.4	0.0	-6.9
17.7	3.9	0.0	0.0	-1.1	2.0	0.0	-6.9

Deney düzeneğine 0.75 A akım uygulandığında TDS, EC, pH, sıcaklık, amper ve gerilime ait parametrelerdeki değişim değerleri periyodik ölçülerek Çizelge 3.108'daki değerler elde edilmiştir.

Çizelge 3.108'de ki ölçüm değerleri üzerine istatistiksel çalışmalar yapılarak verilere ait ortalamalar ve yüzdesel değişimlerinin neler olduğu üzerine Çizelge 3.109'de ki gibi elde edilmiştir. Termal suyla yapılan V2 pompa hızı ve 0.75 A akıma ait elde edilen verilerden ortalama EC, TDS, Akım ve gerilim değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Jeotermal suyla açık çevrim V3 hızında 1.25 A akımda deneyleri yapılmıştır. Elektrokoagülasyon deneylerine başlamadan önce termal suya ait deney öncesi değerler ölçülmüş ve Çizelge 3.110'da gösterilmiştir.

Çizelge 3. 110 Termal suya ait V3 hızı 1.25 A akım açık çevrim deney öncesi ölçüm değerleri

EC (μ S/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	pH	Sıcaklık (°C)
4540	2150	1.25	7.2	4.8	21

Çizelge 3. 111 Açık çevrim V3 pompa hızında ve 1.25 A akımda deney ölçüm değerleri

pH	Sıcaklık (°C)	Periyod Sayısı	E C (µs/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	$\bar{X}$ EC	$\bar{X}$ TDS	$\bar{X}$ Akım	$\bar{X}$ Volt
4.8	20.5	1.	4416	2115	1.25	7.1	4505.8	2134.0	1.3	7.1
		2.	4496	2145	1.25	7.1				
		3.	4500	2144	1.25	7.1				
		4.	4563	2125	1.25	7.1				
		5.	4554	2141	1.25	7.0				
		6.	4570	2139	1.25	7.0				
4.8	20.5	7.	4569	2163	1.25	7.0	4572.0	2150.2	1.3	7.0
		8.	4601	2157	1.25	7.0				
		9.	4543	2144	1.25	7.0				
		10.	4577	2148	1.25	7.0				
		11.	4488	2160	1.25	7.0				
		12.	4560	2100	1.25	6.9				
4.7	20.3	13.	4543	2144	1.25	6.9	4539.4	2193.0	1.3	6.9
		14.	4560	2120	1.25	6.9				
		15.	4546	2441	1.25	6.9				
		16.	4550	2234	1.25	6.8				
		17.	4440	2117	1.25	6.8				
		18.	4580	2127	1.25	6.8				
4.7	20.3	19.	4498	2141	1.25	6.8	4522.2	2147.4	1.3	6.8
		20.	4543	2118	1.25	6.8				
		21.	4543	2137	1.25	6.8				
		22.	4538	2114	1.25	6.8				
		23.	4535	2107	1.25	6.8				
		24.	4572	2148	1.25	6.8				
4.6	20.3	25.	4551	2118	1.25	6.8	4547.8	2124.8	1.3	6.8
		26.	4543	2120	1.25	6.8				
		27.	4564	2128	1.25	6.8				
		28.	4551	2140	1.25	6.8				
		29.	4544	2137	1.25	6.8				
		30.	4540	2130	1.25	6.8				

Çizelge 3. 112 Açık çevrim V3 pompa hızı, 1.25 A akımda standart sapma ve yüzde değişimleri

Σ EC	Σ TDS	Σ Akım Şiddeti (A)	Σ Gerilim (V)	% EC	% TDS	% Akım Şiddeti (A)	% Gerilim (V)
52.51	11.9	0.0	0.0	-0.8	-0.7	0.0	-1.7
18.55	8.7	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	-2.8
26.64	125.7	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	-3.9
48.76	44.1	0.0	0.0	-0.4	-0.1	0.0	-5.6
13.26	15.3	0.0	0.0	0.2	-1.2	0.0	-5.6
8.59	7.0	0.0	0.0	0.2	-0.9	0.0	-5.6

Deney düzeneğine 1.25 A akım uygulandığında TDS, EC, pH, sıcaklık, amper ve gerilime ait parametrelerdeki değişim değerleri periyodik ölçülerek Çizelge 3.111’de ki değerler elde edilmiştir.

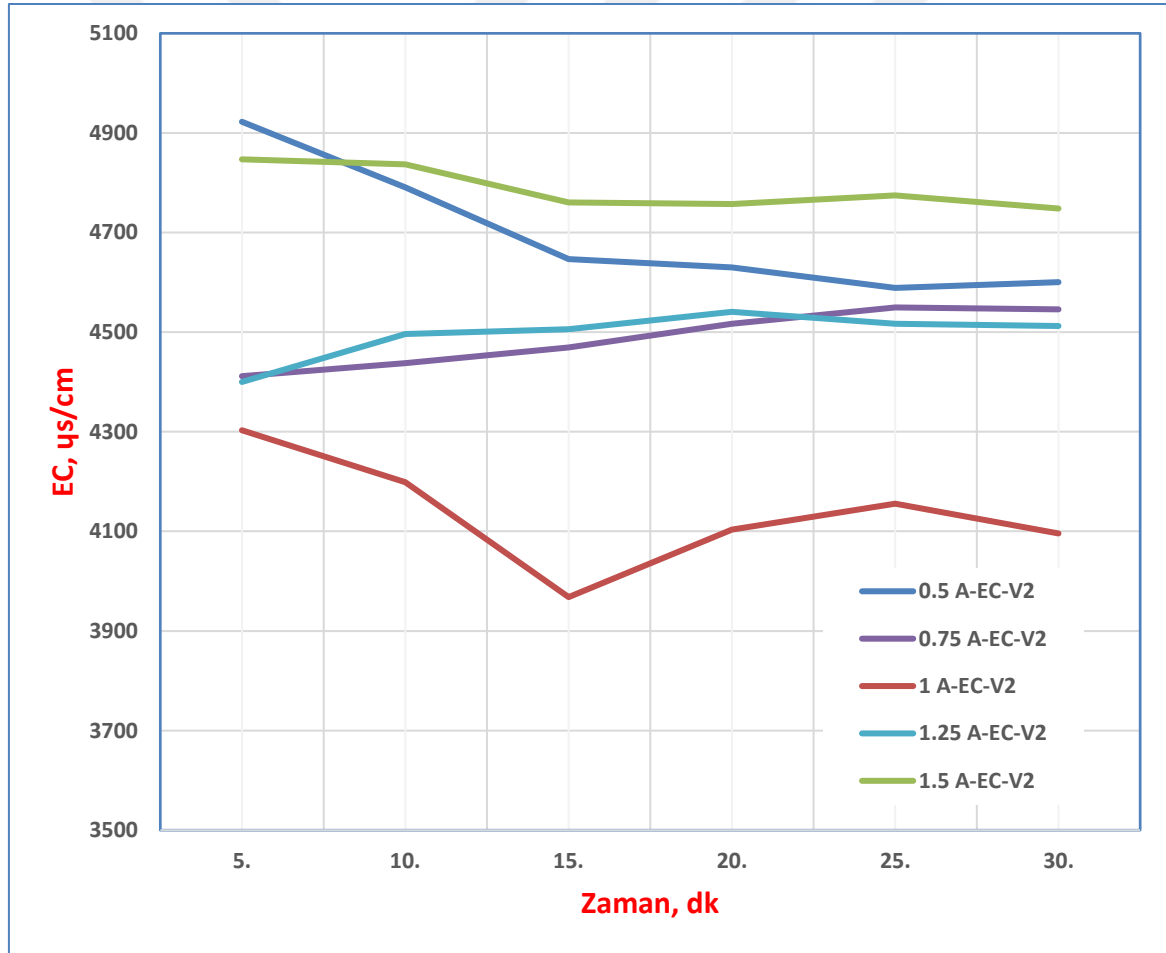
Çizelge 3.111’de ki ölçüm değerleri üzerine istatistiksel çalışmalar yapılarak verilere ait ortalamalar ve yüzdesel değişimlerinin neler olduğu üzerine Çizelge 3.112’de ki gibi çalışmalar yapılmıştır. Termal suyla yapılan V3 pompa hızı ve 1.25 A akıma ait elde edilen verilerden ortalama EC, TDS, Akım ve gerilim değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Açık çevrim termal su deneylerinde V2 ve V3 pompa hızlarında uygulanan 0.75 A ve 1.25 A’lık akımlar sonucunda elde edilen veriler tek bir tabloda özetlenerek elde edilen TDS ve EC değişimlerinin ortalamaları Çizelge 3.113’te bir tabloda verilmiştir.

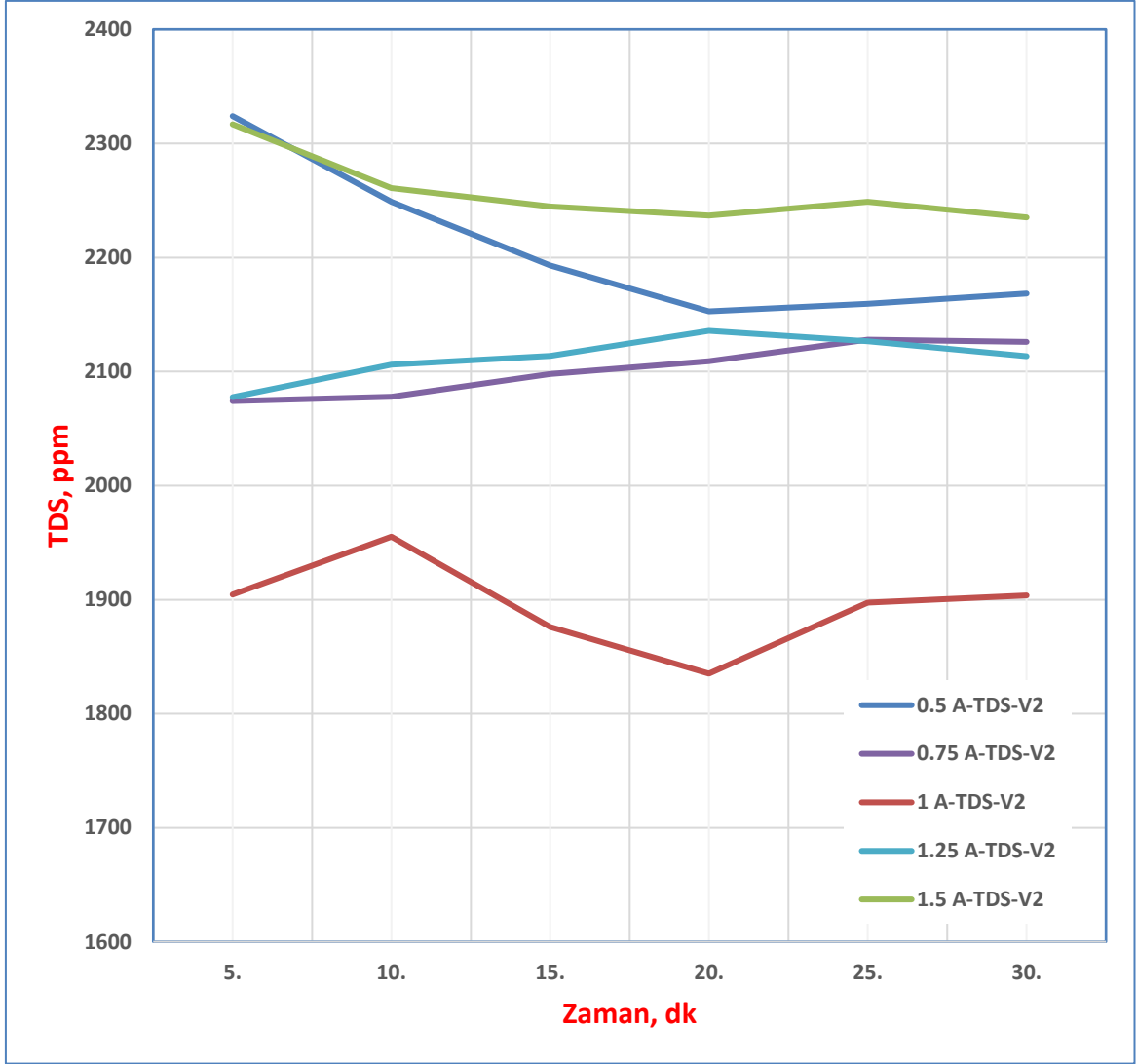
Daha önce açık çevrim V2 hızında ki 0.5 A, 1 A, 1.5 A akım değerlerine göre grafikler daha önce elde edilmişti. Son yapılan 0.75 A ve 1.25 A deneylerinde elde edilen verilerin dayanarak Şekil 3.43’te EC ve Şekil 3.44’de TDS değişimleri gösterilmiştir.

Çizelge 3. 113 Açık çevrim termal su V2 ve V3 pompa hızında iki farklı akıma ait TDS-EC değişimi

Periyot	0.75 A TDS-V2	0.75 A TDS-V3	1.25 A TDS-V2	1.25 A TDS-V3	0.75 A EC-V2	0.75 A EC-V3	1.25 A EC-V2	1.25 A EC-V3
1.	2074	2289	2078	2134	4412	4531	4400	4506
2.	2078	2211	2106	2150	4438	4526	4496	4572
3.	2098	2170	2114	2193	4469	4492	4506	4539
4.	2109	2173	2136	2147	4517	4503	4541	4522
5.	2128	2195	2127	2125	4550	4479	4517	4548
6.	2126	2186	2113	2131	4546	4482	4513	4548



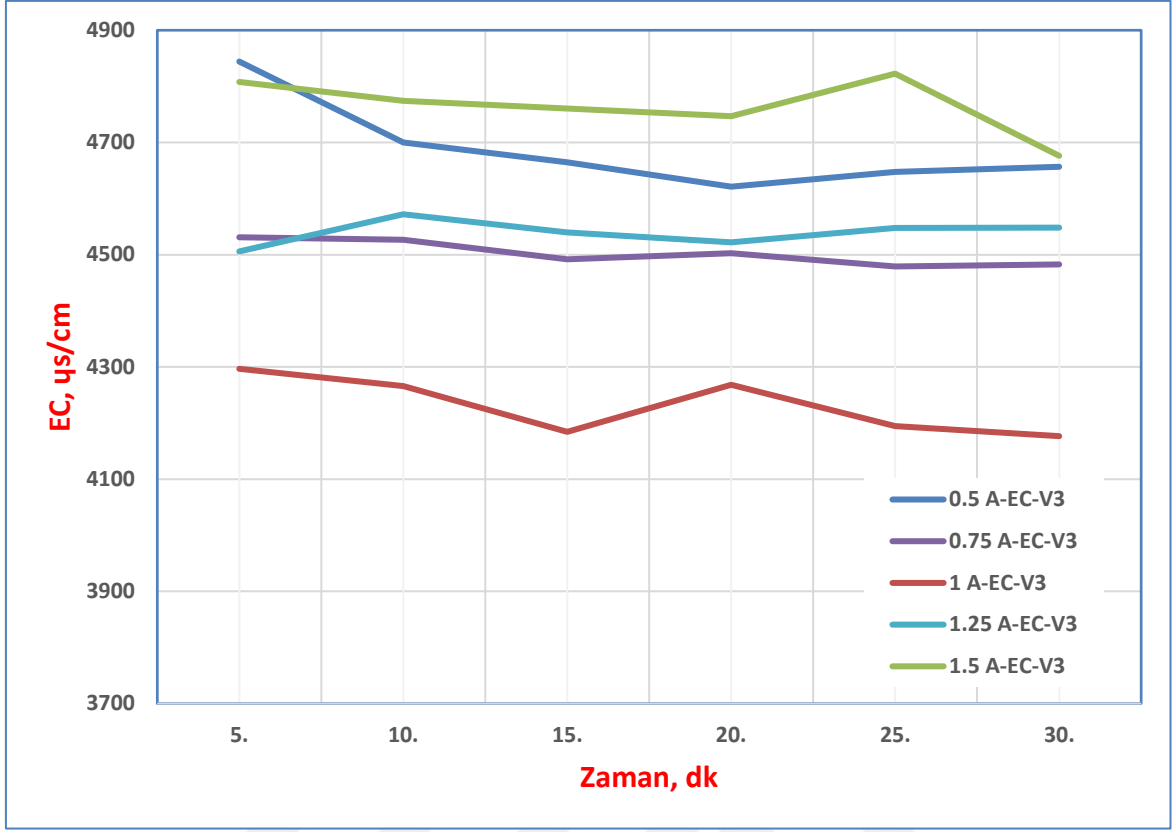
Şekil 3. 43 Açık çevrim V2 hızında beş akım değerine ait EC değişim grafiği



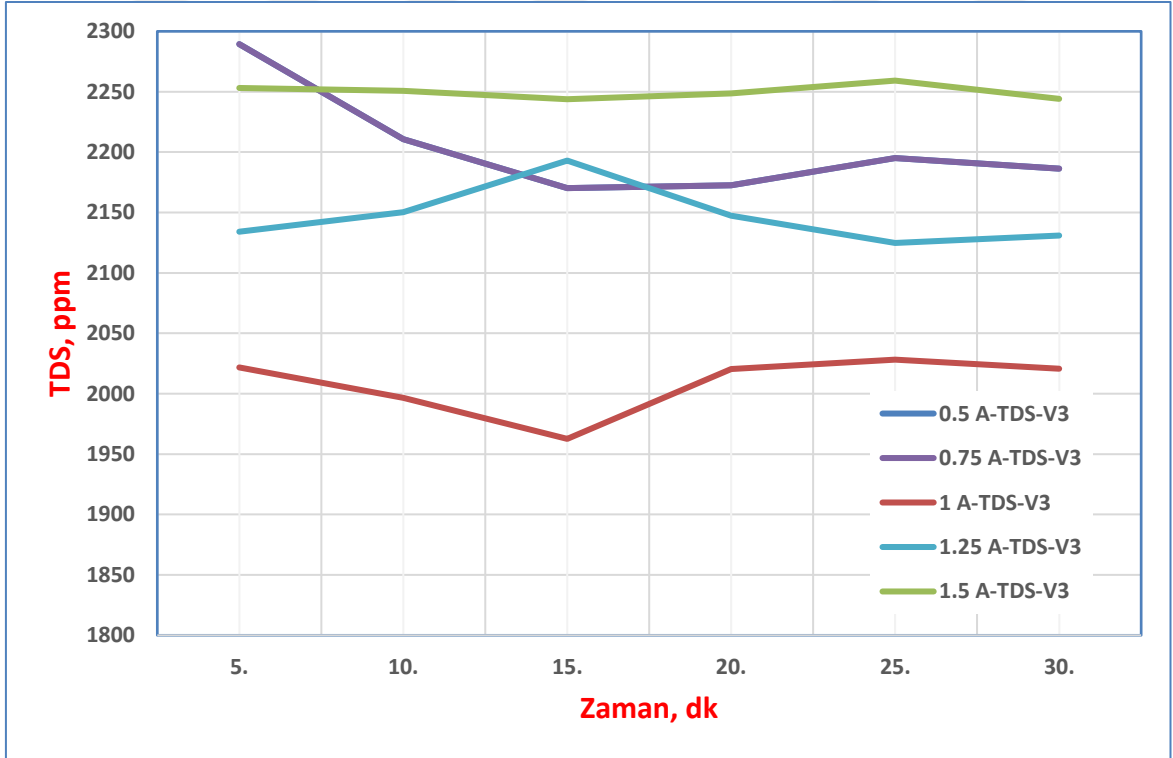
Şekil 3. 44 Açık çevrim V2 hızında beş akım değerine ait TDS değişim grafiği

Daha önce açık çevrim V3 hızında ki 0.5 A, 1 A, 1.5 A akım değerlerine göre grafikler daha önce elde edilmiştir. Bu deneylere ek olarak açık çevrim olarak yapılan 0.75 A ve 1.25 A deneyleri de yapılmıştır.

Bu çizelgelerden elde edilen ortalama veriler esas alınarak Şekil 3.45’de ve Şekil 3.46’da sırasıyla V3 hızına bağlı uygulanan 5 farklı amperdeki EC ve TDS değişimleri tek bir grafikte gösterilmiştir.



Şekil 3. 45 Açık çevrim V3 hızında beş akım değerine ait EC değişim grafiği



Şekil 3. 46 Açık çevrim V3 hızında beş akım değerine ait TDS değişim grafiği

3.3.3.2 Kapalı Çevrim Ek Deneyler

İlk etapta kapalı çevrim deneylerinde 0.75 A ve 1.25 A ara değer için deneyler yapılmış ve deney sonuçlarında grafikler oluşturulmuştur. Jeotermal suyla kapalı çevrim V2 hızında 0.75 A akımda deneyleri yapılmıştır.

Elektrokoagülasyon deneylerine başlamadan önce termal suya ait deney öncesi değerler ölçülmüş ve Çizelge 3.114’de gösterilmiştir.

Çizelge 3. 114 Termal suya ait V2 hızı 0.75 A akım kapalı çevrim deney öncesi ölçüm değerleri

EC ($\mu\text{S/cm}$)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	pH	Sıcaklık (°C)
4750	2200	0.75	6.8	4.74	18

Deney düzeneğine 0.75 A akım uygulandığında TDS, EC, pH, sıcaklık, amper ve gerilime ait parametrelerdeki değişim değerleri periyodik ölçülerek Çizelge 3.115’de ki değerler elde edilmiştir.

Çizelge 3.115’de ki ölçüm değerleri üzerine istatistiksel çalışmalar yapılarak verilere ait ortalamalar ve yüzdesel değişimlerinin neler olduğu üzerine Çizelge 3.116’da ki gibi çalışmalar yapılmıştır.

Termal suyla yapılan V2 pompa hızı ve 0.75 A akıma ait elde edilen verilerden ortalama EC, TDS, Akım ve gerilim değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Çizelge 3. 115 Kapalı çevrim V2 pompa hızında ve 0.75 A akımda deney ölçüm değerleri

pH	Sıcaklık (°C)	Periyod Sayısı	E C (µs/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	$\bar{X}$ EC	$\bar{X}$ TDS	$\bar{X}$ Akım	$\bar{X}$ Volt
4.5	17.7	1.	4570	2128	0.75	6.8	4611.6	2157.8	0.8	6.8
		2.	4600	2157	0.75	6.8				
		3.	4630	2173	0.75	6.8				
		4.	4640	2173	0.75	6.8				
		5.	4618	2158	0.75	6.8				
		6.	4650	2190	0.75	6.5				
4.3	17.3	7.	4580	2175	0.75	6.5	4635.2	2182.6	0.8	6.5
		8.	4660	2170	0.75	6.5				
		9.	4626	2190	0.75	6.5				
		10.	4660	2188	0.75	6.4				
		11.	4652	2192	0.75	6.4				
		12.	4663	2148	0.75	6.2				
4.2	17.5	13.	4680	2173	0.75	6.2	4662.6	2178.4	0.8	6.2
		14.	4650	2202	0.75	6.2				
		15.	4668	2177	0.75	6.2				
		16.	4640	2164	0.75	6.1				
		17.	4630	2157	0.75	6.1				
		18.	4634	2141	0.75	6.1	4644.8	2163.8	0.8	6.1
4.3	17.5	19.	4670	2183	0.75	6.1				
		20.	4650	2174	0.75	6.0				
		21.	4684	2183	0.75	6.0				
		22.	4598	2184	0.75	6.0				
		23.	4680	2178	0.75	6.0	4648.4	2185.2	0.8	6.0
		24.	4610	2214	0.75	5.9				
4.3	17.3	25.	4670	2167	0.75	5.9				
		26.	4640	2210	0.75	5.8				
		27.	4714	2212	0.75	5.8				
		28.	4655	2190	0.75	5.7	4662.4	2197.6	0.8	5.7
		29.	4680	2178	0.75	5.7				
		30.	4623	2198	0.75	5.7				

Çizelge 3. 116 Kapalı çevrim V2 pompa hızı, 0.75 A akımda standart sapma ve yüzde değişimleri

Σ EC	Σ TDS	Σ Akım Şiddeti (A)	Σ Gerilim (V)	% EC	% TDS	% Akım Şiddeti (A)	% Gerilim (V)
24.7	16.4	0.0	0.0	-2.9	-1.9	0.0	0.0
30.3	8.4	0.0	0.0	-2.4	-0.8	0.0	-4.7
11.0	18.4	0.0	0.1	-1.8	-1.0	0.0	-8.2
14.3	14.4	0.0	0.0	-2.2	-1.6	0.0	-10.6
36.7	15.6	0.0	0.0	-2.1	-0.7	0.0	-12.4
31.9	12.7	0.0	0.0	-1.8	-0.1	0.0	-15.6

Jeotermal suyla açık çevrim V2 hızında 1.25 A akımda deneyleri yapılmıştır. Elektrokoagülasyon deneylerine başlamadan önce termal suya ait deney öncesi değerler ölçülmüş ve Çizelge 3.117’de gösterilmiştir.

Çizelge 3. 117 Termal suya ait V2 hızı 1.25 A akım kapalı çevrim deney öncesi ölçüm değerleri

EC (μ S/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	pH	Sıcaklık (°C)
4673	2200	1.25	7.4	4.9	18

Deney 1.25 A akım uygulandığında TDS, EC, pH, sıcaklık, amper ve gerilime ait parametrelerdeki değişim değerleri periyodik ölçülerek Çizelge 3.118’de ki değerler elde edilmiştir.

Çizelge 3.118’de ki ölçüm değerleri üzerine istatistiksel çalışmalar yapılarak verilere ait ortalamalar ve yüzdesel değişimlerinin neler olduğu üzerine Çizelge 3.119’da ki gibi çalışmalar yapılmıştır. Termal suyla yapılan V2 pompa hızı ve 1.25 A akıma ait elde edilen verilerden ortalama EC, TDS, Akım ve gerilim değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır

Çizelge 3. 118 Kapalı çevrim V2 pompa hızında ve 1.25 A akımda deney ölçüm değerleri

pH	Sıcaklık (°C)	Periyod Sayısı	E C (µs/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	$\bar{X}$ EC	$\bar{X}$ TDS	$\bar{X}$ Akım	$\bar{X}$ Volt
4.7	17.8	1.	4360	2094	1.25	7.8	4528.0	2146.4	1.3	7.7
		2.	4450	2100	1.25	7.8				
		3.	4553	2174	1.25	7.6				
		4.	4634	2160	1.25	7.6				
		5.	4643	2204	1.25	7.6				
		6.	4178	2210	1.25	7.4				
		7.	4642	2188	1.25	7.4				
4.7	18.0	8.	4670	2168	1.25	7.4	4572.6	2188.4	1.3	7.4
		9.	4676	2202	1.25	7.4				
		10.	4697	2174	1.25	7.4				
		11.	4678	2186	1.25	7.4				
		12.	4680	2187	1.25	7.3				
4.6	18.0	13.	4645	2200	1.25	7.3	4670.6	2193.4	1.3	7.3
		14.	4680	2194	1.25	7.3				
		15.	4670	2200	1.25	7.3				
		16.	4675	2193	1.25	7.3				
		17.	4684	2125	1.25	7.3				
4.5	18.3	18.	4621	2200	1.25	7.3	4656.4	2188.8	1.3	7.3
		19.	4660	2222	1.25	7.3				
		20.	4642	2204	1.25	7.3				
		21.	4710	2206	1.25	7.3				
		22.	4750	2246	1.25	7.3				
4.5	18.3	23.	4753	2216	1.25	7.3	4713.0	2216.8	1.3	7.3
		24.	4663	2212	1.25	7.3				
		25.	4689	2204	1.25	7.3				
		26.	4636	2184	1.25	7.3				
		27.	4695	2197	1.25	7.3				
4.5	18.6	28.	4551	2188	1.25	7.3	4629.4	2177.0	1.3	7.3
		29.	4668	2172	1.25	7.3				
		30.	4597	2144	1.25	7.3				

Çizelge 3. 119 Kapalı çevrim V2 pompa hızı, 1.25 A akımda standart sapma ve yüzde değişimleri

Σ EC	Σ TDS	Σ Akım Şiddeti (A)	Σ Gerilim (V)	% EC	% TDS	% Akım Şiddeti (A)	% Gerilim (V)
109.0	42.8	0.0	0.1	-3.1	-2.4	0.0	3.8
198.1	16.0	0.0	0.0	-2.1	-0.5	0.0	0.0
13.3	6.1	0.0	0.0	-0.1	-0.3	0.0	-1.1
22.7	33.3	0.0	0.0	-0.4	-0.5	0.0	-1.4
34.8	15.2	0.0	0.0	0.9	0.8	0.0	-1.4
51.1	18.4	0.0	0.0	-0.9	-1.0	0.0	-1.4

Jeotermal suyla açık çevrim V3 hızında 0.75 A akımda deneyleri yapılmıştır. Elektrokoagülasyon deneylerine başlamadan önce termal suya ait deney öncesi değerler ölçülmüş ve Çizelge 3.120’de gösterilmiştir.

Çizelge 3. 120 Termal suya ait V3 hızı 0.75 A akım kapalı çevrim deney öncesi ölçüm değerleri

EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	pH	Sıcaklık (°C)
4830	2265	0.75	6	4.6	16.8

Deney 0.75 A akım uygulandığında TDS, EC, pH, sıcaklık, amper ve gerilime ait parametrelerdeki değişim değerleri periyodik ölçülerek Çizelge 3.121’de ki değerler elde edilmiştir.

Çizelge 3.121’de ki ölçüm değerleri üzerine istatistiksel çalışmalar yapılarak verilere ait ortalamalar ve yüzdesel değişimlerinin neler olduğu üzerine Çizelge 3.122’de ki gibi çalışmalar yapılmıştır. Termal suyla yapılan V3 pompa hızı ve 0.75 A akıma ait elde edilen verilerden ortalama EC, TDS, Akım ve gerilim değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır

Çizelge 3. 121 Kapalı çevrim V3 pompa hızında ve 0.75 A akımda deney ölçüm değerleri

pH	Sıcaklık (°C)	Periyod Sayısı	E C (µs/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	$\bar{X}$ EC	$\bar{X}$ TDS	$\bar{X}$ Akım	$\bar{X}$ Volt
4.7	17.0	1.	4734	2200	0.75	6.0	4652.6	2217.8	0.8	6.0
		2.	4707	2240	0.75	6.0				
		3.	4560	2224	0.75	6.0				
		4.	4570	2225	0.75	6.0				
		5.	4692	2200	0.75	5.9				
		6.	4627	2200	0.75	5.9				
4.6	17.0	7.	4680	2215	0.75	5.9	4649.8	2212.4	0.8	5.9
		8.	4680	2205	0.75	5.9				
		9.	4670	2220	0.75	5.8				
		10.	4592	2222	0.75	5.8				
		11.	4673	2198	0.75	5.8				
		12.	4702	2212	0.75	5.8				
4.5	17.3	13.	4615	2186	0.75	5.8	4661.6	2212.8	0.8	5.8
		14.	4678	2250	0.75	5.8				
		15.	4640	2218	0.75	5.8				
		16.	4593	2228	0.75	5.8				
		17.	4700	2210	0.75	5.8				
		18.	4690	2200	0.75	5.8				
4.4	17.5	19.	4660	2203	0.75	5.8	4663.2	2210.6	0.8	5.8
		20.	4673	2212	0.75	5.7				
		21.	4675	2200	0.75	5.7				
		22.	4643	2205	0.75	5.7				
		23.	4675	2215	0.75	5.7				
		24.	4643	2225	0.75	5.7				
4.4	17.5	25.	4615	2210	0.75	5.7	4650.2	2211.0	0.8	5.7
		26.	4682	2216	0.75	5.7				
		27.	4628	2210	0.75	5.7				
		28.	4626	2212	0.75	5.7				
		29.	4650	2229	0.75	5.7				
		30.	4640	2177	0.75	5.7				

Çizelge 3. 122 Kapalı çevrim V3 pompa hızı, 0.75 A akımda standart sapma ve yüzde değişimleri

Σ EC	Σ TDS	Σ Akım Şiddeti (A)	Σ Gerilim (V)	% EC	% TDS	% Akım Şiddeti (A)	% Gerilim (V)
72.8	15.6	0.0	0.0	-3.7	-2.1	0.0	-0.3
34.9	8.5	0.0	0.0	-3.7	-2.3	0.0	-2.3
30.6	21.7	0.0	0.0	-3.5	-2.3	0.0	-3.3
37.7	9.7	0.0	0.0	-3.5	-2.4	0.0	-3.7
22.7	8.6	0.0	0.0	-3.7	-2.4	0.0	-5.0
20.3	17.2	0.0	0.0	-3.8	-2.5	0.0	-5.0

Jeotermal suyla açık çevrim V3 hızında 1.25 A akımda deneyleri yapılmıştır. Elektrokoagülasyon deneylerine başlamadan önce termal suya ait deney öncesi değerler ölçülmüş ve Çizelge 3.123’de gösterilmiştir.

Çizelge 3. 123 Termal suya ait V3 hızı 1.25 A akım kapalı çevrim deney öncesi ölçüm değerleri

EC (μ S/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	pH	Sıcaklık (°C)
4700	2200	1.25	7.9	4.9	19

Deney düzeneğine 1.25 A akım uygulandığında TDS, EC, pH, sıcaklık, amper ve gerilime ait parametrelerdeki değişim değerleri periyodik ölçülerek Çizelge 3.124’de ki değerler elde edilmiştir.

Çizelge 3.124’de ki ölçüm değerleri üzerine istatistiksel çalışmalar yapılarak verilere ait ortalamalar ve yüzdesel değişimlerinin neler olduğu üzerine Çizelge 3.125’de ki gibi çalışmalar yapılmıştır. Termal suyla yapılan V3 pompa hızı ve 1.25 A akıma ait elde edilen verilerden ortalama EC, TDS, Akım ve gerilim değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır

Çizelge 3. 124 Kapalı çevrim V3 pompa hızında ve 1.25 A akımda deney ölçüm değerleri

pH	Sıcaklık (°C)	Periyod Sayısı	E C (µs/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	$\bar{X}$ EC	$\bar{X}$ TDS	$\bar{X}$ Akım	$\bar{X}$ Volt
4.8	18.7	1.	4470	2151	1.25	7.7	4625.4	2188.4	1.3	7.7
		2.	4630	2183	1.25	7.7				
		3.	4655	2201	1.25	7.7				
		4.	4680	2207	1.25	7.7				
		5.	4692	2200	1.25	7.5				
		6.	4660	2208	1.25	7.5				
		7.	4794	2200	1.25	7.5				
4.8	18.5	8.	4682	2202	1.25	7.5	4712.0	2213.8	1.3	7.5
		9.	4794	2235	1.25	7.5				
		10.	4630	2224	1.25	7.5				
		11.	4688	2180	1.25	7.5				
		12.	4688	2206	1.25	7.5				
		13.	4692	2222	1.25	7.4				
		14.	4670	2036	1.25	7.4				
4.8	18.5	15.	4668	2200	1.25	7.4	4681.2	2168.8	1.3	7.4
		16.	4618	2157	1.25	7.4				
		17.	4606	2213	1.25	7.4				
		18.	4700	2183	1.25	7.3				
		19.	4650	2222	1.25	7.3				
		20.	4715	2223	1.25	7.3				
		21.	4650	2216	1.25	7.3				
4.6	18.3	22.	4701	2210	1.25	7.3	4666.2	2195.4	1.3	7.2
		23.	4670	2195	1.25	7.2				
		24.	4680	2160	1.25	7.2				
		25.	4630	2196	1.25	7.2				
		26.	4597	2180	1.25	7.2				
		27.	4637	2178	1.25	7.2				
		28.	4634	2180	1.25	7.2				
4.4	18.3	29.	4630	2178	1.25	7.2	4626.8	2179.2	1.3	7.2
		30.	4636	2180	1.25	7.2				

Çizelge 3. 125 Kapalı çevrim V3 pompa hızı1.25 A akımda standart sapma ve yüzde değişimleri

Σ EC	Σ TDS	Σ Akım Şiddeti (A)	Σ Gerilim (V)	% EC	% TDS	% Akım Şiddeti (A)	% Gerilim (V)
80.6	20.3	0.0	0.1	-1.6	-0.5	0.0	-3.0
69.0	13.5	0.0	0.0	0.3	0.6	0.0	-5.1
10.1	67.7	0.0	0.0	-0.4	-1.4	0.0	-5.8
43.3	25.8	0.0	0.0	-0.9	0.0	0.0	-7.1
24.4	19.4	0.0	0.0	-0.7	-0.2	0.0	-8.4
15.1	1.0	0.0	0.0	-1.6	-0.9	0.0	-8.9

3.3.3.3 Kapalı Çevrim Ek Deneyler Bileşik Analizi

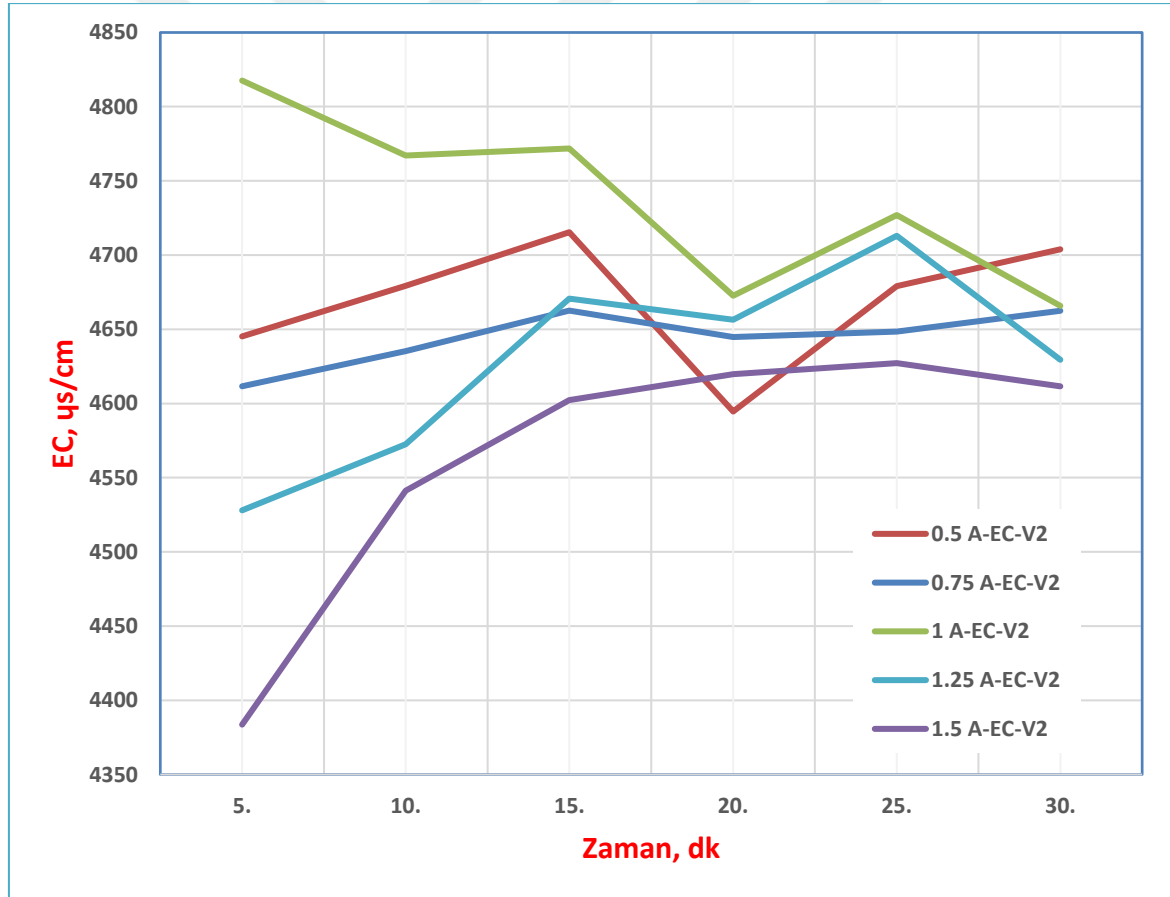
Daha önce kapalı çevrim V2 ve V3 hızında ki 0.5 A, 1 A, 1.5 A akım değerlerine göre grafikler daha önce elde edilmişti.

Bu deneylere ek olarak kapalı çevrim olarak yapılan 0.75 A ve 1.25 A deneyleri de yapılmıştır.

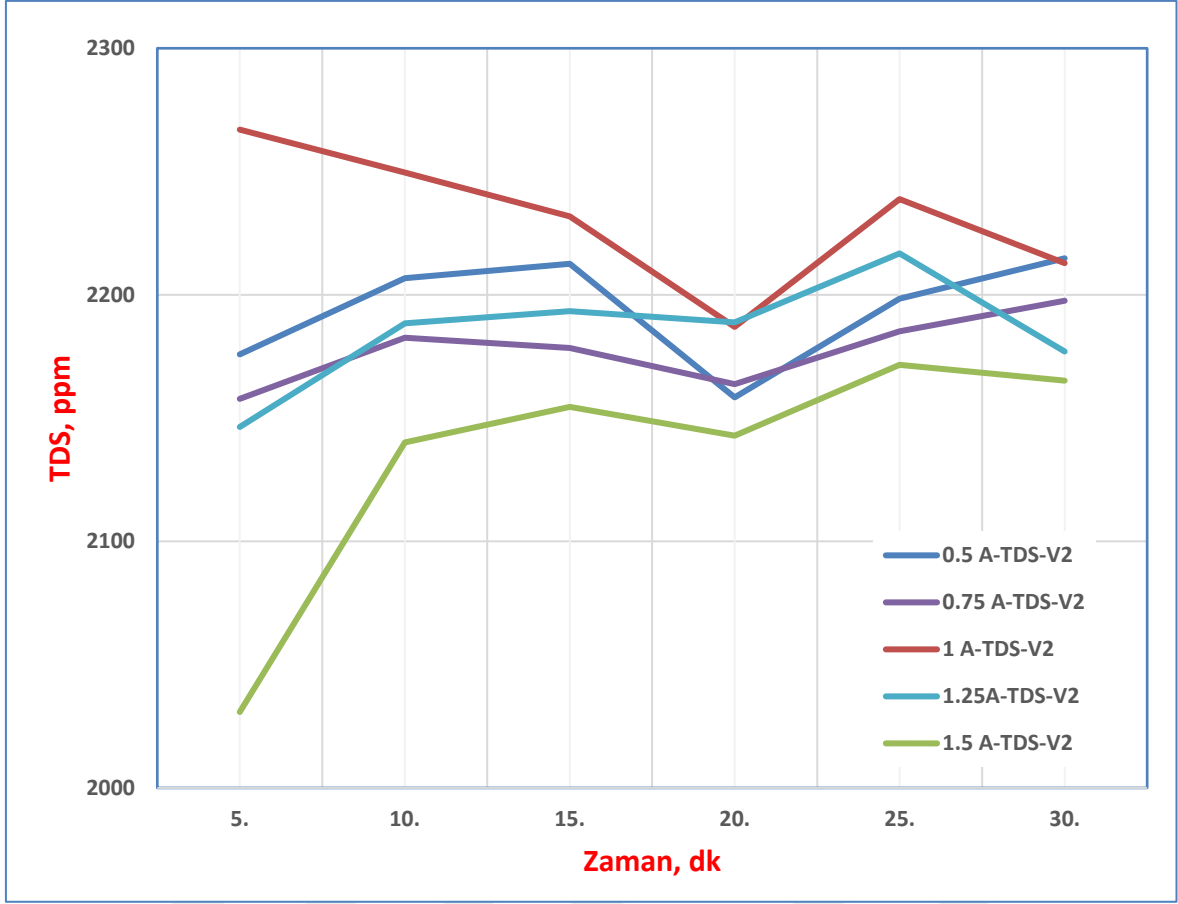
Son yapılan 0.75 A ve 1.25 A deneylerinde elde edilen verilerin ortalamaları esas alınarak Çizelge 3.126 elde edilmiştir. Şekil 3.47’de ve Şekil 3.48’de sırasıyla V2 hızına bağlı uygulanan 5 farklı amperdeki EC ve TDS değişimleri tek bir grafikte gösterilmiştir.

Çizelge 3. 126 Kapalı çevrim termal su V2 ve V3 pompa hızında iki farklı akıma ait TDS-EC değişimi

Periyot	0.75 A TDS-V2	0.75 A TDS-V3	1.25 A TDS-V2	1.25 A TDS-V3	0.75 A EC-V2	0.75 A EC-V3	1.25 A EC-V2	1.25 A EC-V3
1.	2158	2218	2146	4506	4612	4653	4528	4625
2.	2183	2212	2188	4572	4635	4650	4573	4712
3.	2178	2213	2193	4539	4663	4662	4671	4681
4.	2164	2211	2189	4522	4645	4663	4656	4658
5.	2185	2211	2217	4548	4648	4650	4713	4666
6.	2198	2209	2177	4548	4662	4645	4629	4627



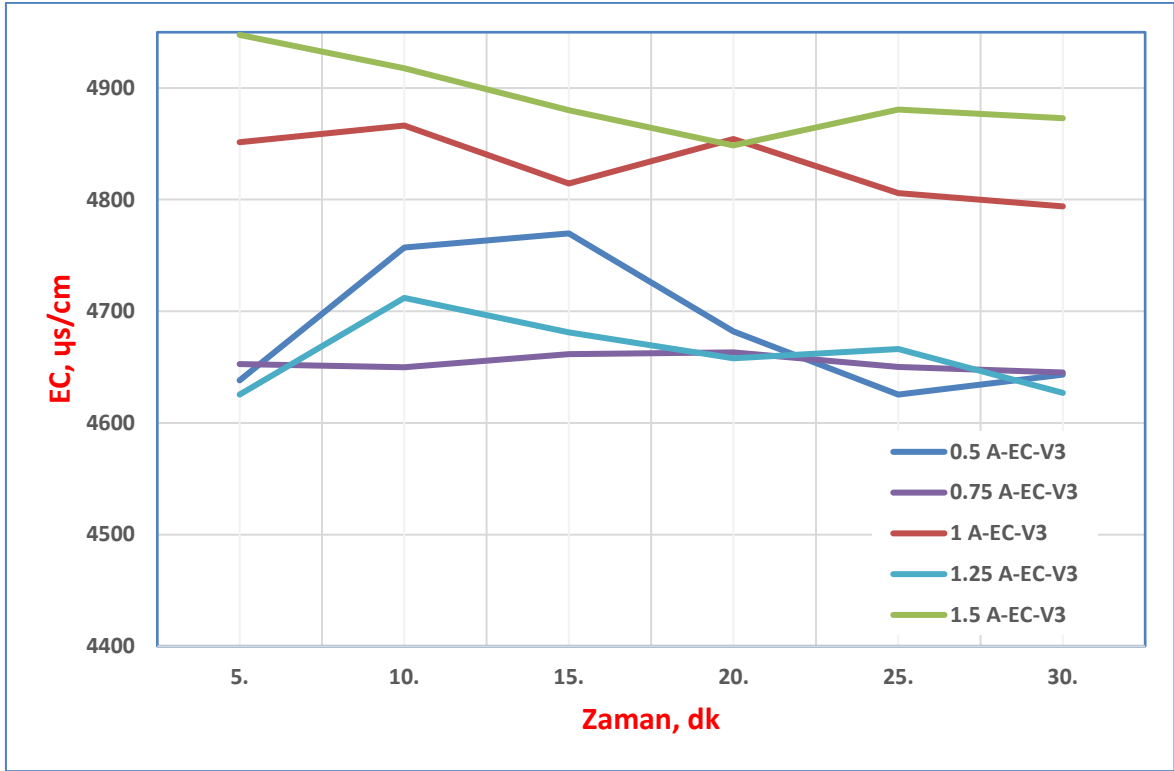
Şekil 3. 47 Kapalı çevrim V2 hızında beş akım değerine ait EC değişim grafiği



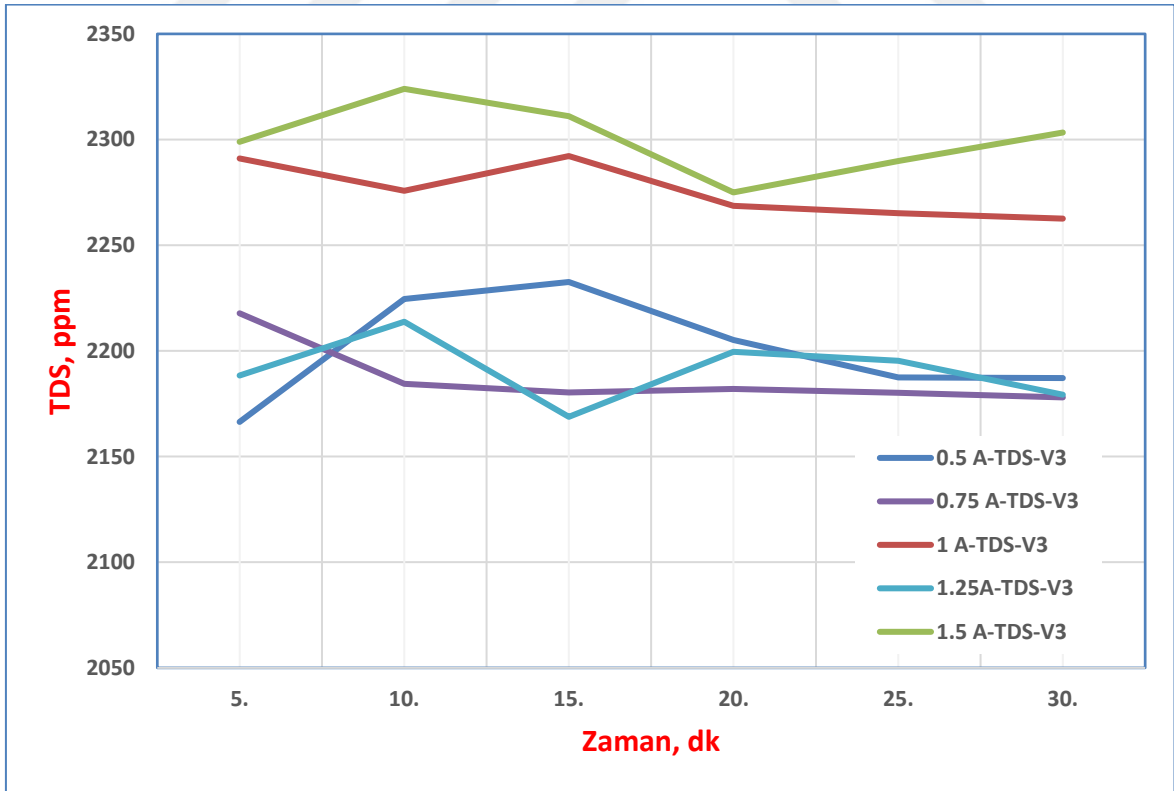
Şekil 3. 48 Kapalı çevrim V2 hızında beş akım değerine ait TDS değişim grafiği

Daha önce açık çevrim V3 hızında ki 0.5 A, 1 A, 1.5 A akım değerlerine göre grafikler daha önce elde edilmiştir. Bu deneylere ek olarak açık çevrim olarak yapılan 0.75 A ve 1.25 A deneyleri de yapılmıştır.

Bu çizelgelerden elde edilen ortalama veriler esas alınarak Çizelge 3.126 elde edilmiştir. Şekil 3.49’da ve Şekil 3.50’de sırasıyla V3 hızına bağlı uygulanan 5 farklı amperdeki EC ve TDS değişimleri tek bir grafikte gösterilmiştir.



Şekil 3. 49 Kapalı çevrim V3 hızında beş akım değerine ait EC değişim grafiği



Şekil 3. 50 Kapalı çevrim V3 hızında beş akım değerine ait TDS değişim grafiği

V2 hızında 0.75 A ve 1.25 A akım yoğunluğu ve 2 farklı pompa hızda farklı bölgelerde çözeltinin değerleri açık çevrim yapılan deneylerle ölçülmüştür. Aşağıdaki tablolarda Çizelge 3.127’te TDS değişimi, Çizelge 3.128’de EC değişimleri verilmiştir.

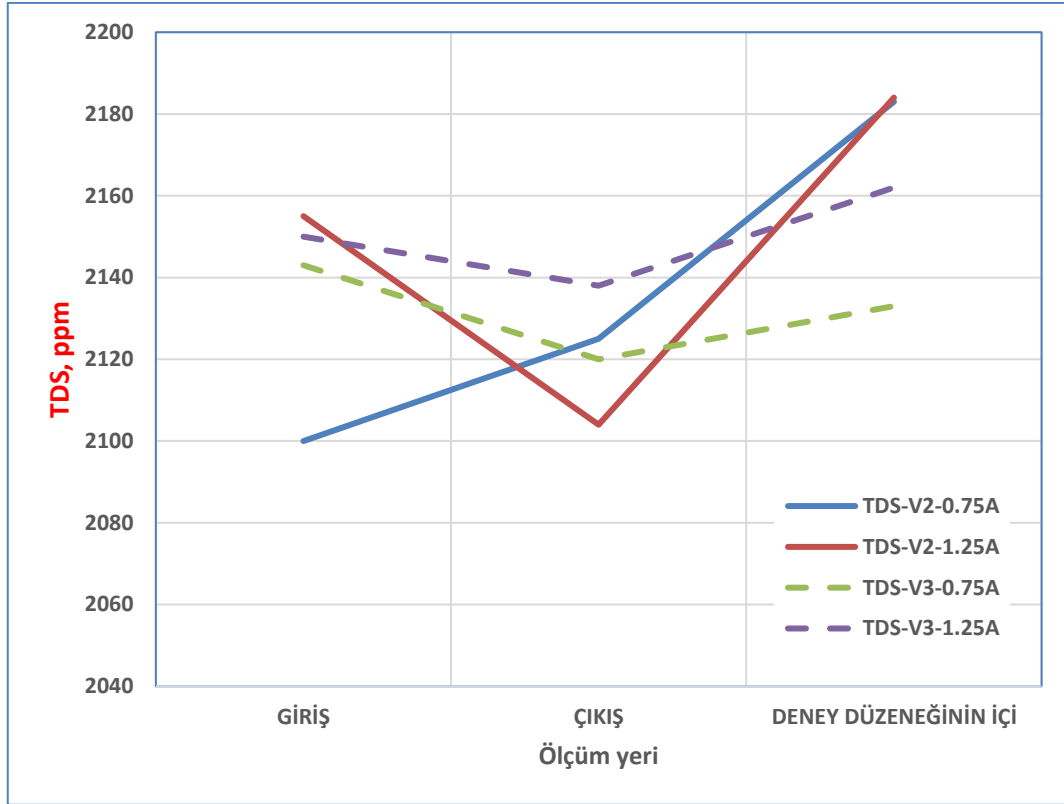
Çizelge 3. 127 Açık çevrim ek deneylere ait TDS değişim tablosu

Ölçüm Yeri	TDS-V2-0.75A	TDS-V2-1.25A	TDS-V3-0.75A	TDS-V3-1.25A
Giriş	2100	2155	2143	2150
Çıkış	2125	2104	2120	2138
Deney düzeneğinin içi	2183	2184	2133	2162

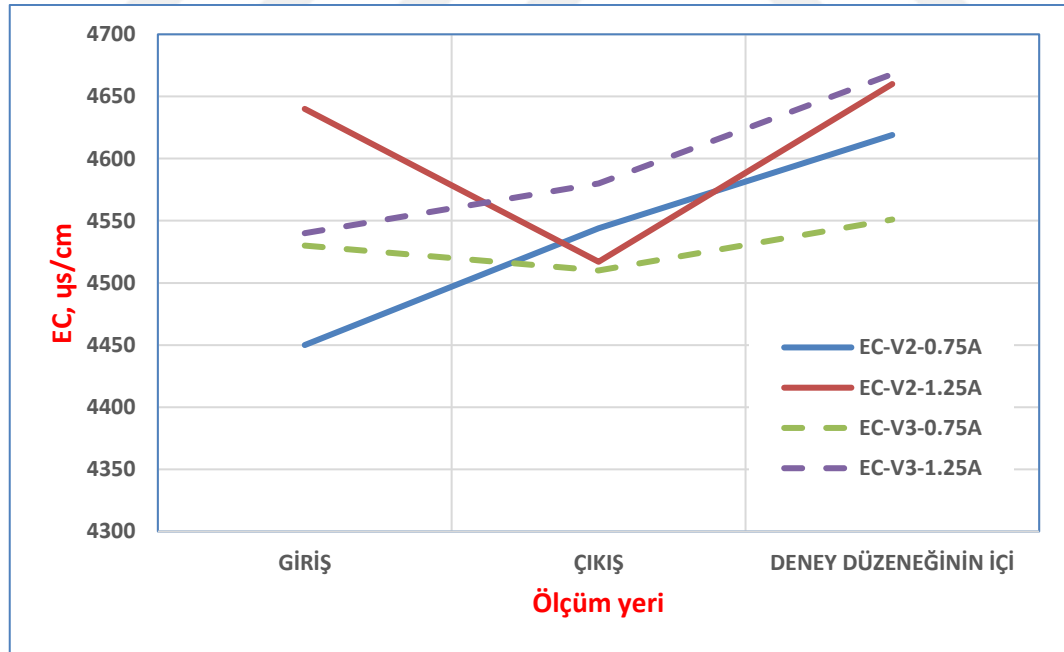
Çizelge 3. 128 Açık çevrim ek deneylere ait EC değişim tablosu

Ölçüm Yeri	EC-V2-0.75A	EC-V2-1.25A	EC-V3-0.75A	EC-V3-1.25A
Giriş	4450	4640	4530	4540
Çıkış	4544	4517	4510	4580
Deney düzeneğinin içi	4619	4660	4551	4668

Çizelge 3.127 ve Çizelge 3.128’deki değerlere göre Şekil 3.51’de TDS değişimlerine ait Şekil 3.52’de EC değişimlerine ait grafikleri verilmiştir.



Şekil 3. 51 Açık çevrim V2 hızına bağlı TDS değişim grafiği



Şekil 3. 52 Açık çevrim V2 hızına bağlı EC değişim grafiği

V2 hızında 0.75 A ve 1.25 A akım yoğunluğu ve 2 farklı pompa hızda farklı bölgelerde çözeltinin değerleri kapalı çevrim yapılan deneylerle ölçülmüştür. Aşağıdaki tablolarda Çizelge 3.129’da TDS değişimi Çizelge 3.130’da EC değişimleri verilmiştir.

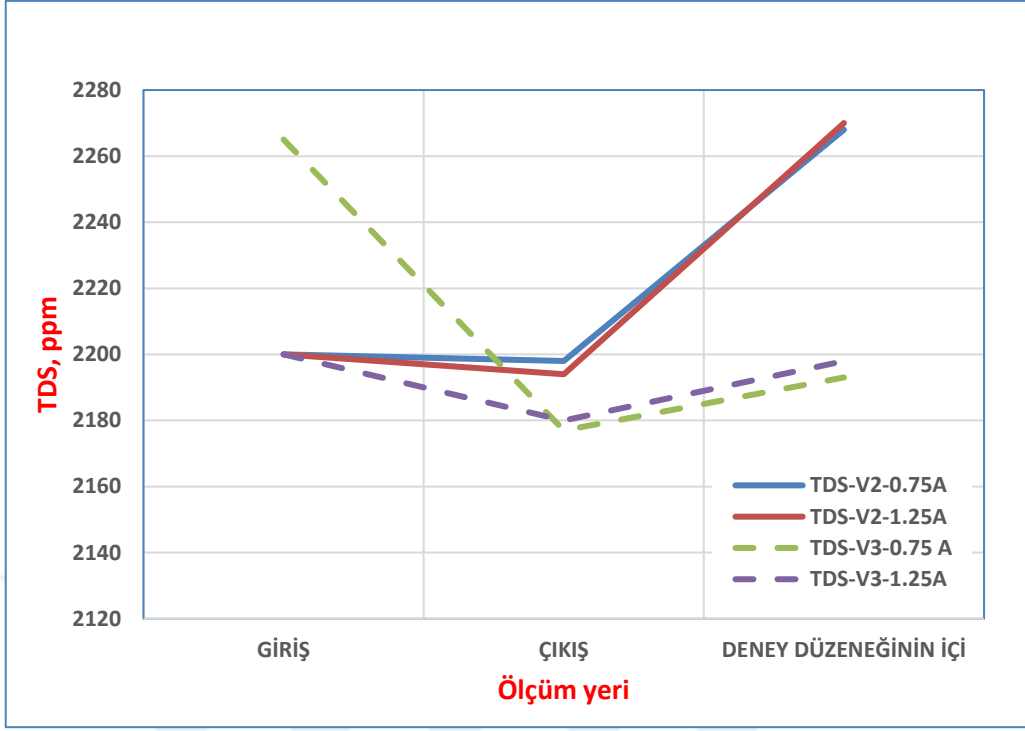
Çizelge 3. 129 Kapalı çevrim ek deneylere ait TDS değişim tablosu

Ölçüm Yeri	TDS-V2-0.75A	TDS-V2-1.25A	TDS-V3-0.75 A	TDS-V3-1.25A
Giriş	2200	2200	2265	2200
Çıkış	2198	2194	2177	2180
Deney düzeneğinin içi	2268	2270	2193	2198

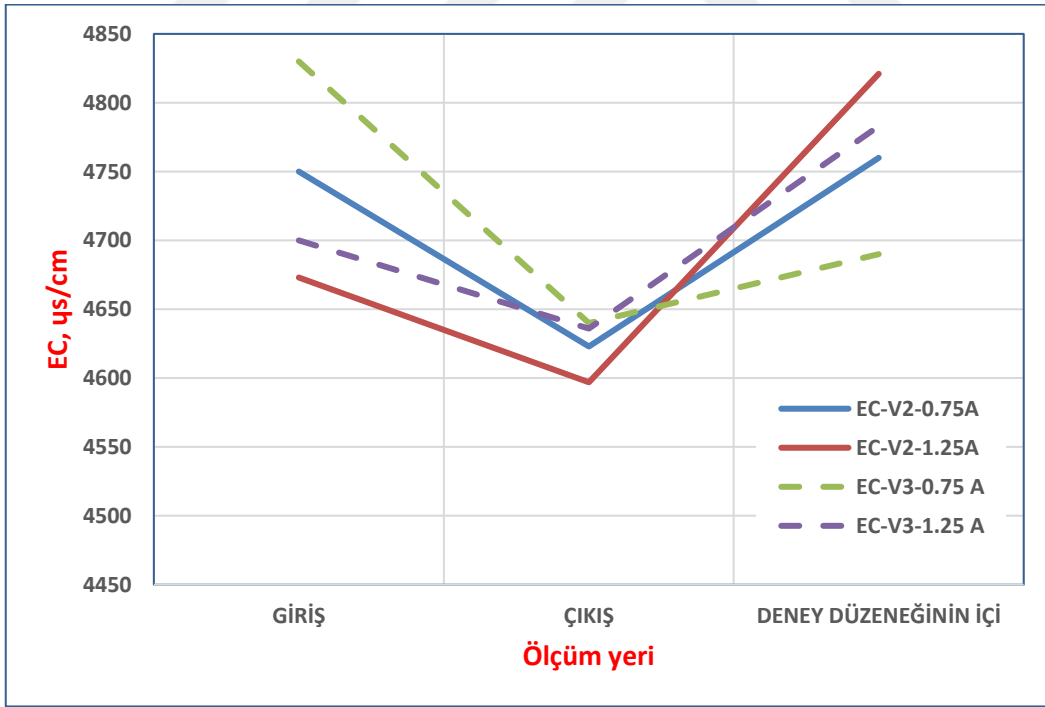
Çizelge 3. 130 Kapalı çevrim ek deneylere ait EC değişim tablosu

Ölçüm Yeri	EC-V2-0.75A	EC-V2-1.25A	EC-V3-0.75 A	EC-V3-1.25 A
Giriş	4750	4673	4830	4700
Çıkış	4623	4597	4640	4636
Deney düzeneğinin içi	4760	4821	4690	4783

Çizelge 3.129 ve Çizelge 3.130’daki değerlere göre Şekil 3.53’de TDS değişimlerine ait Şekil 3.54’da EC değişimlerine ait grafikleri verilmiştir.



Şekil 3. 53 Kapalı çevrim V2 hızına bağlı TDS değişim grafiği



Şekil 3. 54 Kapalı çevrim V2 hızına bağlı EC değişim grafiği

3.4 Elektrokoagülasyon Sonrası Deney Sularının Filtrelenmesi ve İncelenmesi

Yapılan saf su deneylerinde sırasıyla 0.01 M, 0.01 M ve 0.1 M NaCl içeren çözeltiler kullanılmış ve ortalamada elde edilen en yüksekten düşüğe doğru sıralanmıştır. EC, TDS değerlerine karşılık gelen amper değerleri ve TDS/EC arasındaki katsayı değeri bulunmuş tablolanmıştır. 0.01 M NaCl içeren saf su için Çizelge 3.130’da 0.1 M NaCl içeren saf su için Çizelge 3.131’de, 1 M NaCl içeren saf su için Çizelge 3.132’de değerler gösterilmiştir.

Çizelge 3. 131 0.01 M NaCl içeren saf su deneylerine ait en yüksek ortalama EC değerine göre sıralama tablosu

Pompa hızı	En yüksek ortalama EC değeri	En yüksek ortalama TDS değeri	EC/TDS katsayısı
V1	63.78	32.45	0.510
V3	50.63	25.27	0.500
V2	25.87	13.20	0.511

Çizelge 3. 132 0.1 M NaCl içeren saf su deneylerine ait en yüksek ortalama EC değerine göre sıralama tablosu

Pompa hızı	En yüksek ortalama EC değeri	En yüksek ortalama TDS değeri	EC/TDS katsayısı
V2	178.73	84.13	0.471
V1	160.70	77.43	0.484
V3	159.40	75.43	0.473

Çizelge 3. 133 1 M NaCl içeren saf su deneylerine ait ortalama EC değerine göre sıralama tablosu

Pompa hızı	En yüksek ortalama EC değeri	En yüksek ortalama TDS değeri	EC/TDS katsayısı
V3	7248.37	3648.93	0.504
V1	6957.53	3482.80	0.501
V2	5725.60	2869.40	0.501

Nihai son deneylere geçmeden önce doğru akım ve doğru pompa hızında elektrokoagülasyon yapmak için 0.5 A, 1 A, 1.5 A deneylerine ek 0.75 A ve 1.25 A ara değer akımlar içinde deneyleri hem açık çevrim hemde kapalı çevrim için yapıldı.

Açık çevrim termal su deneylerinde 30 dk'lık deney boyunca V2 ve V3 pompa hızlarında elde edilen ortalama EC değerine göre en yüksekten en düşüğe sıralanmıştır. V2 hızına ait değerler Çizelge 5.134'de, V3 hızına ait değerler Çizelge 5.135'de gösterilmiştir.

Çizelge 3. 134 Termal su açık çevrim V2 hızında ortalama EC değerine göre sıralama tablosu

Uygulanan akım (A)	En yüksek ortalama EC değeri	En yüksek ortalama TDS değeri	EC/TDS katsayısı
1.5	4787.40	2257.20	0.471
0.5	4696.47	2207.80	0.470
1.25	4495.43	2112.23	0.470
0.75	4488.47	2102.23	0.468
1	4137.47	1895.33	0.458

Çizelge 3. 135 Termal su Açık çevrim V3 hızında ortalama EC değerine göre sıralama tablosu

Uygulanan akım (A)	En yüksek ortalama EC değeri	En yüksek ortalama TDS değeri	EC/TDS katsayısı
1.5	4764.67	2249.93	0.472
0.5	4688.93	2204.07	0.470
1.25	4539.27	2146.73	0.473
0.75	4502.23	2212.20	0.490
1.0	4230.90	2008.37	0.475

Kapalı çevrim termal su deneylerinde 30 dk'lık deney boyunca V2 ve V3 pompa hızlarında elde edilen ortalama EC değerine göre en yüksekten en düşüğe sıralanmıştır. V2 hızına ait değerler Çizelge 3.136'da V3 hızına ait değerler Çizelge 3.137'de gösterilmiştir.

Çizelge 3. 136 Termal su kapalı çevrim V2 hızında ortalama EC değerine göre sıralama tablosu

Uygulanan akım (A)	En yüksek ortalama EC değeri	En yüksek ortalama TDS değeri	EC/TDS katsayısı
1.0	4736.97	2231.17	0.471
0.5	4669.57	2194.47	0.470
0.75	4644.17	2177.57	0.469
1.25	4628.33	2185.13	0.472
1.5	4564.27	2134.20	0.468

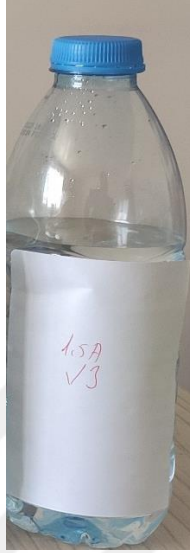
Çizelge 3. 137 Termal su kapalı çevrim V3 hızında ortalama EC değerine göre sıralama tablosu

Uygulanan akım (A)	En yüksek ortalama EC değeri	En yüksek ortalama TDS değeri	EC/TDS katsayısı
1.5	4891.30	2300.37	0.470
1.0	4831.10	2275.90	0.471
0.5	4685.93	2200.57	0.470
0.75	4653.77	2212.20	0.470
1.25	4628.33	2185.13	0.472

Deney setinin davranışını anlamaya ve karakterize etmeye çalışırken yaptığımız deneylerin sonucunda açık çevrim ve kapalı çevrim arasında ortalama EC değerlerinde çok bariz farklar oluşmamıştır. İncelenen literatür çalışmalarında tohumlama (CEED) yapıldığında elde edilen silika miktarının daha varla olduğu ve polimerizasyonun daha fazla olduğu göz önüne alındığında nihai yapılacak son deneylerde kapalı çevrim olarak deneylerin yapılmasında bu aşamada karar verilmiştir.

Kapalı çevrim deney esnasında okunan değerlerin haricinde nihai son aşama deneylerine geçmeden önce aslında amaç deney setini karakterize edip davranış şeklini anlamaya çalışmaktır.

Bu esnada deney sonrası toplanan termal sular ilk önce uygulanan akım ve pompa hızına göre üzerlerine kodlama etiketleri yapıştırılarak Resim 3.12’de görüldüğü gibi temiz ve boş olan şişelere konularak 24 saat boyunca devam edebilecek polimerizasyona izin vermek için yaşlanmaya bırakılıp numuneler saklanmıştır.



Resim 3. 12 Deney sonrası elde edilen su numunelerinin etiketlenmesi

Kapalı çevrim deney uygulanan tek bir akım değeri ve her iki pompa değerinde arka arkaya yapıldıktan sonra Resim 3.13’te görülen filtre kağıtları kullanılarak deney numunelerinin süzme işlemi yapılmıştır.



Resim 3. 13 Filtre kağıdı

Filtreleme işlemi için deney sonrası elde edilen su numuneleri Resim 3.14’de görüldüğü gibi yine pet şişelere süzölmüştür sonra tekrar şişelerin üzerlerini etiketlenip ağızları kapatılarak Resim 3.15’de görüldüğü gibi muhafaza edilmiştir.



Resim 3. 14 Deney su numunelerinin filtrelenmesi

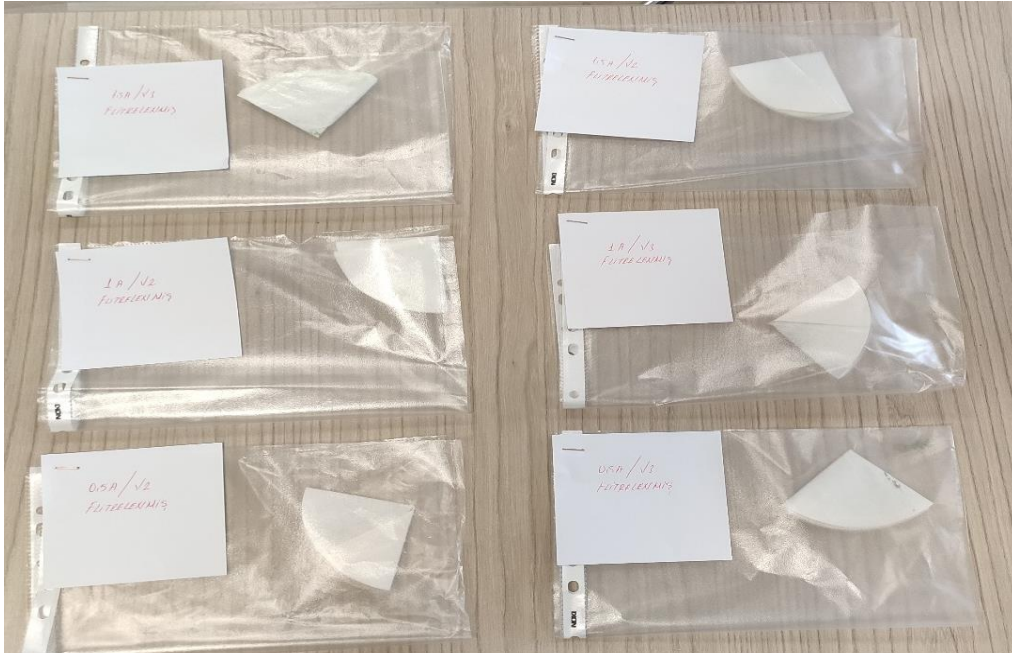


Resim 3. 15 Filtrelenmiş deney numuneleri

Her bir deney sonrası elde edilen numune miktarı bitinceye kadar filtreleme işlemi devam etmiştir. Filtrelemede kullanılan deney numuneleri Resim 3.16’de ki etüvde 60°C sıcaklıkta tam kuruluk sağlanan kadar ortalama bir saat kurutulmuş, sonrasında dışarda korunaklı bir şekilde 24 saat bekletilip olan nemide atılması sağlanmıştır. Sonrasında Resim 3.17 ve Resim 3.18’de görüldüğü gibi etiketlenmiştir.



Resim 3. 16 Kurutma yapılan etüv

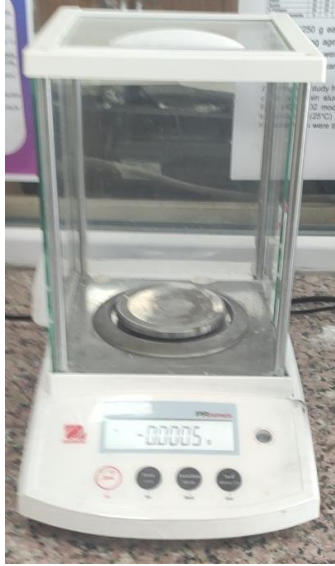


Resim 3. 17 Kapalı çevrim ilk yapılan deneyde kullanılan filtreler



Resim 3. 18 Kapalı çevrim ek olarak yapılan deney kullanılan filtreler

Kurutulan filtre kağıtları daha sonra Resim 3.19’de görülen OHRUS marka PR SERİES hassas terazide tartılarak filtreleme sırasında ne kadarlık bir malzeme tuttuğu hesaplanmıştır.



Resim 3. 19 Filtreme de tutulan malzemelerin ölçül düğü hassas terazi

Çizelge 3.137’de V2 hızına ait, Çizelge 3.138’da V3 hızına ait hızına ait tutulan maddem miktarları tablolaştırılmıştır.

Çizelge 3. 138 V2 hızında filtreleme sonrasında tutulan maddem miktarları

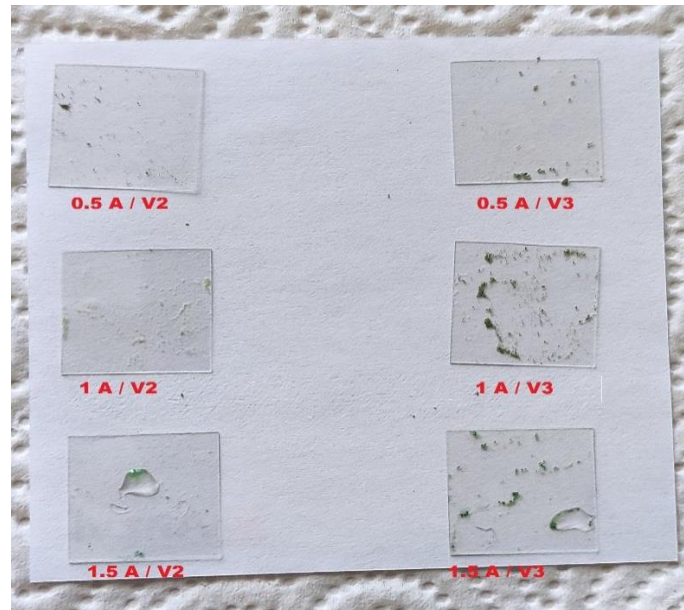
0.5 A (gr/ml)	0.75 A (gr/ml)	1 A (gr/ml)	1.25 A (gr/ml)	1.5 A (gr/ml)
0.000265	0.000179	0.000036	0.000105	0.000123

Çizelge 3. 139 V3 hızında filtreleme sonrasında tutulan maddem miktarları

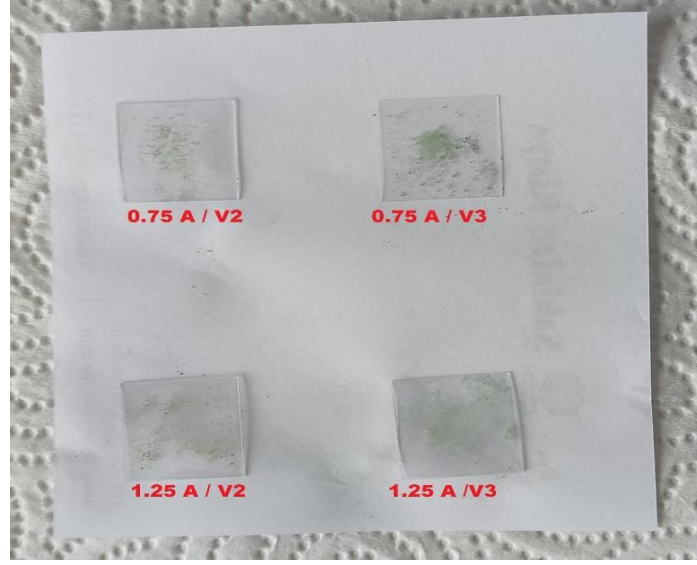
0.5 A (gr/ml)	0.75 A (gr/ml)	1 A (gr/ml)	1.25 A (gr/ml)	1.5 A (gr/ml)
0.000619	0.000334	0.000288	0.000169	0.000425

Kurutulmuş filtre içindeki malzemeler küçük spatula kullanarak lamellerin üzerine sıyrılmış ve sonrasında üzerine saf su dökülerek elle çalkalanıp lamel üzerinde saf suyun içerisinde toz malzemelerin açılması ve lamele yayılması sağlanmıştır. Daha sonra saf suyun kuruması beklenerek mikroskop görüntülerini almak için Resim 3.20 ve Resim 3.21’te ki numuneler hazırlanmıştır.

Nihai son deneylere geçmeden önce doğru akım ve doğru pompa hızında elektrokoagülasyon yapmak için 0.75 A ve 1.25 A ara değer akımlar içinde deneyler yapıldı.



Resim 3. 20 Kapalı çevrim ilk deney sonrası elde edilen mikroskop inceleme numuneleri



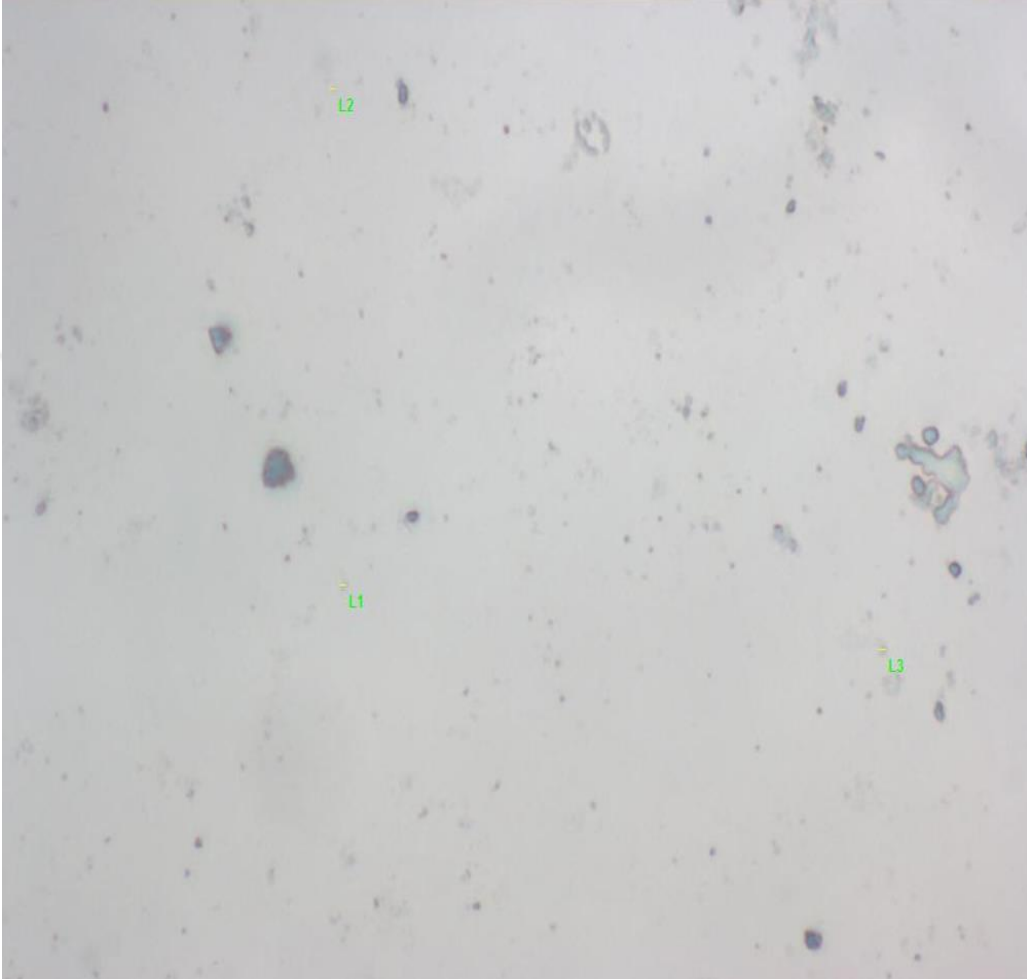
Resim 3. 21 Kapalı çevrim ek deney sonrası elde edilen mikroskop inceleme numuneleri

Resim 3.22’de ki OLYMPUS BX60 optik mikroskop kullanarak 500X te lameller konularak incelenmiş ve elde edilen görüntüler içinde mikron altı boyutta taneler araştırılıp boyut tayinleri yapıpı tablolaştırılmıştır.



Resim 3. 22 Numunelerin incelendiği optik mikroskop

0.5 A ve V2 hızında yapılan deney sonucunda elde edilen mikroskop görüntüleri Resim 3.23'te olup mikroskop analizi sonucunda ölçülen tane boyutlarına ait değerlerde Çizelge 3.140'da verilmiştir.

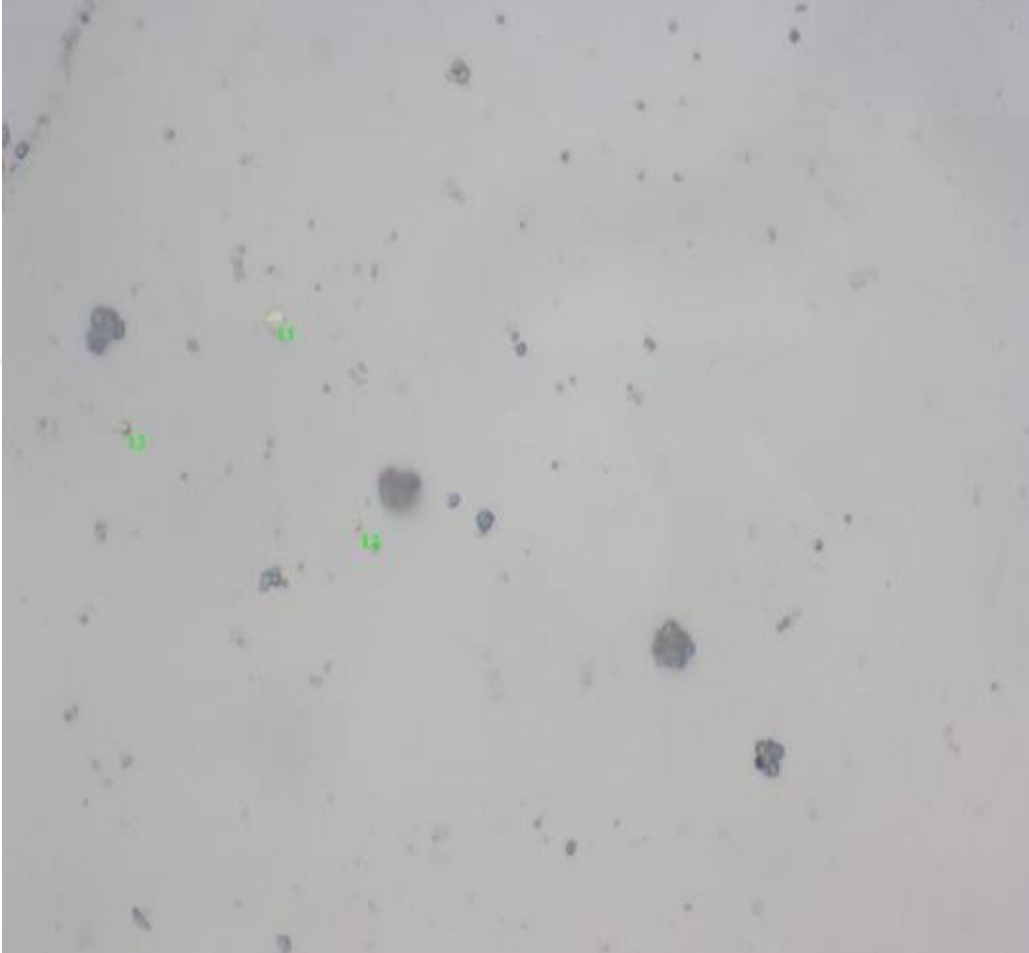


Resim 3. 23 0.5 A / V2 optik mikroskop görüntüsü

Çizelge 3. 140 0.5 A / V2 hızında filtreleme sonrasında tutulan madde boyutu örneği

Noktanın adı	Büyüklük değeri (µm)
L1	0.915631
L2	0.784826
L3	0.784826

0.5 A ve V3 hızında yapılan deney sonucunda elde edilen mikroskop görüntüleri Resim 3.24'te olup mikroskop analizi sonucunda ölçülen tane boyutlarına ait değerlerde Çizelge 3.141'de verilmiştir.

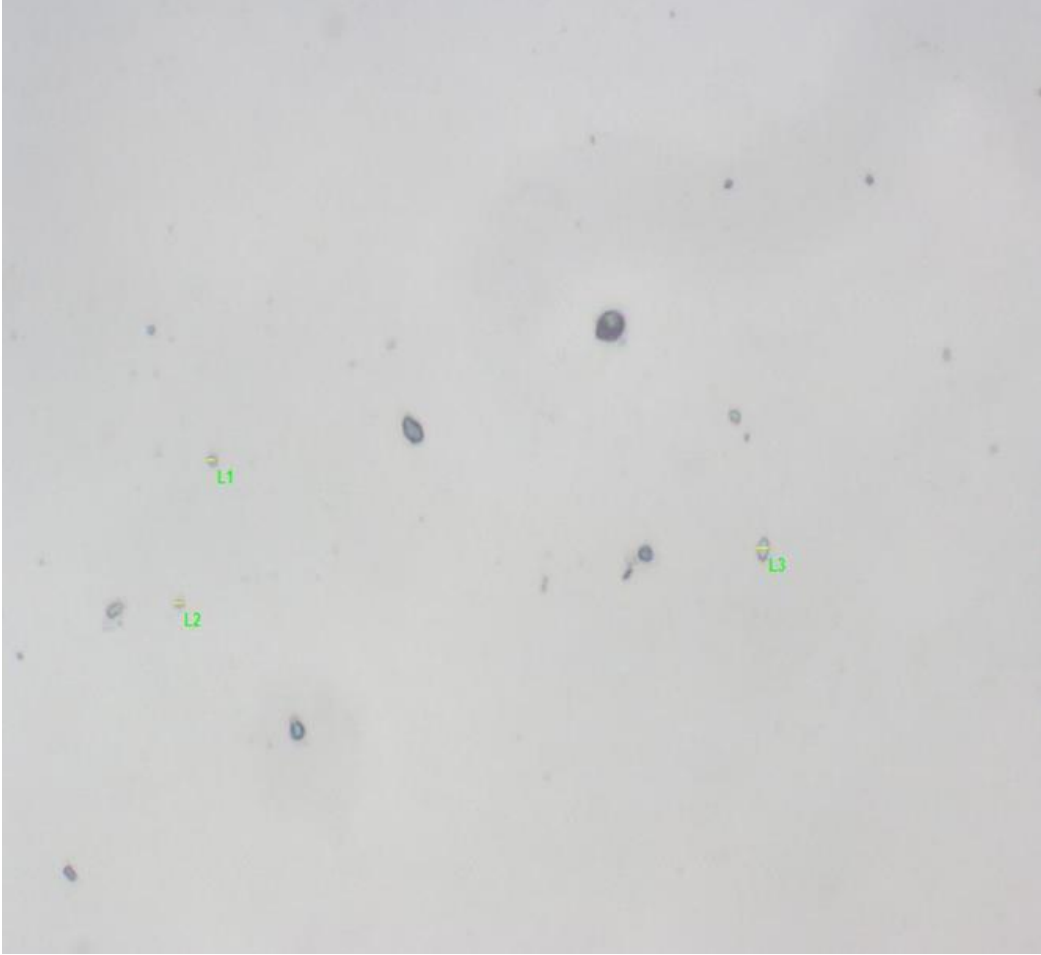


Resim 3. 24 0.5 A / V3 optik mikroskop görüntüsü

Çizelge 3. 141 0.5 A / V3 hızında filtreleme sonrasında tutulan madde boyutu örneği

Noktanın adı	Büyüklik değeri (μm)
L1	0.650221
L2	1.046435
L3	0.588619

1 A ve V2 hızında yapılan deney sonucunda elde edilen mikroskop görüntüleri Resim 3.25'te olup mikroskop analizi sonucunda ölçülen tane boyutlarına ait değerlerde Çizelge 3.142'de verilmiştir.

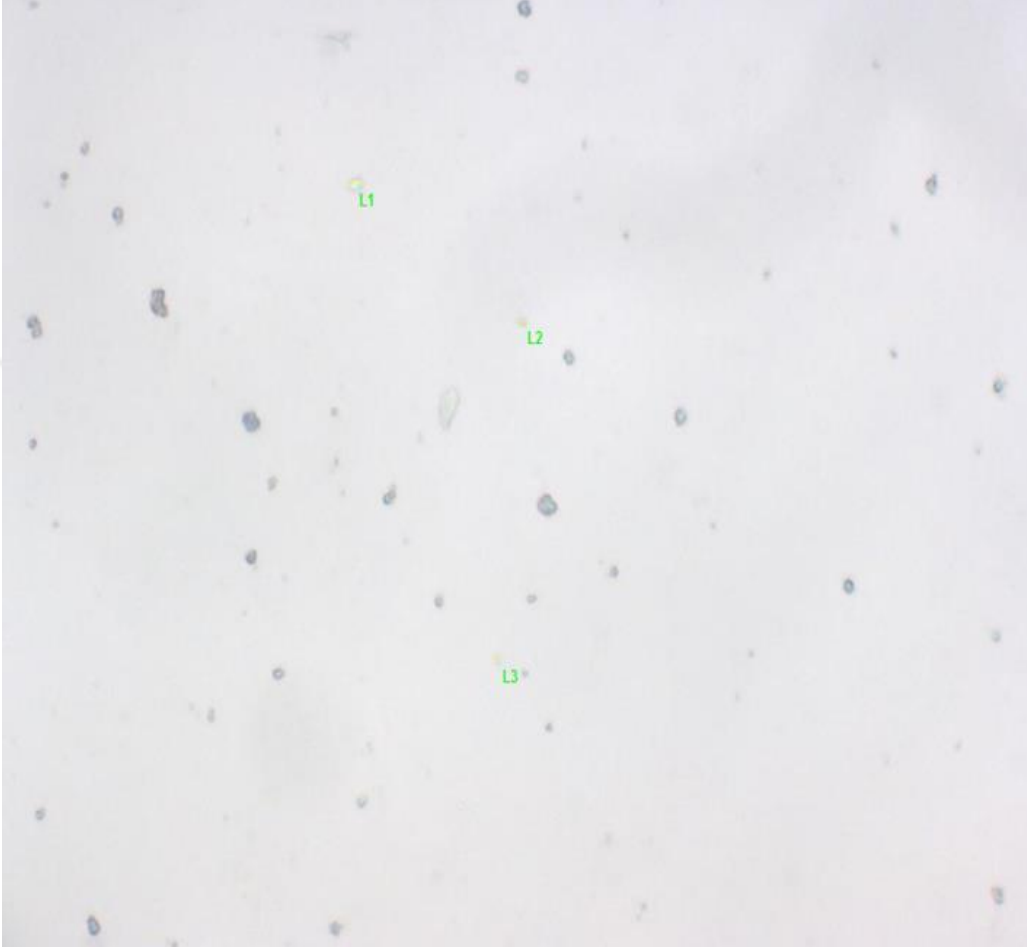


Resim 3. 25 1 A / V2 optik mikroskop görüntüsü

Çizelge 3. 142 1 A / V2 hızında filtreleme sonrasında tutulan madde boyutu örneği

Noktanın adı	Büyüklik değeri (µm)
L1	0.915631
L2	1.046435
L3	1.034103

1 A ve V3 hızında yapılan deney sonucunda elde edilen mikroskop görüntüleri Resim .26'da olup mikroskop analizi sonucunda ölçülen tane boyutlarına ait değerlerde Çizelge 3.143'de verilmiştir.



Resim 3. 26 1 A / V3 optik mikroskop görüntüsü

Çizelge 3. 143 1 A / V3 hızında filtreleme sonrasında tutulan madde boyutu örneği

Noktanın adı	Büyüklik değeri (µm)
L1	0.915631
L2	0.719424
L3	0.850228

1.5 A ve V2 hızında yapılan deney sonucunda elde edilen mikroskop görüntüleri Resim 3.27’de olup mikroskop analizi sonucunda ölçülen tane boyutlarına ait değerlerde Çizelge 3.144’de verilmiştir.



Resim 3. 27 1.5 A / V2 optik mikroskop görüntüsü

Çizelge 3. 144 1.5 A / V2 hızında filtreleme sonrasında tutulan madde boyutu örneği

Noktanın adı	Büyüklik değeri (μm)
L1	1.635055
L2	0.981033
L3	0.719424

1.5 A ve V3 hızında yapılan deney sonucunda elde edilen mikroskop görüntüleri Resim 3.28’de olup mikroskop analizi sonucunda ölçülen tane boyutlarına ait değerlerde Çizelge 3.145’de verilmiştir.



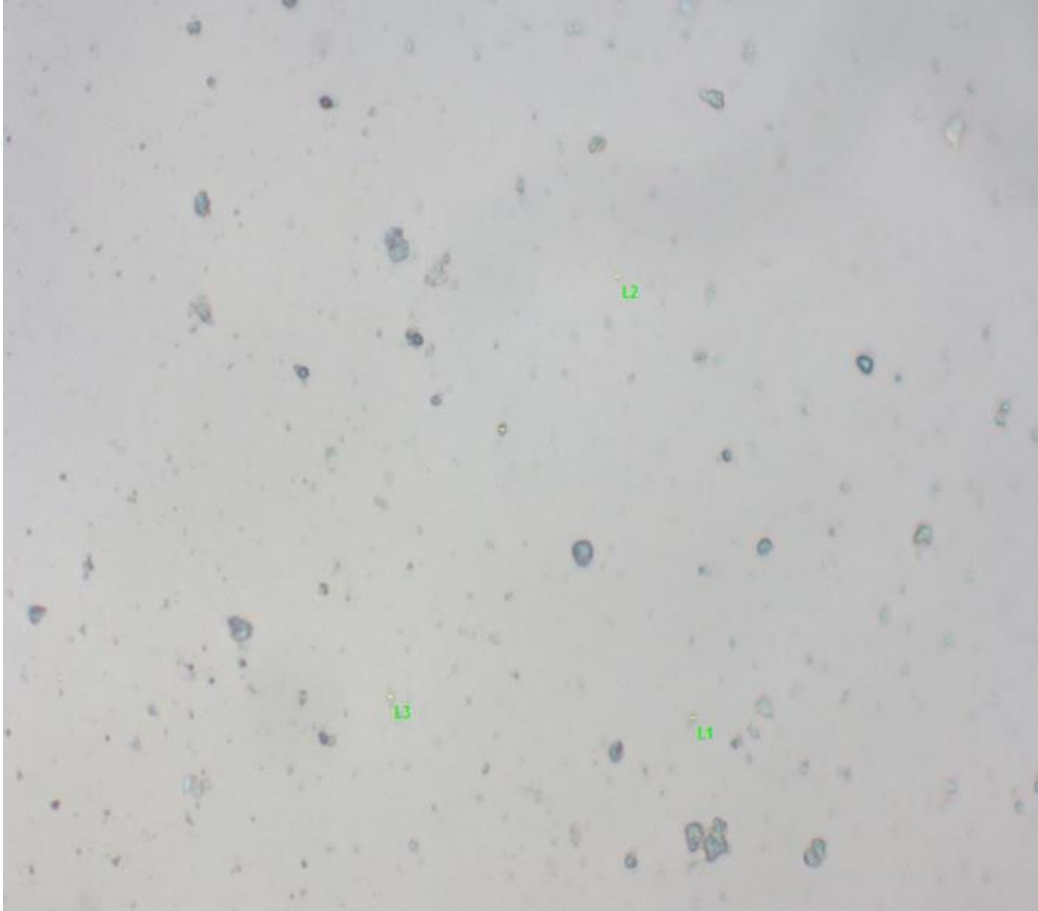
Resim 3. 28 1.5 A / V3 optik mikroskop görüntüsü

Çizelge 3. 145 1.5 A / V3 hızında filtreleme sonrasında tutulan madde boyutu örneği

Noktanın adı	Büyüklük değeri (µm)
L1	0.981033
L2	0.586199
L3	0.981033

Nihai son deneylere geçmeden önce doğru akım ve doğru pompa hızında elektrokoagülasyon için yapılan ek 0.75 A ve 1.25 A ara değer akımlarındaki deneylere ait mikroskop görüntüleride elde edilmiştir.

0.75 A ve V2 hızında yapılan deney sonucunda elde edilen mikroskop görüntüleri Resim 3.29’de olup mikrsokop analizi sonucunda ölçülen tane boyutlarına ait değerlerde Çizelge 3.146’da verilmiştir.

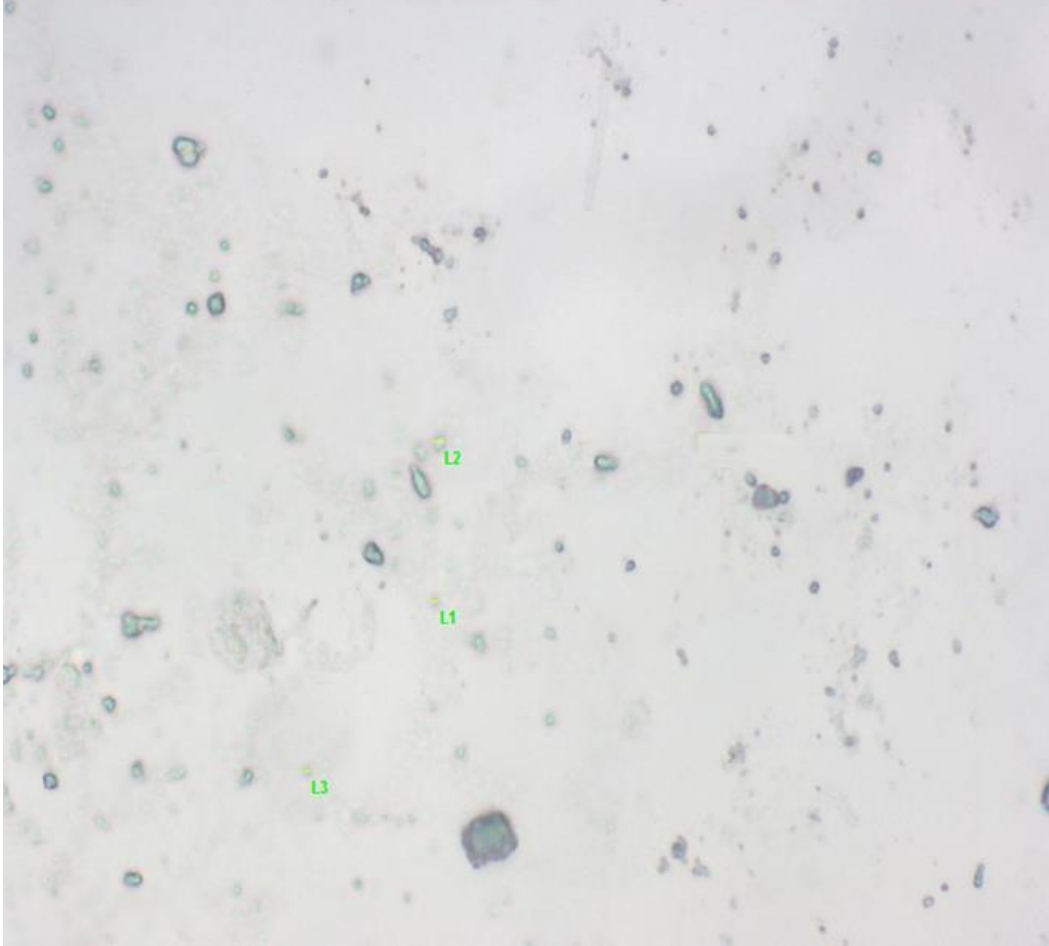


Resim 3. 29 0.75 A / V2 optik mikroskop görüntüsü

Çizelge 3. 146 0.75 A / V2 hızında filtreleme sonrasında tutulan madde boyutu örneği

Noktanın adı	Büyüklük değeri (μm)
L1	0.879296
L2	0.639488
L3	0.959232

0.75 A ve V3 hızında yapılan deney sonucunda elde edilen mikroskop görüntüleri Resim 3.30'da olup mikroskop analizi sonucunda ölçülen tane boyutlarına ait değerlerde Çizelge 3.147'de verilmiştir.

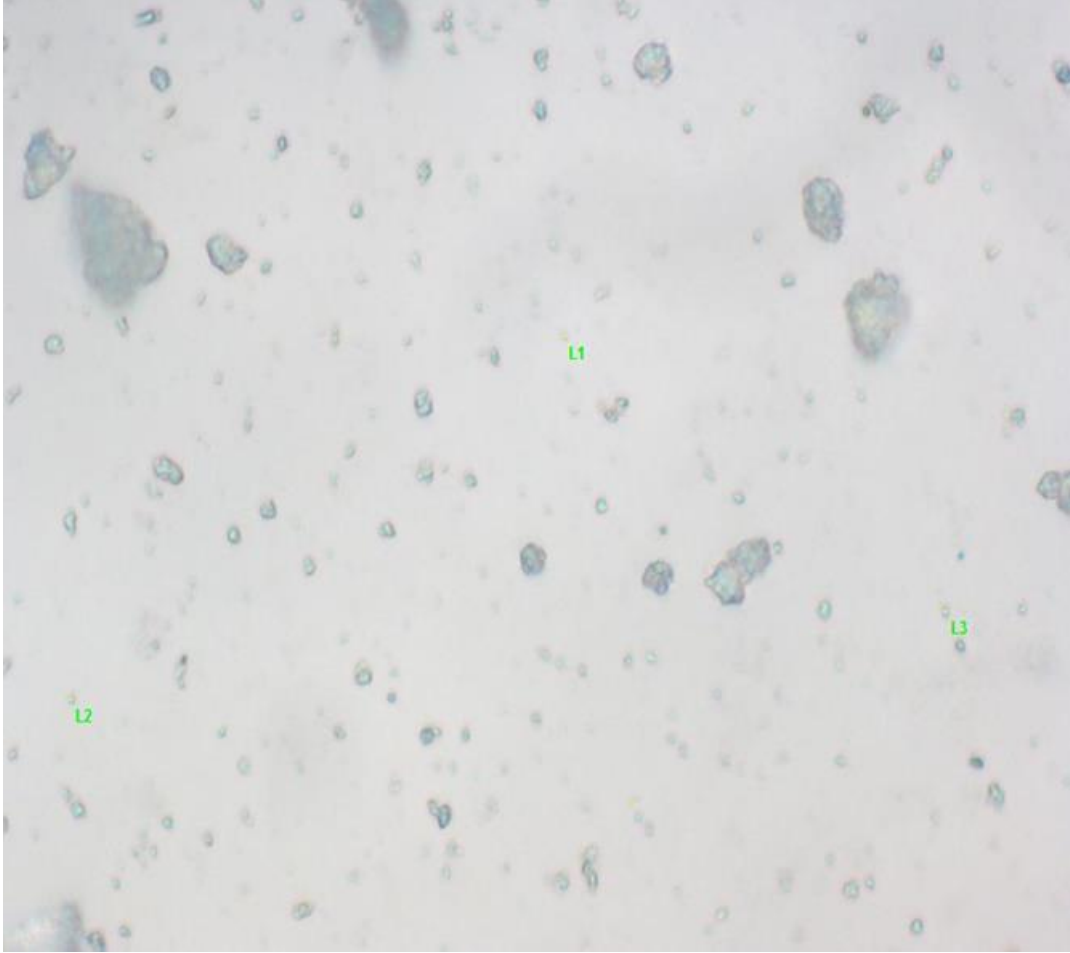


Resim 3. 30 0.75 A / V3 optik mikroskop görüntüsü

Çizelge 3. 147 0.75 A / V3 hızında filtreleme sonrasında tutulan madde boyutu örneği

Noktanın adı	Büyüklik değeri (μm)
L1	0.915631
L2	1.308044
L3	0.915631

1.25 A ve V2 hızında yapılan deney sonucunda elde edilen mikroskop görüntüleri Resim 3.31’de olup mikroskop analizi sonucunda ölçülen tane boyutlarına ait değerlerde Çizelge 3.148’de verilmiştir.

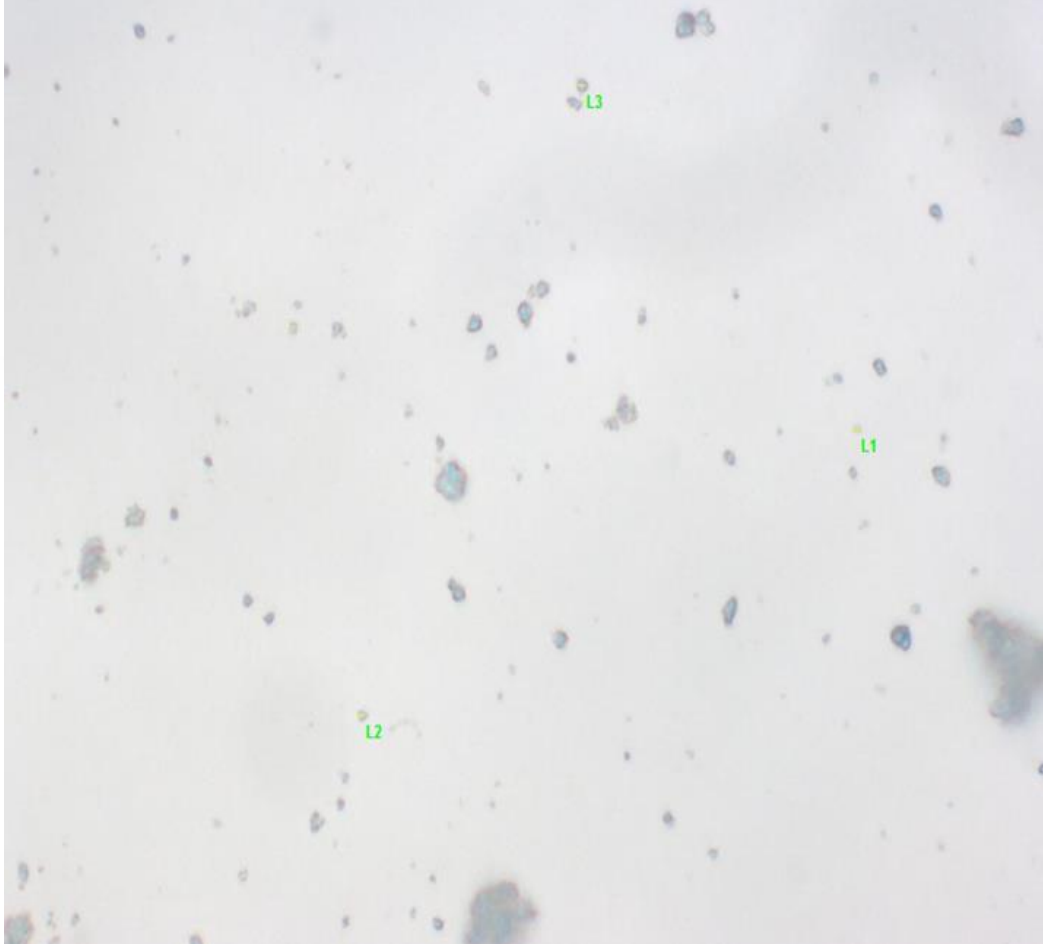


Resim 3. 31 1.25 A / V2 optik mikroskop görüntüsü

Çizelge 3. 148 1.25 A / V2 hızında filtreleme sonrasında tutulan madde boyutu örneği

Noktanın adı	Büyüklik değeri (µm)
L1	0.915631
L2	1.308044
L3	0.915631

1.25 A ve V3 hızında yapılan deney sonucunda elde edilen mikroskop görüntüleri Resim 3.32’de olup mikroskop analizi sonucunda ölçülen tane boyutlarına ait değerlerde Çizelge 3.149’da verilmiştir.



Resim 3. 32 1.25 A / V2 optik mikroskop görüntüsü

Çizelge 3. 149 1.25 A / V3 hızında filtreleme sonrasında tutulan madde boyutu örneği

Noktanın adı	Büyüklik değeri (μm)
L1	0.850228
L2	0.981033
L3	0.588619

3.5 Silan İlaveli Deneyler

Yapay silisyum kaynağı olarak biline silan endüstride genellikle silikon bazlı polimer elde edilmesi amacıyla yaygın olarak kullanılan, silisyum ve hidrojen atomlarından oluşan organosilikon bileşiğidir aslında. Yapay silis elde etmek için farklı yöntemler olmakla birlikte alınış çeşitli patenlerde mevcuttur.

Silan elde etme yöntemlerinden birinin proses aşmaşlarına baktığımızda. İlk olarak silikon tetraklorür hidroksitlerle tepkimeye sokularak silanol elde edilir. Silil klorür elde etmek için silanol sidroklorük asitle reaksiyona sokulur. Son olarak elde edilen bu bileşik aklolle yada hidroksitle tepkimeye sokularak silan elde edilir.

Arka planda açıklanan buluş, alkoksisilanlardan, alkali metal hidroksitten ve sudan katı silanol tuzları üretmek için bir işlemle ilgilidir. İşlem, sabit bir yatakta su ve alkolün çıkarılmasını içerir. Buluş, kuru yapı malzemelerine eklenebilen ve şantiyede uygulama sırasında su eklenmesi üzerine hidrofobik özelliklerini geliştirebilen katı bir hidrofobikleştirici madde ihtiyacını ele almaktadır.

Potasyum metil silikonat gibi alkali metal organosilikonatlar, mineral yapı malzemelerinin hidrofobikleştirilmesi için yıllardır kullanılmaktadır. Bu organosilikonatlar suda çözünür ve katı yüzeylere sulu çözeltiler olarak uygulanabilir. Su buharlaştıktan sonra karbondioksitin etkisiyle su itici yüzeyler oluştururlar. Alkali metal organosilikonatların bir avantajı, kütleme sırasında istenmeyen uçucu organik yan ürünleri salmamalarıdır, çünkü hidrolitik olarak parçalanabilen organik radikaller içermezler.

Alınan patent çalışmasında amaçlanan alkoksisilan kullanarak alkali metal hidroksit ve su kullanarak katı halde olan bir silanol tuz üretmektir. Mineral yapılı malzemeler başta olmak üzere kuru yapı malzemelerine uygulama sırasında suya ekleyerek kullanılan yine potasyum metil silikonat gibi alkali metal organosilikonatların hidrofobikleştirici bir işlemde kullanılmasıdır.

Bu tür maddeler suda çözünmek suretiyle katı yüzeyli maddelerle sulu çözelti elde edilip sonrasında kabondiyoksitin etkisiyle suyun buharlaşması sağlanarak su itici yüzeyler oluşturulmaktadır. Alkali metal organosilikonlar hidrolitik olarak parçalanabilir organik radikalleri bünyesinde bulundurmamaları için kütleme sırasında ortamda istenmeyen maddelerin oluşmasında engellerler.

Önceki patent çalışmalarında organotriklorosilan, organotrialkoksilsilan gibi maddelerin kullanılmasıyla kararlı sulu çözeltilerin elde edilmesiyle neredeyse hiç klor içermeyen silikonat çözeltisinin elde edilmesi, hidrojen klorür ve alkol gibi ürünlerin geri kazanılması amaçlanmıştır.

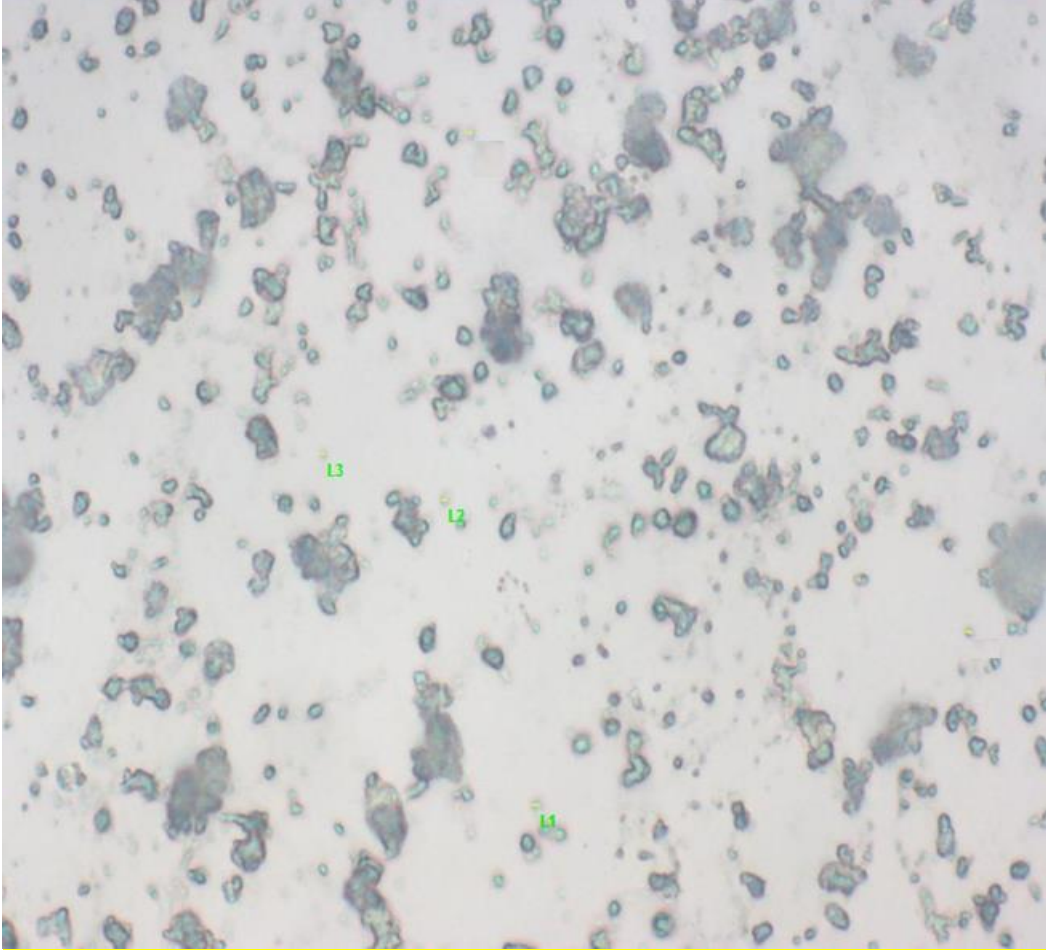
Yine farklı patentlerde alkali metal hidroksit ile reaksiyona girmesini sağlamak için monoorganotrialkoksilsilan veya monoorganotriklorosilan hidrolizatın alkol çözeltisi içerisinde katı silikatların elde edilmesini sağlayan hidratlar üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bu işlem sonrasında alkol buharlaştırılarak yada polar olmayan çözücü eklenerek kristalleşme sağlanmış, kalan çözeltide buharlaştırılarak daha fazla katının elde edilmesi amaçlanmıştır.

Silan elde edilen bu patent çalışmasında alkali metal hidroksit ve sudan silanol tuzlarının katı şekilde üretilmesi amaçlanmıştır. Proses aşamalarını incelediğimizde ilk olarak alkali metal hidroksit hidrolize edilerek yüksek viskoziteli maddekerin topaklanması engellenmiş ve su-alkol çözeltisi oluşturulmuştur. İkinci aşamada ise alkol ve su buharlaştırılmıştır (USA Patent, 2015).

Optik mikroskopta kapalı çevrim yapılan deneyler sonucunda elde edilen filtrelenmiş malzemeler lamellerde incelenirken ortalama EC değerleri yüksek olan 3 adet deney seçilerek lamellerin üzerine silan damlatılarak tane dağılımının nasıl olduğu incelenmiştir.

Silanlı deneylerde kullanılan silan 1.338 g K-Metil, 0.053 g H_3PO_4 içermekte olup pH değeri 10.4'tür.

Silan içeren 0.75 A ve V2 hızında yapılan deney sonucunda elde edilen mikroskop görüntüleri Resim 3.33’de olup mikroskop analizi sonucunda ölçülen tane boyutlarına ait değerlerde Çizelge 3.150’de verilmiştir.

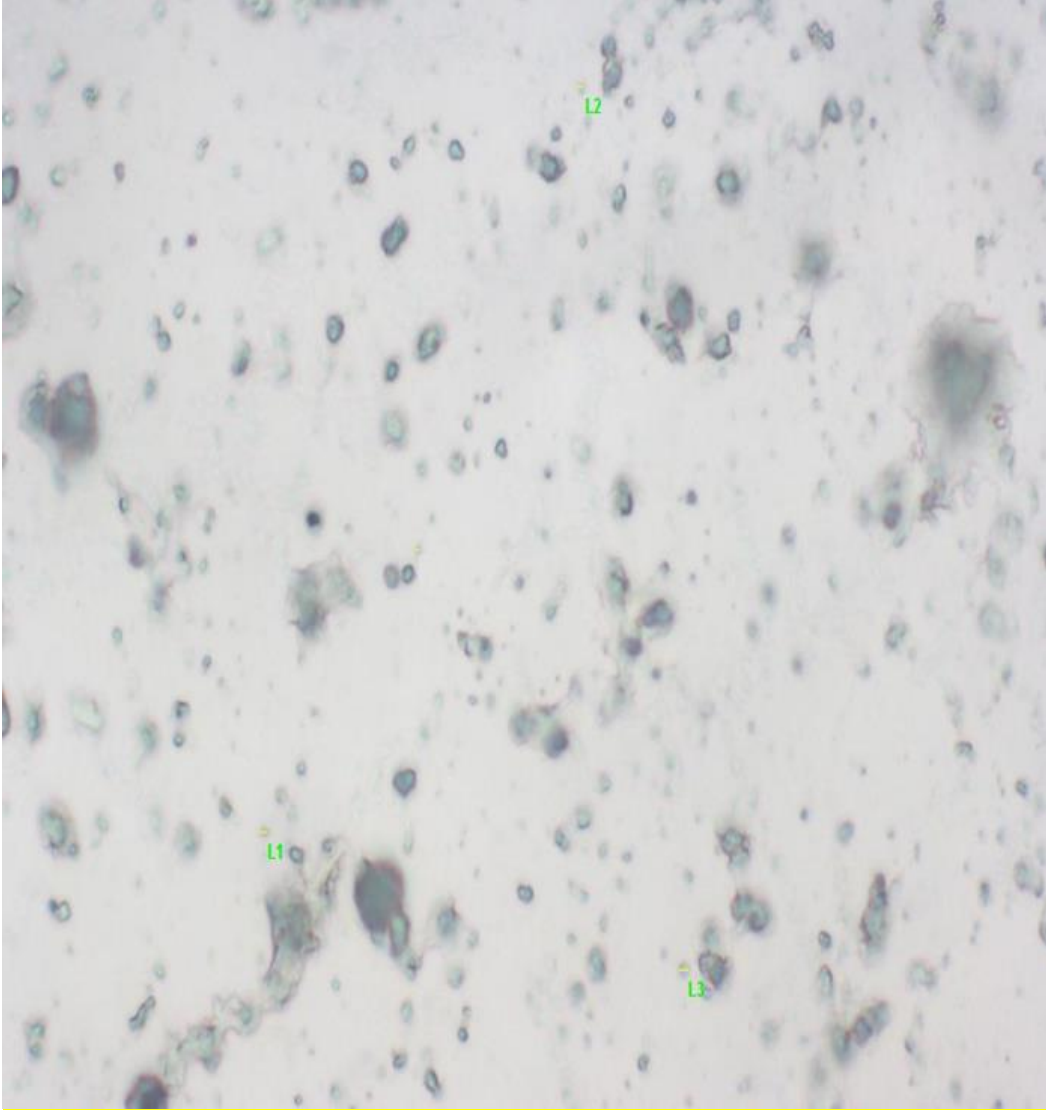


Resim 3. 33 Silan içeren 0.75 A / V2 optik mikroskop görüntüsü

Çizelge 3. 150 Silan içeren 0.75 A / V2 hızında filtreleme sonrasında tutulan madde boyutu örneği

Noktanın adı	Büyüklik değeri (µm)
L1	0.980332
L2	0.850228
L3	0.784826

Silan içeren 1 A ve V3 hızında yapılan deney sonucunda elde edilen mikroskop görüntüleri Resim 3.34'te olup mikroskop analizi sonucunda ölçülen tane boyutlarına ait değerlerde Çizelge 3.151'de verilmiştir.

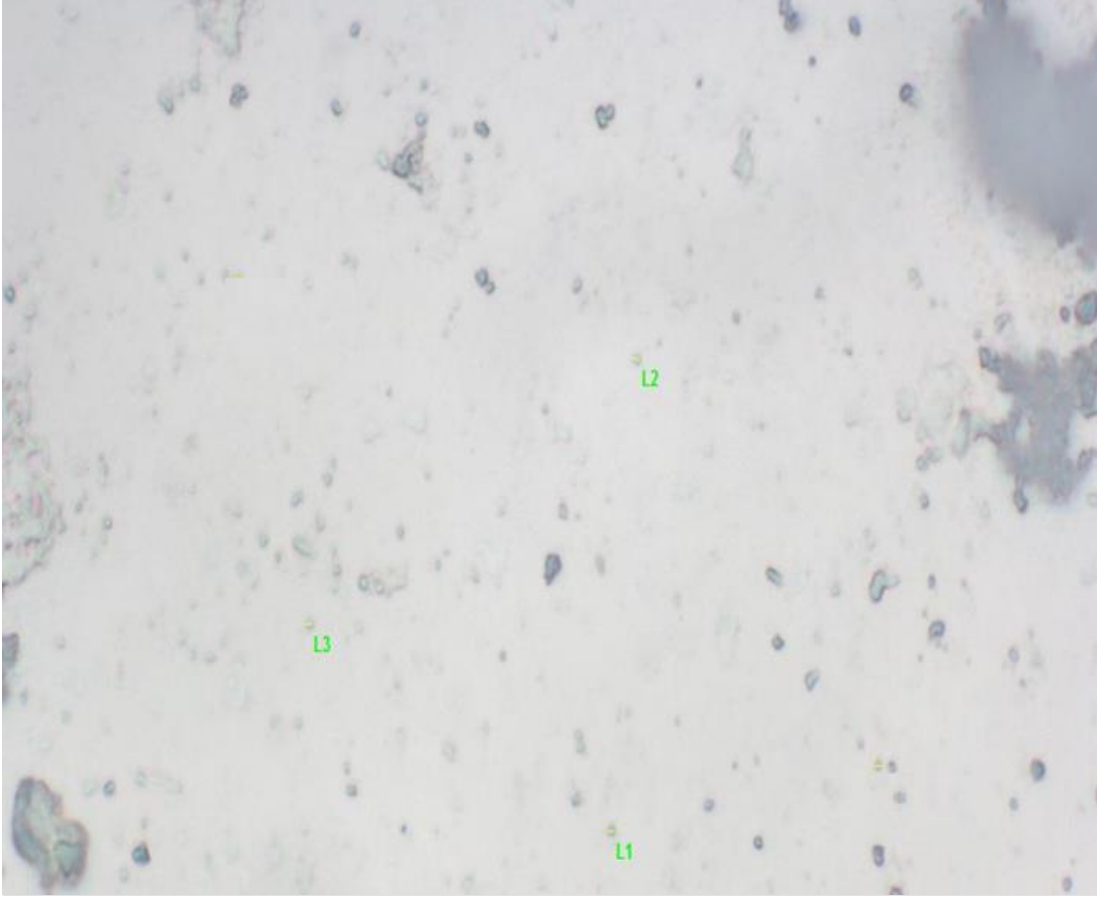


Resim 3. 34 Silan içeren 1 A / V3 optik mikroskop görüntüsü

Çizelge 3. 151 Silan içeren 1 A / V3 hızında filtreleme sonrasında tutulan madde boyutu örneği

Noktanın adı	Büyüklik değeri (µm)
L1	1.177240
L2	0.784829
L3	1.157202

Silan içeren 1.5 A ve V2 hızında yapılan deney sonucunda elde edilen mikroskop görüntüleri Resim 3.35'te olup mikrsokop analizi sonucunda ölçülen tane boyutlarına ait değerlerde Çizelge 3.152'da verilmiştir.



Resim 3. 35 Silan içeren 1.5 A / V2 optik mikroskop görüntüsü

Çizelge 3. 152 Silan içeren 1.5 A / V2 hızında filtreleme sonrasında tutulan madde boyutu örneği

Noktanın adı	Büyüklik değeri (µm)
L1	0.850228
L2	0.654021
L3	0.784826

3.6 Nano Silis Elde Etmek İçin Yapılan Deneyler

Aslında şimdiye kadar yapılan tüm deneyler ve tüm çalışmalar elektrokoagülasyon için yapılan deney cihazının davranışını anlamak ve nano silis elde etmek için uygun akım ve uygun pompa hızı seçmektir. İlk etapta saf su ve değişik oranlarda NaCl ilave edilerek tersler yapıldı. Sonra sürekli dışardan termal suyla deney düzeneği beslenerek açık çevrim deneylere geçildi. En son olarakta yapılan literatür çalışmalarında tohumlama (CEED) yapıldığında polimerizasyonun arttığı görüldüğü için kapalı çevrim deneylere geçildi. Bu deneylerde 15 dk boyunca deney seti dışarıdan termal suyla beslenip elektrokoagülasyon uygulandı. Deney setinde bu işlem sonucunda elde edilen su 15. Dk dan sonra sisteme tohumlama yapması için tekrar verildi. Nihai son aşamadaysa yapay labartuvar ortamında elde edilen silan 500 ml termal suya 1/5 oranında katılıp manuel olarak karıştırılarak deney setinin içine konulup sonrasında belirlenen akım ve pompa hızlarında sistem 15 dk boyunca beslenip 15. Dk sonra toplanan elektrokoagülasyon olmuş suyla deney seti beslenmeye devam etti. Yapılan deneyler sonucunda kapalı ve açık çevrim arasında ortalama EC değerleri bakımından çok fazla büyük bir fark olmamasına rağmen tohumla olayının polimerizasyon üzerinde önemli etkisinde dolayı kapalı çevrim olarak nihahi deneylerin yapılmasına karar verildi.

Tüm bu deneyler, optik mikroskoptaki tane dağılımlarına bakılarak nano silis elde etmek için 3 akım şiddeti ve pompa hızı seçilerek kapalı çevrim olarak nihai son deneyler yapıldı. 0.5 A akım şiddeti V3 pompa hızı, 1 A akım şiddeti ve V3 pompa hızı, 1.5 A akım şiddeti ve V2 amper hızlarında hem kapalı çevrim normal şekilde hemde 1/5 oranında silan ilave edilmiş şekilde 6 deney yapıldı. İlk etapta kapalı çevrim deneylerinde 0.5 A ve V3 pompa hızında kapalı çevrim deney yapıldı. Elektrokoagülasyon deneylerine başlamadan önce termal suya ait deney öncesi değerler ölçülmüş ve Çizelge 3.153'de gösterilmiştir.

Çizelge 3. 153 Termal suya ait V3 hızı 0.5 A akım kapalı çevrim deney öncesi ölçüm değerleri

EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	pH	Sıcaklık (°C)
4945	2335	0.5	5.6	3.9	19.5

Çizelge 3. 154 Kapalı çevrim V3 pompa hızında ve 0.5A akımda deney ölçüm değerleri

pH	Sıcaklık (°C)	Periyod Sayısı	E C (µs/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	$\bar{X}$ EC	$\bar{X}$ TDS	$\bar{X}$ Akım	$\bar{X}$ Volt
4.1	18.5	1.	4967	2350	0.50	5.6	5016.6	2367.6	0.5	5.5
		2.	4995	2351	0.50	5.6				
		3.	5011	2370	0.50	5.4				
		4.	5076	2381	0.50	5.4				
		5.	5034	2386	0.50	5.4				
		6.	5071	2348	0.50	5.1				
		7.	5034	2386	0.50	5.1				
4.1	18.2	8.	5076	2344	0.50	4.9	5046.0	2355.8	0.5	5.0
		9.	5024	2358	0.50	4.9				
		10.	5025	2343	0.50	4.9				
		11.	5084	2354	0.50	4.9				
		12.	4957	2317	0.50	4.9				
		13.	4980	2358	0.50	4.9	5008.8	2349.4	0.5	4.9
		14.	5013	2360	0.50	4.9				
4.2	18.2	15.	5010	2358	0.50	4.9				
		16.	4960	2330	0.50	4.9				
		17.	4985	2362	0.50	4.9				
		18.	5035	2360	0.50	4.9	4995.6	2345.8	0.5	4.9
		19.	5018	2351	0.50	4.8				
		20.	4980	2326	0.50	4.8				
		21.	5031	2360	0.50	4.8				
4.3	18.3	22.	5040	2370	0.50	4.8				
		23.	5013	2335	0.50	4.8	5015.8	2348.4	0.5	4.8
		24.	4995	2337	0.50	4.8				
		25.	5000	2340	0.50	4.8				
		26.	4995	2345	0.50	4.8				
		27.	4990	2344	0.50	4.8				
		28.	5000	2345	0.50	4.8	4975.8	2343.4	0.5	4.8
4.3	18.4	29.	4922	2331	0.50	4.8				
		30.	4972	2352	0.50	4.8				

Deney düzeneğine 0.5 A akım uygulandığında TDS, EC, pH, sıcaklık, amper ve gerilime ait parametrelerdeki değişim değerleri periyodik ölçülerek Çizelge 3.154’de ki değerler elde edilmiştir. Sonrasında verilere ait ortalamalar ve yüzdesel değişimlerinin neler olduğu üzerine Çizelge 3.155’de ki gibi çalışmalar yapılmıştır.

Termal suyla yapılan V3 pompa hızı ve 0.5 A akıma ait elde edilen verilerden ortalama EC, TDS, Akım ve gerilim değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Çizelge 3. 155 Kapalı çevrim V3 pompa hızı, 0.5 A akımda standart sapma ve yüzde değişimleri

Σ EC	Σ TDS	Σ Akım Şiddeti (A)	Σ Gerilim (V)	% EC	% TDS	% Akım Şiddeti (A)	% Gerilim (V)
36.8	14.9	0.0	0.1	1.4	1.4	0.0	-2.1
22.8	16.0	0.0	0.1	2.0	0.9	0.0	-11.1
42.9	16.3	0.0	0.0	1.3	0.6	0.0	-12.5
27.1	15.1	0.0	0.0	1.0	0.5	0.0	-13.2
17.4	14.0	0.0	0.0	1.4	0.6	0.0	-14.3
4.8	28.5	6.8	0.0	0.0	0.6	0.4	0.0

Jeotermal suyla kapalı çevrim V3 hızında 1 A akımda deneyleri yapılmıştır. Elektrokoagülasyon deneylerine başlamadan önce termal suya ait deney öncesi değerler ölçülmüş ve Çizelge 3.156’de gösterilmiştir.

Çizelge 3. 156 Termal suya ait V3 hızı 1 A akım kapalı çevrim deney öncesi ölçüm değerleri

EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	pH	Sıcaklık (°C)
4874	2291	1	7.5	4.5	18

Çizelge 3. 157 Kapalı çevrim V3 pompa hızında ve 1 A akımda deney ölçüm değerleri

pH	Sıcaklık (°C)	Periyod Sayısı	E C (µs/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	$\bar{X}$ EC	$\bar{X}$ TDS	$\bar{X}$ Akım	$\bar{X}$ Volt
4.1	17.7	1.	4844	2297	1	7.6	4820.2	2274.2	1.0	7.3
		2.	4740	2275	1	7.6				
		3.	4861	2271	1	7.3				
		4.	4845	2257	1	7.1				
		5.	4811	2271	1	6.8				
		6.	4813	2230	1	6.8				
4.3	17.5	7.	4850	2255	1	6.8	4815.8	2251.6	1.0	6.7
		8.	4799	2265	1	6.7				
		9.	4772	2258	1	6.7				
		10.	4845	2250	1	6.7				
		11.	4845	2255	1	6.7				
		12.	4818	2270	1	6.6				
4.3	17.5	13.	4832	2279	1	6.6	4838.0	2271.6	1.0	6.6
		14.	4886	2274	1	6.6				
		15.	4809	2280	1	6.6				
		16.	4820	2270	1	6.6				
		17.	4806	2286	1	6.6				
		18.	4850	2292	1	6.6				
4.3	17.5	19.	4820	2265	1	6.6	4833.8	2277.8	1.0	6.6
		20.	4873	2276	1	6.6				
		21.	4816	2290	1	6.6				
		22.	4873	2247	1	6.5				
		23.	4806	2271	1	6.5				
		24.	4876	2278	1	6.5				
4.3	17.6	25.	4812	2267	1	6.5	4836.6	2270.6	1.0	6.5
		26.	4900	2270	1	6.5				
		27.	4850	2282	1	6.4				
		28.	4842	2251	1	6.4				
		29.	4790	2274	1	6.4				
		30.	4824	2261	1	6.4				

Çizelge 3.157’de ki ölçüm değerleri üzerine istatistiksel çalışmalar yapılarak verilere ait ortalamalar ve yüzdesel değişimlerinin neler olduğu üzerine Çizelge 3.158’de ki çalışmalar yapılmıştır.

Termal suyla yapılan V3 pompa hızı ve 1 A akıma ait elde edilen verilerden ortalama EC, TDS, Akım ve gerilim değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Çizelge 3. 158 Kapalı çevrim V3 pompa hızı, 1 A akımda standart sapma ve yüzde değişimleri

Σ EC	Σ TDS	Σ Akım Şiddeti (A)	Σ Gerilim (V)	% EC	% TDS	% Akım Şiddeti (A)	% Gerilim (V)
43.3	12.9	0.0	0.3	-1.1	-0.7	0.0	-2.9
29.1	11.8	0.0	0.0	-1.2	-1.7	0.0	-10.1
26.9	9.0	0.0	0.0	-0.7	-0.8	0.0	-11.7
24.3	10.0	0.0	0.0	-0.8	-0.6	0.0	-12.0
31.1	14.2	0.0	0.0	-0.8	-0.9	0.0	-13.1
35.9	10.7	0.0	0.0	-0.7	-1.0	0.0	-14.4

Jeotermal suyla kapalı çevrim V2 hızında 1.5 A akımda deneyleri yapılmıştır. Elektrokoagülasyon deneylerine başlamadan önce termal suya ait deney öncesi değerler ölçülmüş ve Çizelge 3.159’de gösterilmiştir.

Çizelge 3. 159 Termal suya ait V2 hızı 1.5 A akım kapalı çevrim deney öncesi ölçüm değerleri

EC (μ S/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	pH	Sıcaklık (°C)
4690	2200	1.5	8.8	4.3	18

Çizelge 3. 160 Kapalı çevrim V2 pompa hızında ve 1.5 A akımda deney ölçüm değerleri

pH	Sıcaklık (°C)	Periyod Sayısı	E C (µs/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	$\bar{X}$ EC	$\bar{X}$ TDS	$\bar{X}$ Akım	$\bar{X}$ Volt
4.5	18.4	1.	4697	2214	1.5	8.8	4708.2	2210.2	1.5	8.6
		2.	4673	2207	1.5	8.8				
		3.	4780	2250	1.5	8.4				
		4.	4746	2195	1.5	8.4				
		5.	4645	2185	1.5	8.4				
		6.	4754	2203	1.5	8.3				
4.4	18.4	7.	4616	2235	1.5	8.3	4700.2	2214.4	1.5	8.2
		8.	4754	2233	1.5	8.3				
		9.	4652	2186	1.5	8.1				
		10.	4725	2215	1.5	8.1				
		11.	4715	2220	1.5	8.1				
		12.	4716	2190	1.5	8.1				
4.4	18.2	13.	4725	2226	1.5	8.1	4713.6	2190.2	1.5	8.1
		14.	4700	2155	1.5	8.1				
		15.	4712	2160	1.5	8.1				
		16.	4737	2220	1.5	8.1				
		17.	4636	2152	1.5	8.1				
		18.	4694	2220	1.5	8.0				
4.5	18.4	19.	4728	2190	1.5	8.0	4712.4	2198.4	1.5	8.0
		20.	4767	2210	1.5	8.0				
		21.	4750	2245	1.5	8.0				
		22.	4652	2232	1.5	8.0				
		23.	4786	2221	1.5	8.0				
		24.	4665	2216	1.5	8.0				
4.5	18.3	25.	4710	2217	1.5	8.0	4712.6	2226.2	1.5	8.0
		26.	4665	2285	1.5	8.0				
		27.	4712	2200	1.5	8.0				
		28.	4618	2212	1.5	8.0				
		29.	4707	2185	1.5	8.0				
		30.	4681	2212	1.5	8.0				

Çizelge 3.160’da ki ölçüm değerleri üzerine istatistiksel çalışmalar yapılarak verilere ait ortalamalar ve yüzdesel değişimlerinin neler olduğu üzerine Çizelge 3.161’de ki çalışmalar yapılmıştır.

Termal suyla yapılan V2 pompa hızı ve 1.5 A akıma ait elde edilen verilerden ortalama EC, TDS, Akım ve gerilim değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Çizelge 3. 161 Kapalı çevrim V2 pompa hızı, 1.5 A akımda standart sapma ve yüzde değişimleri

Σ EC	Σ TDS	Σ Akım Şiddeti (A)	Σ Gerilim (V)	% EC	% TDS	% Akım Şiddeti (A)	% Gerilim (V)
48.9	22.2	0.0	0.2	0.4	0.5	0.0	-2.7
56.2	18.5	0.0	0.1	0.2	0.7	0.0	-6.6
8.1	29.4	0.0	0.0	0.5	-0.4	0.0	-8.0
44.7	25.7	0.0	0.0	0.5	-0.1	0.0	-8.6
50.5	11.0	0.0	0.0	0.5	1.2	0.0	-9.1
34.0	34.6	0.0	0.0	-0.3	0.9	0.0	-9.1

Jeotermal suyla kapalı çevrim V3 hızında 0.5 A akımda deneyleri yapılmıştır. Elektrokoagülasyon deneylerine başlamadan önce termal suya ait deney öncesi değerler ölçülmüş ve Çizelge 3.162’de gösterilmiştir.

Çizelge 3. 162 Silan içeren termal su V3 hızı 0.5 A akım deney öncesi ölçüm değerleri

EC (μ s/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	pH	Sıcaklık (°C)
4580	2151	0.5	5.1	4.7	19

Çizelge 3. 163 Silan içeren termal su V3 pompa hızında ve 0.5 A akımda deney ölçüm değerleri

pH	Sıcaklık (°C)	Periyod Sayısı	E C (µs/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	$\bar{X}$ EC	$\bar{X}$ TDS	$\bar{X}$ Akım	$\bar{X}$ Volt
4.5	18.9	1.	3982	1790	1.5	4.9	4000.6	1874.4	1.5	4.9
		2.	4000	1880	1.5	4.9				
		3.	4031	1890	1.5	4.9				
		4.	3980	1892	1.5	4.9				
		5.	4010	1920	1.5	4.7				
		6.	4126	1934	1.5	4.7				
4.3	18.9	7.	4135	1936	1.5	4.7	4099.0	1945.4	1.5	4.7
		8.	4068	1931	1.5	4.7				
		9.	4132	1950	1.5	4.7				
		10.	4034	1976	1.5	4.7				
		11.	4338	2008	1.5	4.7				
		12.	4404	2050	1.5	4.7				
4.3	19	13.	4403	2060	1.5	4.7	4372.6	2049.4	1.5	4.7
		14.	4320	2061	1.5	4.7				
		15.	4398	2068	1.5	4.6				
		16.	4520	2110	1.5	4.6				
		17.	4247	2136	1.5	4.6				
		18.	4597	2132	1.5	4.7				
4.4	19.2	19.	4540	2138	1.5	4.7	4479.0	2130.0	1.5	4.7
		20.	4491	2134	1.5	4.7				
		21.	4465	2130	1.5	4.7				
		22.	4486	2096	1.5	4.7				
		23.	4411	2122	1.5	4.7				
		24.	4504	2090	1.5	4.7				
4.5	19.2	25.	4460	2100	1.5	4.7	4465.2	2107.6	1.5	4.7
		26.	4414	2075	1.5	4.7				
		27.	4400	2086	1.5	4.7				
		28.	4465	2071	1.5	4.7				
		29.	4370	2070	1.5	4.7				
		30.	4416	2091	1.5	4.7				

Çizelge 3.163’de ki ölçüm değerleri üzerine istatistiksel çalışmalar yapılarak verilere ait ortalamalar ve yüzdesel değişimlerinin neler olduğu üzerine Çizelge 3.164’de ki gibi çalışmalar yapılmıştır.

Silan içeren termal suyla yapılan V3 pompa hızı ve 0.5 A akıma ait elde edilen verilerden ortalama EC, TDS, Akım ve gerilim değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Çizelge 3. 164 Silan içeren termal su V3 / 0.5 A akımda standart sapma ve yüzde değişimleri

Σ EC	Σ TDS	Σ Akım Şiddeti (A)	Σ Gerilim (V)	% EC	% TDS	% Akım Şiddeti (A)	% Gerilim (V)
18.9	44.2	0.0	0.1	-12.7	-12.9	0.0	-4.7
40.7	16.6	0.0	0.0	-10.5	-9.6	0.0	-7.8
36.1	21.5	0.0	0.0	-4.5	-4.7	0.0	-8.2
121.1	10.2	0.0	0.0	-2.2	-1.0	0.0	-8.6
31.3	15.6	0.0	0.0	-2.5	-2.0	0.0	-7.8
30.8	8.4	0.0	0.0	-3.6	-3.4	0.0	-7.8

Silan içeren jeotermal suyla kapalı çevrim V3 hızında 1 A akımda deneyleri yapılmıştır. Elektrokoagülasyon deneylerine başlamadan önce termal suya ait deney öncesi değerler ölçülmüş ve Çizelge 3.165’de gösterilmiştir.

Çizelge 3. 165 Silan içeren termal su V3 hızı 1 A akım akım deney öncesi ölçüm değerleri

EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	pH	Sıcaklık (°C)
4585	2147	1.5	8.6	4.6	18.1

Çizelge 3. 166 Silan içeren termal su V3 pompa hızında ve 1 A akımda deney ölçüm değerleri

pH	Sıcaklık (°C)	Periyod Sayısı	E C (µs/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	$\bar{X}$ EC	$\bar{X}$ TDS	$\bar{X}$ Akım	$\bar{X}$ Volt
4.4	18	1.	4015	1881	1.0	6.7	4071.0	1917.4	1.0	6.5
		2.	4100	1900	1.0	6.5				
		3.	4060	1931	1.0	6.5				
		4.	4120	1925	1.0	6.5				
		5.	4060	1950	1.0	6.5				
		6.	4156	1937	1.0	6.3				
4.3	18	7.	4140	1962	1.0	6.3	4162.8	1959.8	1.0	6.3
		8.	4182	1960	1.0	6.3				
		9.	4168	1980	1.0	6.2				
		10.	4168	1960	1.0	6.2				
		11.	4236	2001	1.0	6.2				
		12.	4350	2021	1.0	6.1				
4.3	18	13.	4330	2060	1.0	6.1	4335.2	2048.8	1.0	6.1
		14.	4400	2091	1.0	6.1				
		15.	4360	2071	1.0	6.1				
		16.	4423	2063	1.0	6.1				
		17.	4557	2136	1.0	6.1				
		18.	4587	2127	1.0	6.1				
4.3	18	19.	4427	2156	1.0	6.1	4481.2	2103.2	1.0	6.1
		20.	4560	2138	1.0	6.1				
		21.	4514	2089	1.0	6.1				
		22.	4450	2125	1.0	6.1				
		23.	4485	2100	1.0	6.1				
		24.	4465	2102	1.0	6.2				
4.2	18	25.	4492	2100	1.0	6.2	4411.6	2080.2	1.0	6.2
		26.	4434	2090	1.0	6.2				
		27.	4420	2100	1.0	6.2				
		28.	4378	2074	1.0	6.2				
		29.	4416	2067	1.0	6.2				
		30.	4410	2070	1.0	6.2				

Çizelge 3.166’de ki ölçüm değerleri üzerine istatistiksel çalışmalar yapılarak verilere ait ortalamalar ve yüzdesel değişimlerinin neler olduğu üzerine Çizelge 3.167’de ki gibi çalışmalar yapılmıştır.

Silan içeren termal suyla yapılan V3 pompa hızı ve 1 A akıma ait elde edilen verilerden ortalama EC, TDS, Akım ve gerilim değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Çizelge 3. 167 Silan içeren termal su V3 / 1 A akımda standart sapma ve yüzde değişimleri

Σ EC	Σ TDS	Σ Akım Şiddeti (A)	Σ Gerilim (V)	% EC	% TDS	% Akım Şiddeti (A)	% Gerilim (V)
36.4	24.2	0.0	0.1	-11.2	-10.7	-33.3	-24.0
14.1	13.7	0.0	0.0	-9.2	-8.7	-33.3	-27.2
54.6	33.0	0.0	0.0	-5.4	-4.6	-33.3	-8.2
70.8	31.9	0.0	0.0	-1.6	-1.1	-33.3	-29.1
22.1	11.8	0.0	0.0	-2.3	-2.0	-33.3	-28.6
18.6	12.7	0.0	0.0	-3.8	-3.1	-33.3	-27.9

Silan içeren jeotermal suyla kapalı çevrim V2 hızında 1.5 A akımda deneyleri yapılmıştır. Elektrokoagülasyon deneylerine başlamadan önce termal suya ait deney öncesi değerler ölçülmüş ve Çizelge 3.163’de gösterilmiştir.

Çizelge 3. 168 Silan içeren termal su V2 hızı 1.5 A akım akım deney öncesi ölçüm değerleri

EC (μ s/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	pH	Sıcaklık (°C)
4585	2147	1.5	8.6	4.6	18.1

Çizelge 3. 169 Silan içeren termal su V2 pompa hızında ve 1.5 A akımda deney ölçüm değerleri

pH	Sıcaklık (°C)	Periyod Sayısı	E C (µs/cm)	TDS (ppm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	$\bar{X}$ EC	$\bar{X}$ TDS	$\bar{X}$ Akım	$\bar{X}$ Volt
4.4	18.1	1.	3910	1885	1.5	8.5	3998.2	1873.0	1.5	8.3
		2.	4026	1844	1.5	8.3				
		3.	3995	4900	1.5	8.3				
		4.	4050	1871	1.5	8.2				
		5.	4010	1925	1.5	8.1				
		6.	4035	1921	1.5	8.1				
4.3	18	7.	4071	1934	1.5	7.9	4112.2	1931.0	1.5	7.9
		8.	4145	1910	1.5	7.9				
		9.	4160	1960	1.5	7.9				
		10.	4150	1930	1.5	7.9				
		11.	4110	1960	1.5	7.9				
		12.	4166	1958	1.5	7.7				
4.3	18	13.	4130	1976	1.5	7.7	4193.0	1992.8	1.5	7.7
		14.	4278	2040	1.5	7.7				
		15.	4281	2030	1.5	7.7				
		16.	4350	2040	1.5	7.6				
		17.	4440	2080	1.5	7.6				
		18.	4483	2120	1.5	7.6				
4.3	17.9	19.	4500	2119	1.5	7.7	4450.6	2089.8	1.5	7.6
		20.	4480	2090	1.5	7.7				
		21.	4400	2086	1.5	7.7				
		22.	4447	2078	1.5	7.7				
		23.	4350	2082	1.5	7.8				
		24.	4415	2090	1.5	7.8				
4.3	18.1	25.	4350	2081	1.5	7.8	4392.4	2083.4	1.5	7.8
		26.	4352	2053	1.5	7.9				
		27.	4390	2057	1.5	7.9				
		28.	4350	2056	1.5	7.9				
		29.	4345	2045	1.5	7.9				
		30.	4268	2034	1.5	7.9				

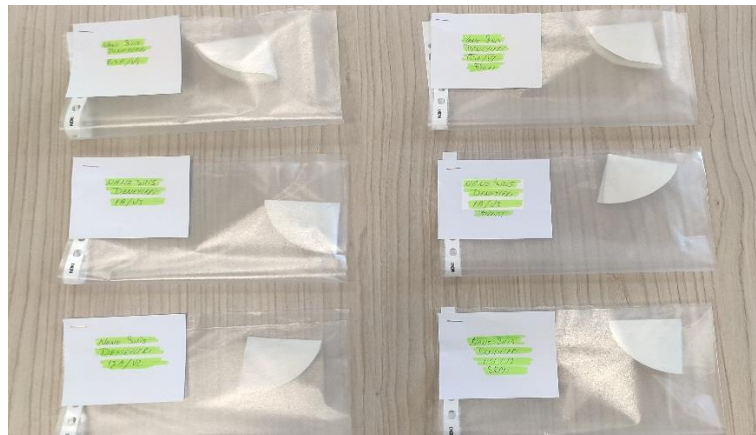
Çizelge 3.169’da ki ölçüm değerleri üzerine istatistiksel çalışmalar yapılarak verilere ait ortalamalar ve yüzdesel değişimlerinin neler olduğu üzerine Çizelge 3.170’de ki gibi çalışmalar yapılmıştır.

Silan içeren termal suyla yapılan V2 pompa hızı ve 1.5 A akıma ait elde edilen verilerden ortalama EC, TDS, Akım ve gerilim değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Çizelge 3. 170 Silan içeren termal su V2 / 1.5 A akımda standart sapma ve yüzde değişimleri

Σ EC	Σ TDS	Σ Akım Şiddeti (A)	Σ Gerilim (V)	% EC	% TDS	% Akım Şiddeti (A)	% Gerilim (V)
47.7	30.9	0.0	0.1	-12.8	-12.8	0.0	-3.7
49.9	16.7	0.0	0.1	-10.3	-10.1	0.0	-7.7
72.9	35.2	0.0	0.1	-8.5	-7.2	0.0	-10.0
54.0	29.5	0.0	0.0	-2.9	-2.7	0.0	-11.2
37.8	4.2	0.0	0.0	-4.2	-3.0	0.0	-9.8
39.9	8.6	0.0	0.0	-5.3	-4.6	0.0	-8.1

Nano silis elde etmek için yapılan son deneyler sonrasında Bölüm 5.4: Elektrokoagülasyon Sonrası Deney Sularının Filtrelenmesi ve İncelenmesi kısmında anlatıldığı aşamalar tekrarlanmıştır. Resim 3.36 deneyde elde edilen filtre kağıtları, Resim 3.37’de de süzülen termal su numuneleri görülüyor.



Resim 3. 36 Nano silis filtreleme işlemi sonrasındaki numuneler



Resim 3. 37 Nano sili filtrelenmiş su numuneler

3.6 Nano Silis SEM Analizleri

SEM analizine sırasıyla uygulanan akım ve pompa hız değerleri 0.5 A / V3, 1 A / V3 ve 1.5 A / V2 şekilde ve bunların deney seti içine 1/5 oranda silan ilaveli kapalı çevrim deneyler olmak üzere 6 adet deney numune hazırlanmıştır. Deney numuneleri süzme işleminde kullanılan filtre kağıtlarından 1 cm x 1.5 cm ebatlarında olacak şekilde hazırlanmıştır. Sonrasında Resim 3.38’de ki BAL-TEC SCD 050 model cihazla mikron altı düzeyde her numune altın kaplama yapılmıştır.



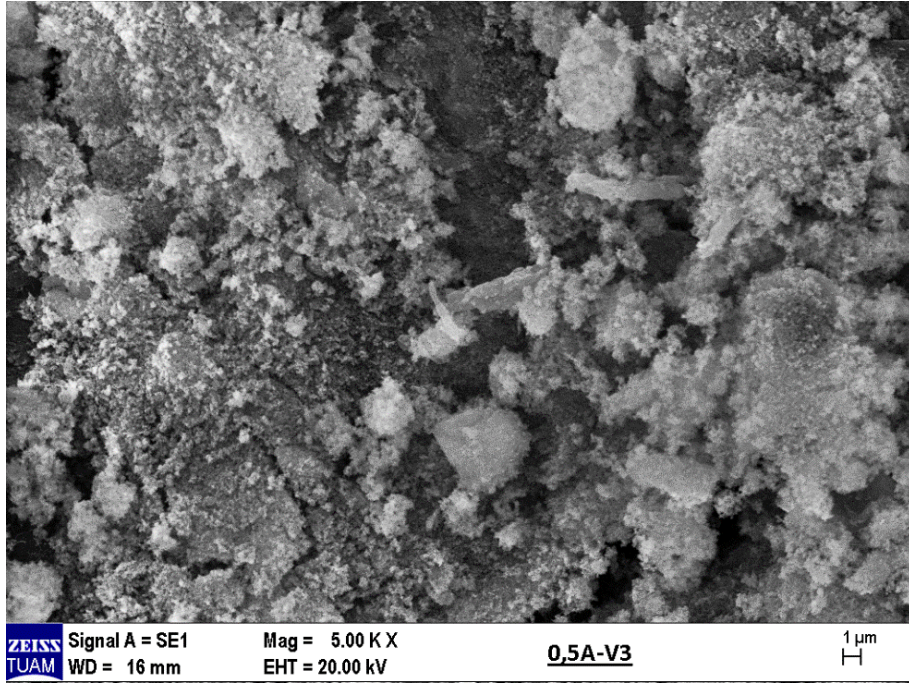
Resim 3. 38 Mikron altı altın kaplama cihazı

Numuneler Resim 3.39’da görülen LEO 1430 VP model SEM cihazı W (Tungsten) filament ile çalışmaktadır. Cihaz üzerinde ikincil elektron (secondary electron), geri yansıyan elektron (backscattered electron) ve RÖNTEC QX2 marka ve model XFlash tipi X ışınları (EDX – Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) detektörü bulunan cihazda SEM’ tabi tutulmuştur.

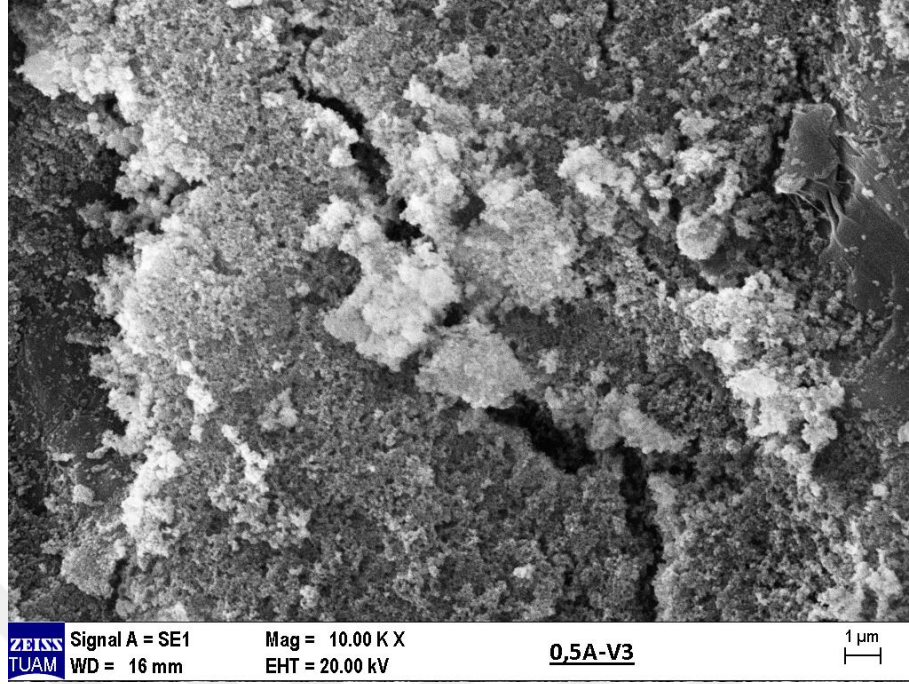


Resim 3. 39 SEM cihazı

Resim 3.40 ve Resim 5.41’de 0.5 A / V3 numunesine ait küçük ölçekli skaladaki tane dağılımlarının SEM görüntüleri verilmiştir.

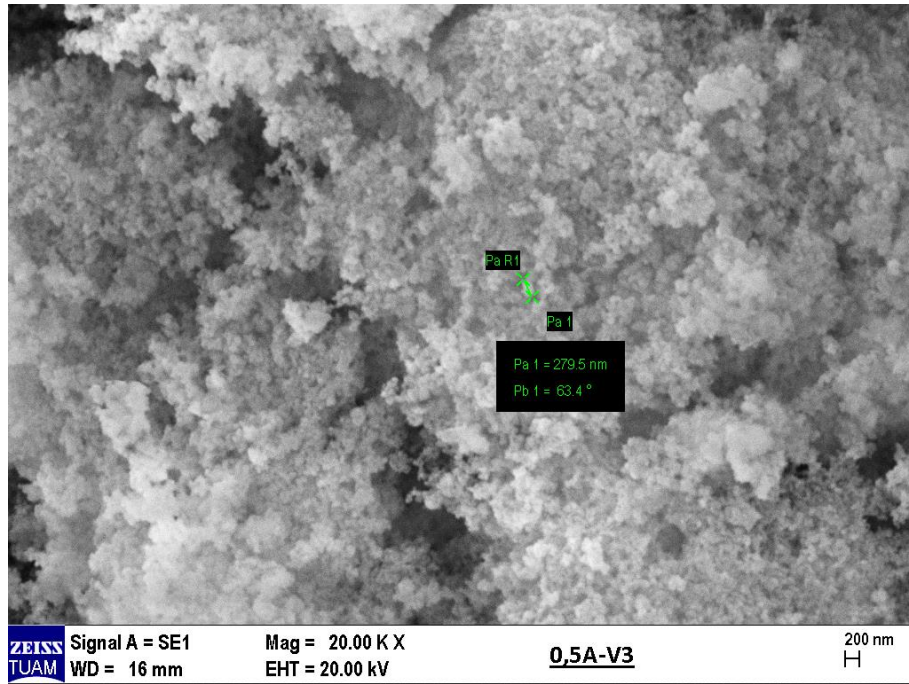


Resim 3. 40 0.5 A akım V3 pompa hızına ait 5K SEM görüntüsü

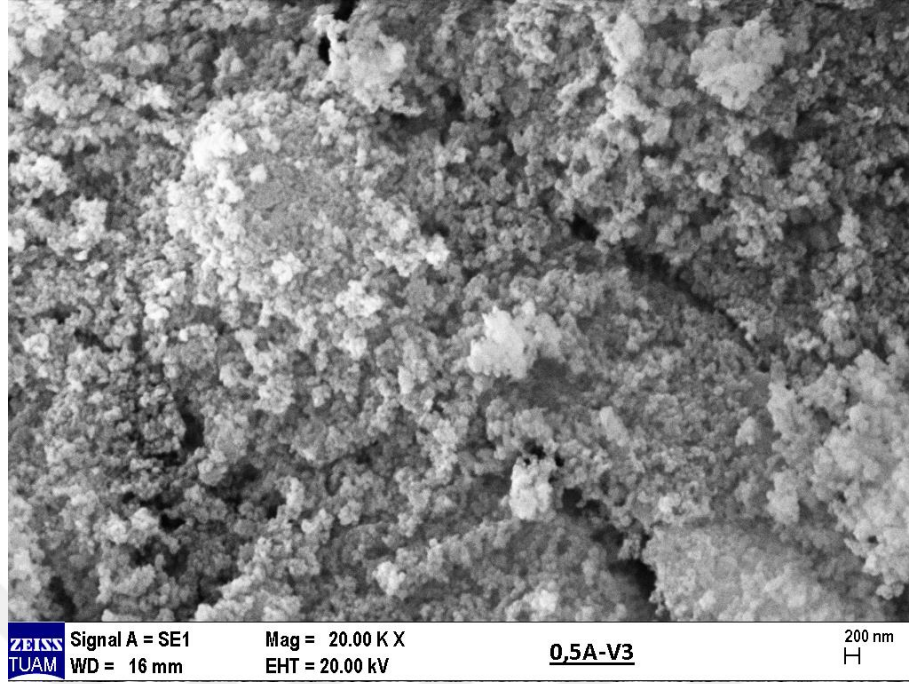


Resim 3. 41 0.5 A akım V3 pompa hızına ait 10K SEM görüntüsü

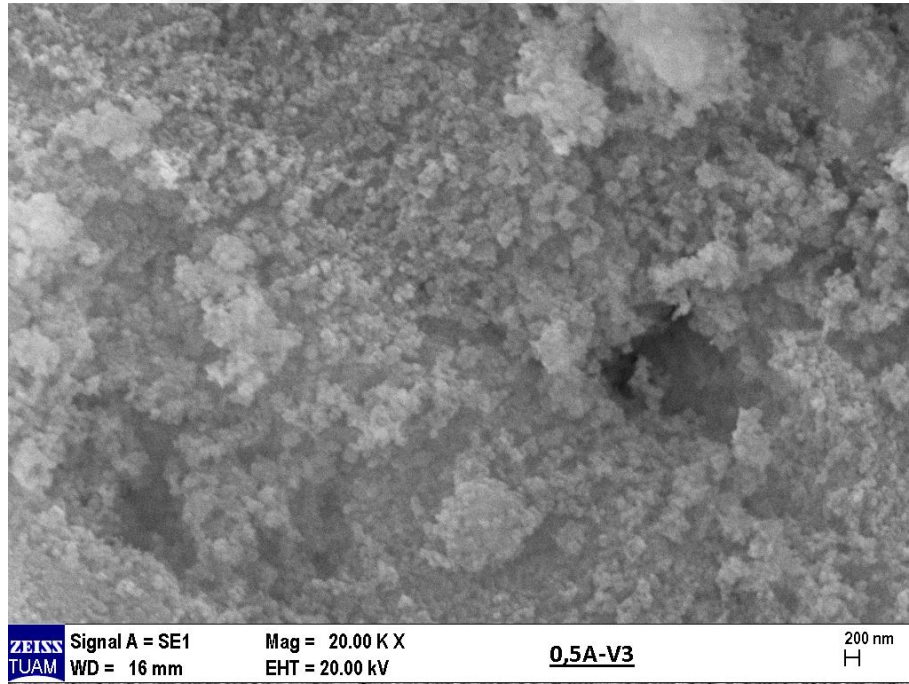
Resim 3.421, Resim 3.42 ve Resim 3.43’de 0.5 A / V3 numunesine ait büyük ölçekli skaladaki tane dağılımlarının SEM görüntüleri verilmiştir.



Resim 3. 42 0.5 A akım V3 pompa hızına ait 20K SEM görüntüsü 1. bölge

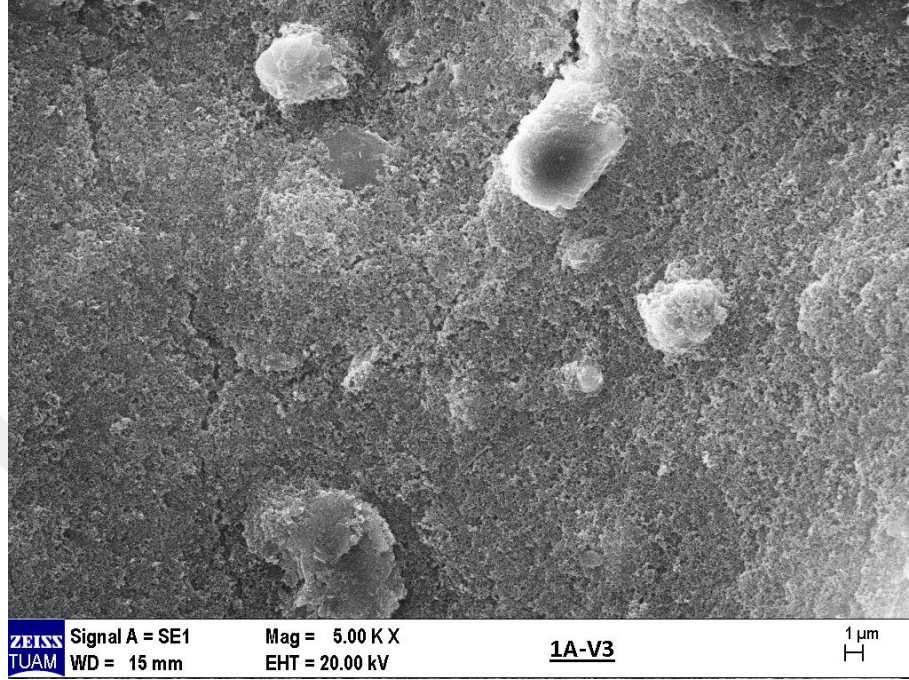


Resim 3. 43 0.5 A akım V3 pompa hızına ait 20K SEM görüntüsü 2. bölge

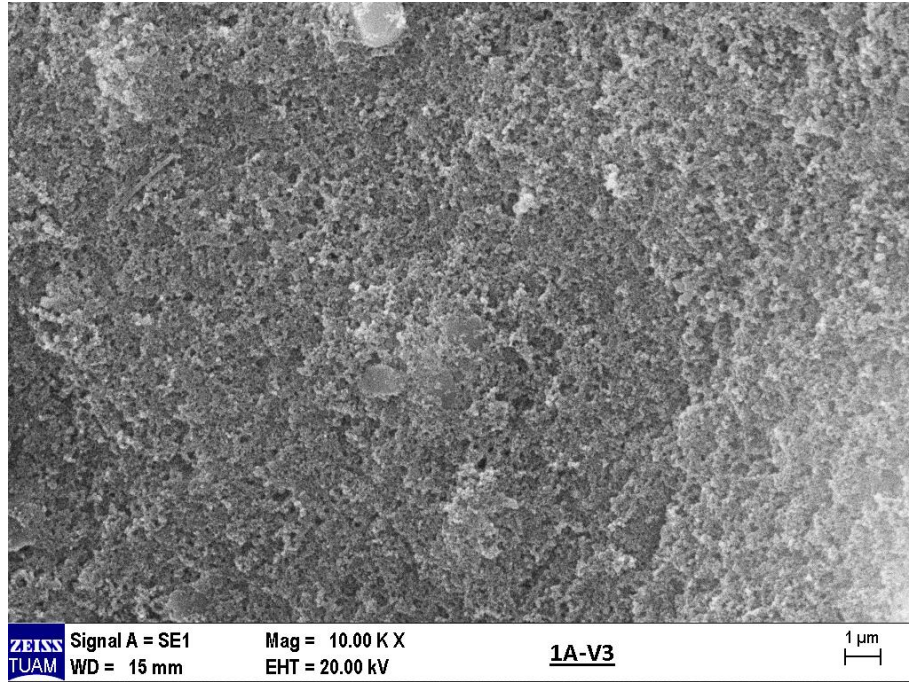


Resim 3. 44 0.5 A akım V3 pompa hızına ait 20K SEM görüntüsü 3. bölge

Resim 3.45 ve Resim 3.46'da 1 A / V3 numunesine ait küçük ölçekli skaladaki tane dağılımlarının SEM görüntüleri verilmiştir.

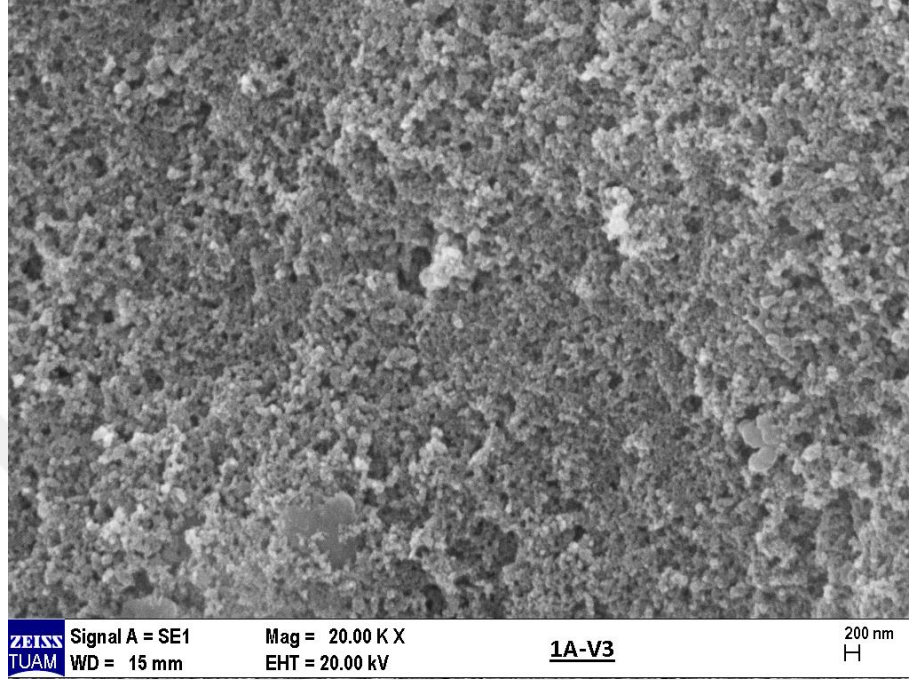


Resim 3. 45 1 A akım V3 pompa hızına ait 5K SEM görüntüsü

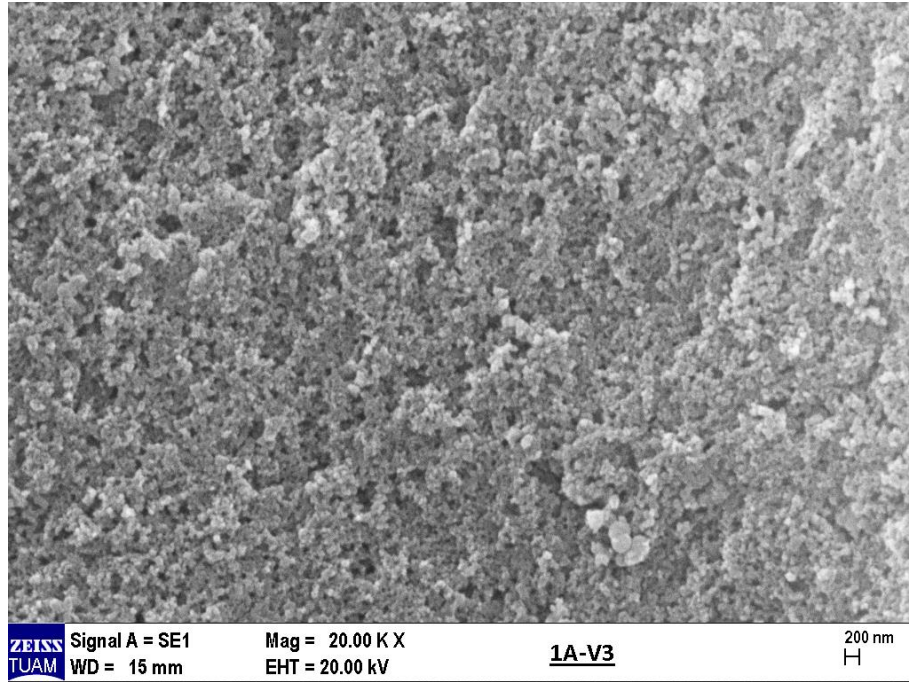


Resim 3. 46 1 A akım V3 pompa hızına ait 10K SEM görüntüsü

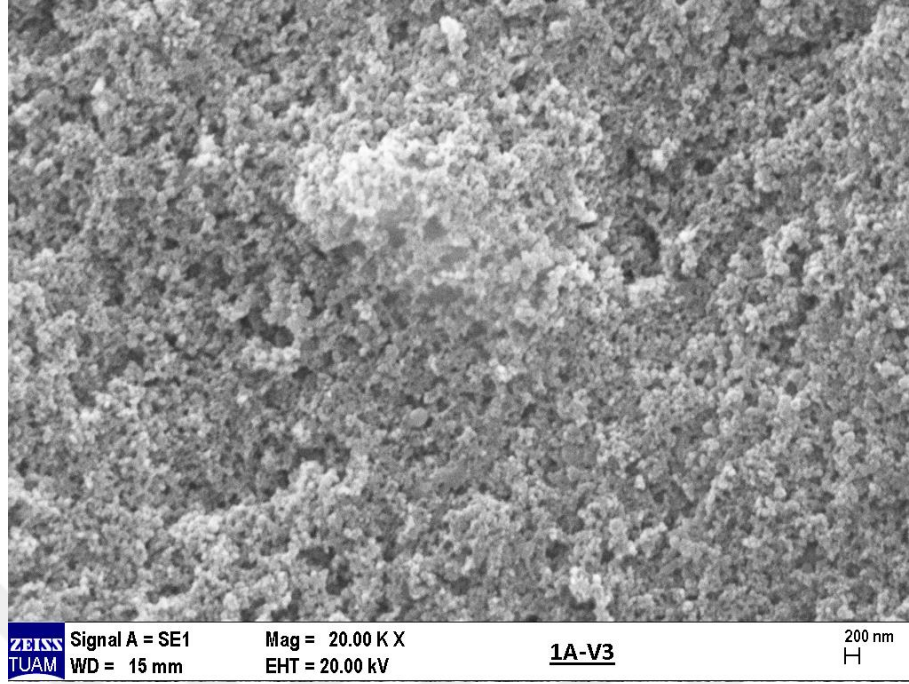
Resim 3.47, Resim 3.48 ve Resim 3.49’de 1 A / V3 numunesine ait büyük ölçekli skaladaki tane dağılımlarının SEM görüntüleri verilmiştir.



Resim 3. 47 1 A akım V3 pompa hızına ait 20K SEM görüntüsü 1. bölge

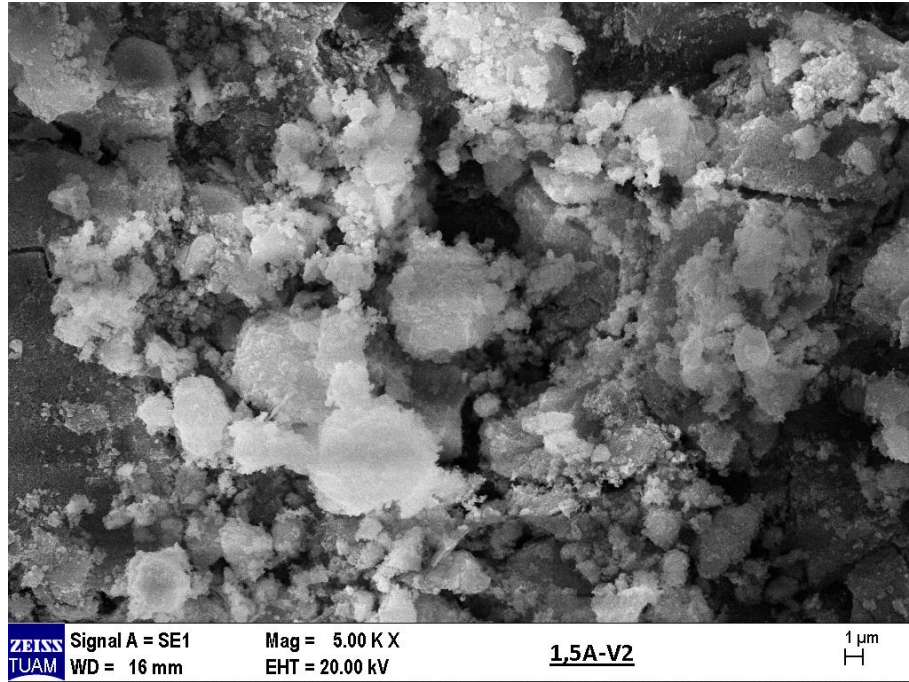


Resim 3. 48 1 A akım V3 pompa hızına ait 20K SEM görüntüsü 2. bölge

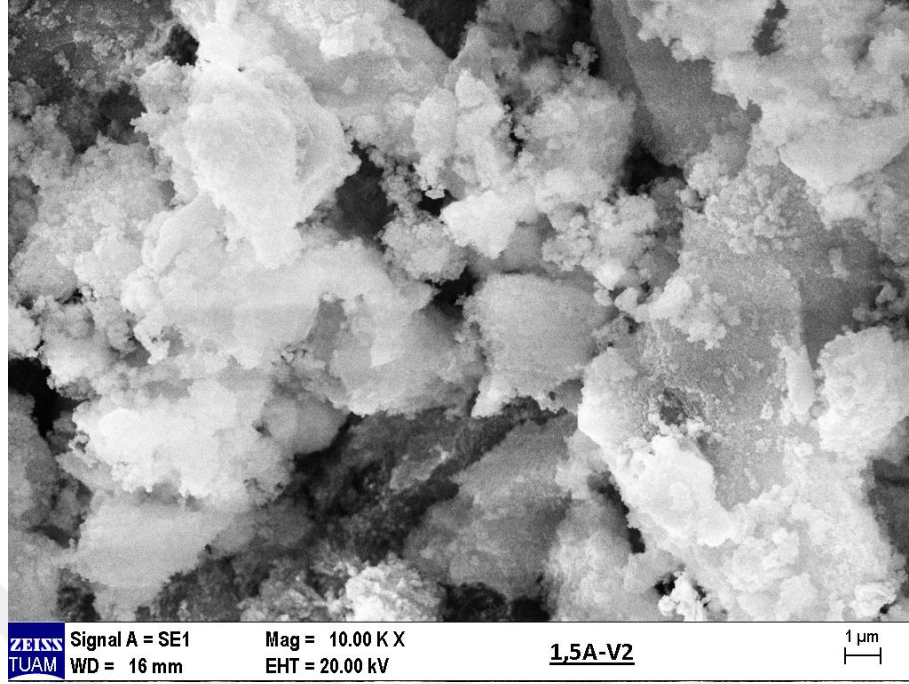


Resim 3. 49 1 A akım V3 pompa hızına ait 20K SEM görüntüsü 3. bölge

Resim 3.50 ve Resim 3.51’de 1.5 A / V2 numunesine ait küçük ölçekli skaladaki tane dağılımlarının SEM görüntüleri verilmiştir.

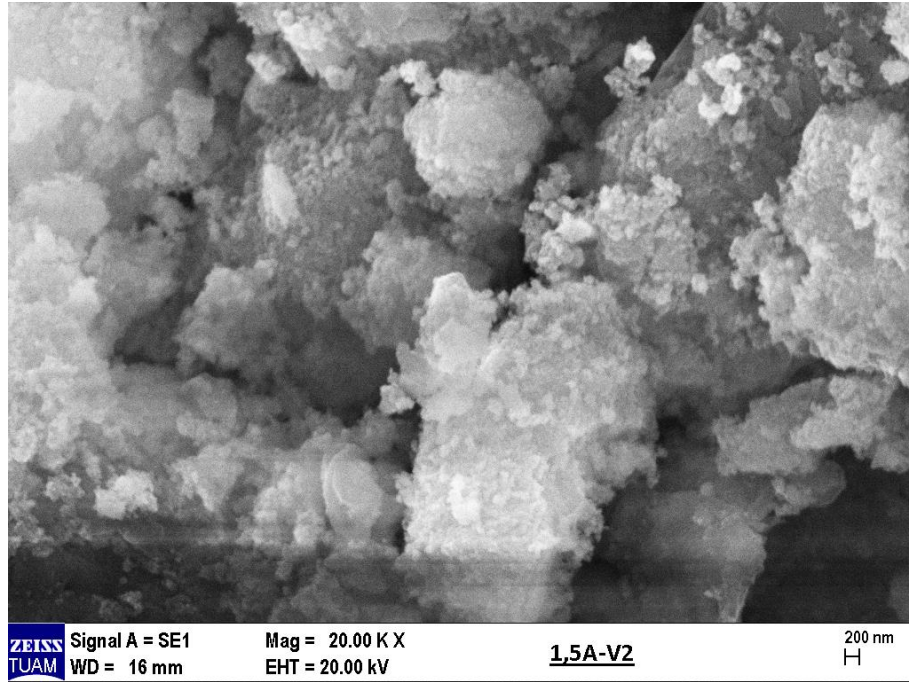


Resim 3. 50 1.5 A akım V2 pompa hızına ait 5K SEM görüntüsü

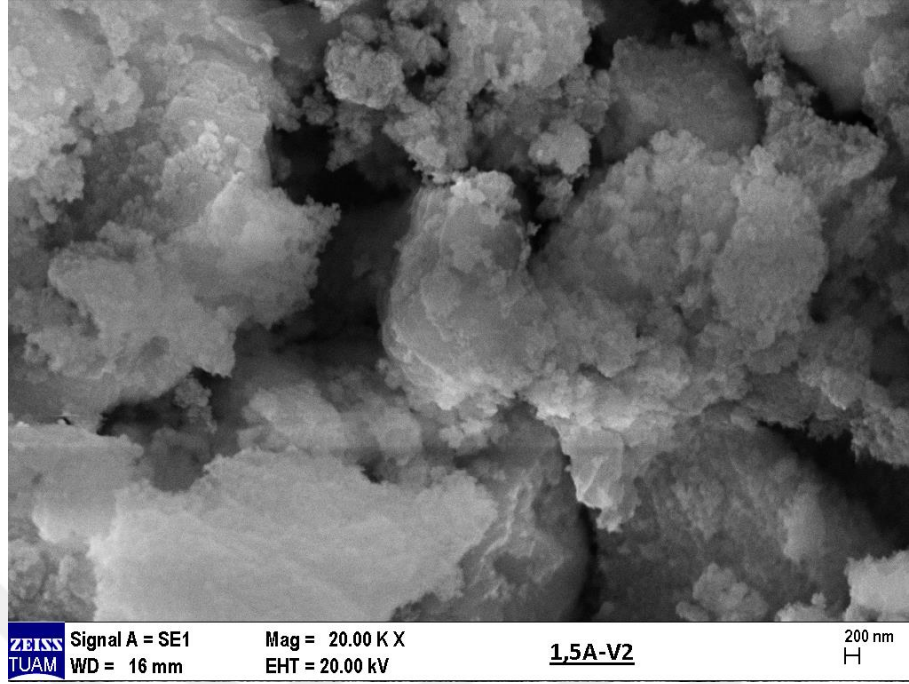


Resim 3. 51 1.5 A akım V2 pompa hızına ait 10K SEM görüntüsü

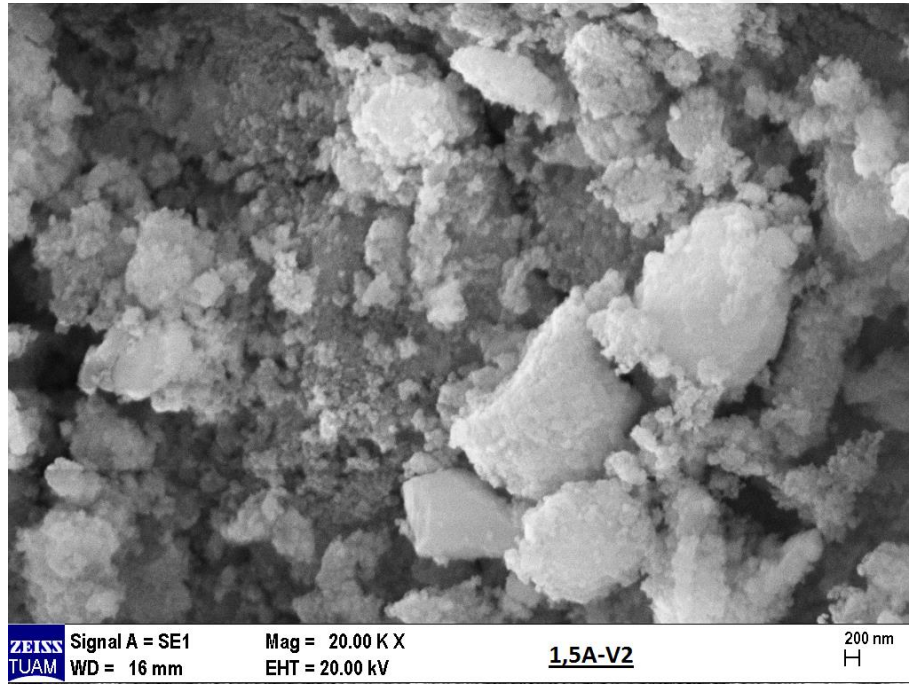
Resim 3.52, Resim 3.53 ve Resim 3.54’de 1.5 A / V2 numunesine ait büyük ölçekli skaladaki tane dağılımlarının SEM görüntüleri verilmiştir.



Resim 3. 52 1.5 A akım V2 pompa hızına ait 20K SEM görüntüsü 1. bölge

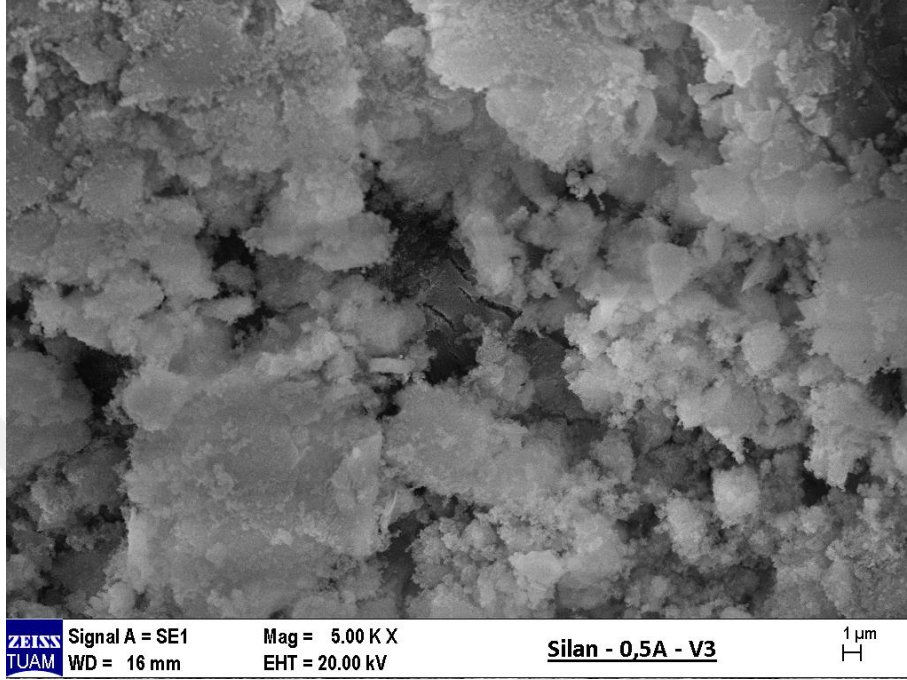


Resim 3. 53 1.5 A akım V2 pompa hızına ait 20K SEM görüntüsü 2. bölge

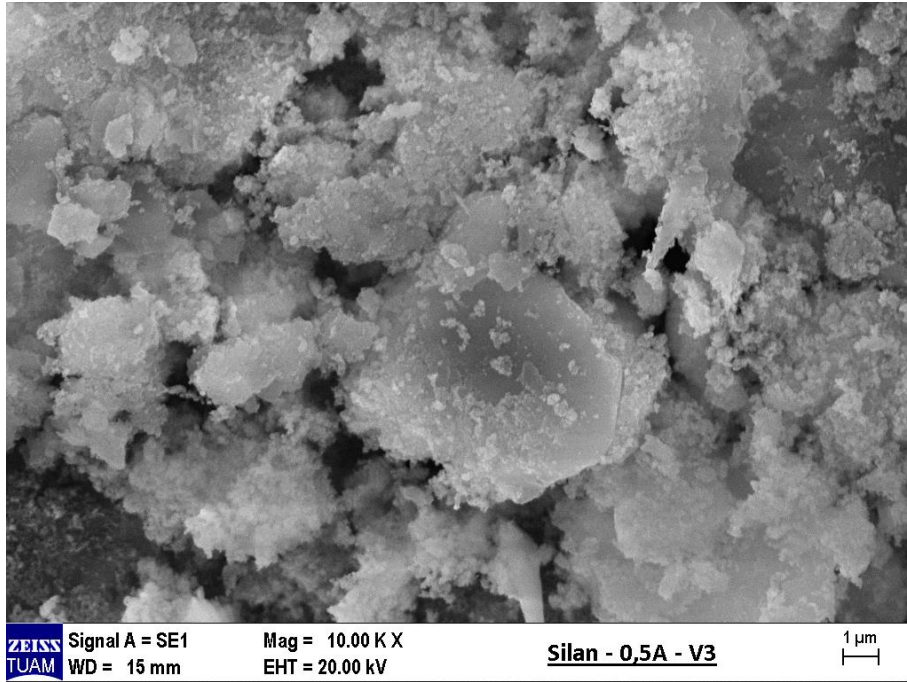


Resim 3. 54 1.5 A akım V2 pompa hızına ait 20K SEM görüntüsü 3. bölge

Resim 3.55 ve Resim 3.56’da silan içeren 0.5 A / V3 numunesine ait küçük ölçekli skaladaki tane dağılımlarının SEM görüntüleri verilmiştir.

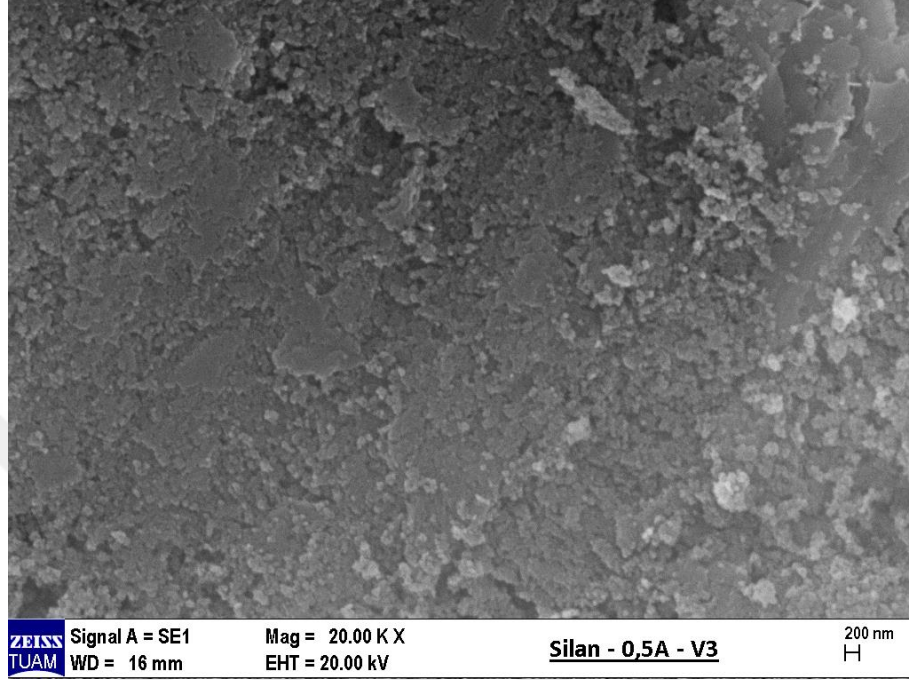


Resim 3. 55 Silan içeren 0.5 A akım V3 pompa hızına ait 5K SEM görüntüsü

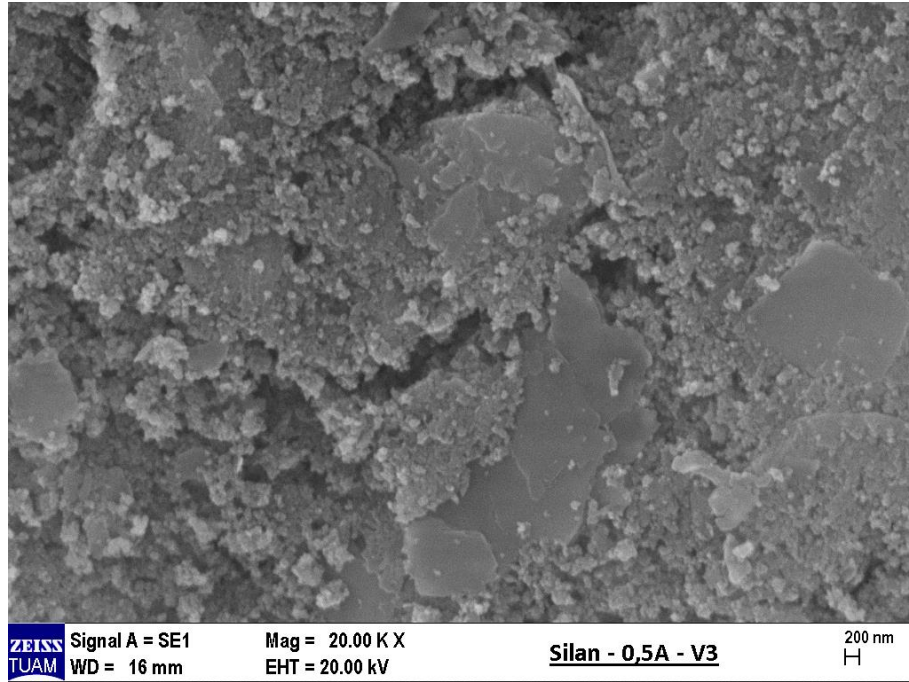


Resim 3. 56 Silan içeren 0.5 A akım V3 pompa hızına ait 10K SEM görüntüsü

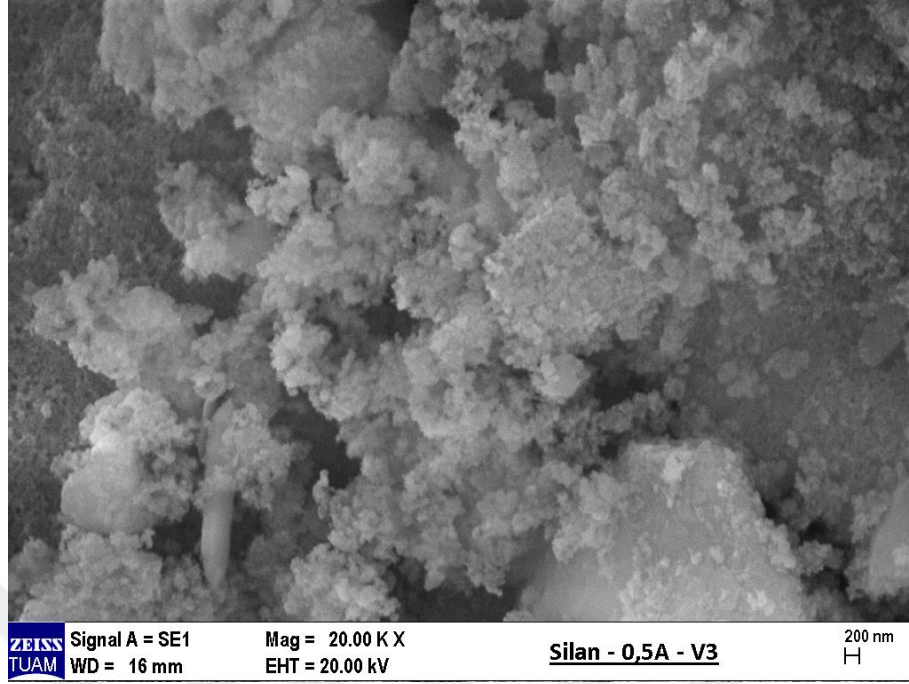
Resim 3.57, Resim 3.58 ve Resim 3.59’de 0.5 A V3 numunesine ait büyük ölçekli skaladaki tane dağılımlarının SEM görüntüleri verilmiştir.



Resim 3. 57 Silan içeren 0.5 A akım V3 pompa hızına ait 20K SEM görüntüsü 1. bölge

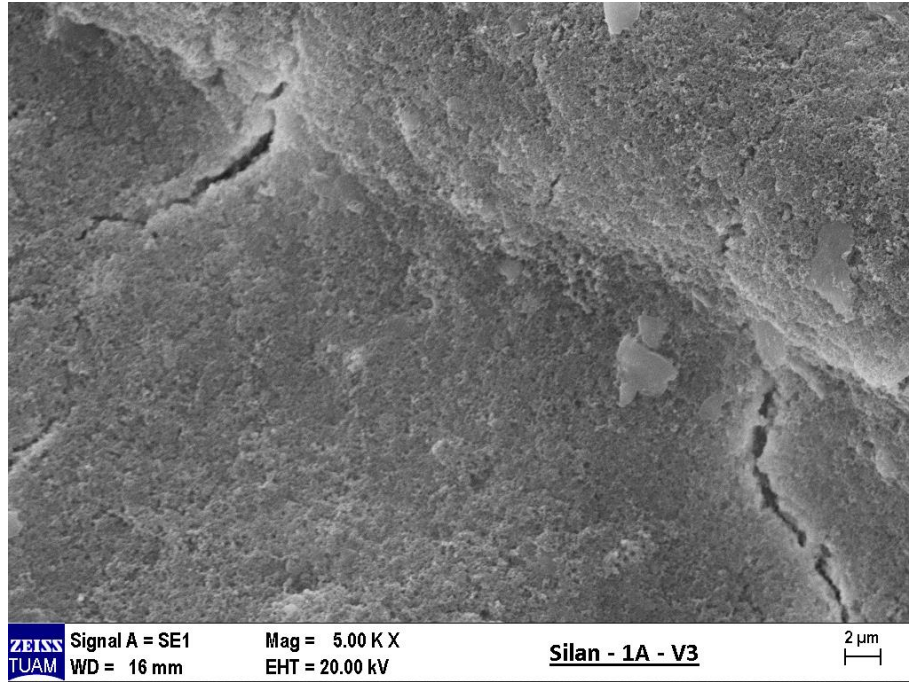


Resim 3. 58 Silan içeren 0.5 A akım V3 pompa hızına ait 20K SEM görüntüsü 2. bölge

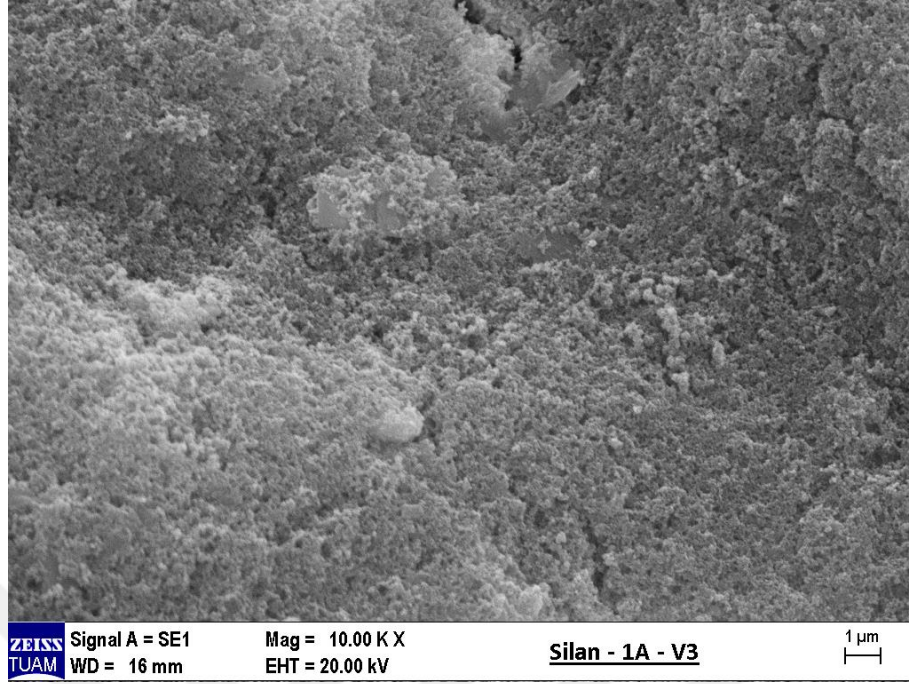


Resim 3. 59 Silan içeren 0.5 A akım V3 pompa hızına ait 20K SEM görüntüsü 3. bölge

Resim 3.60 ve Resim 3.61’de silan içeren 1 A / V3 numunesine ait küçük ölçekli skaladaki tane dağılımlarının SEM görüntüleri verilmiştir.

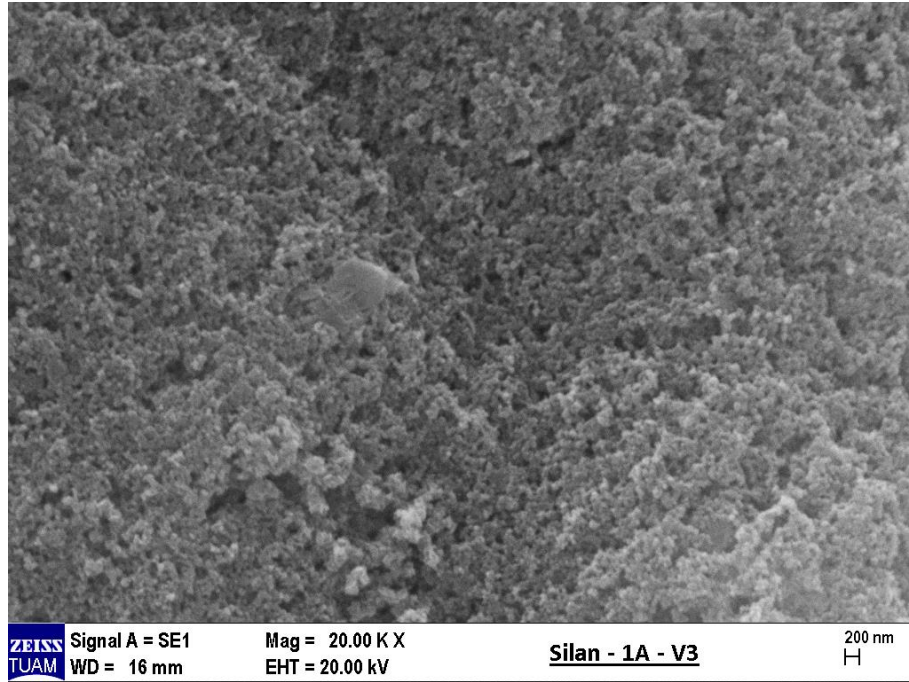


Resim 3. 60 Silan içeren 1 A akım V3 pompa hızına ait 5K SEM görüntüsü

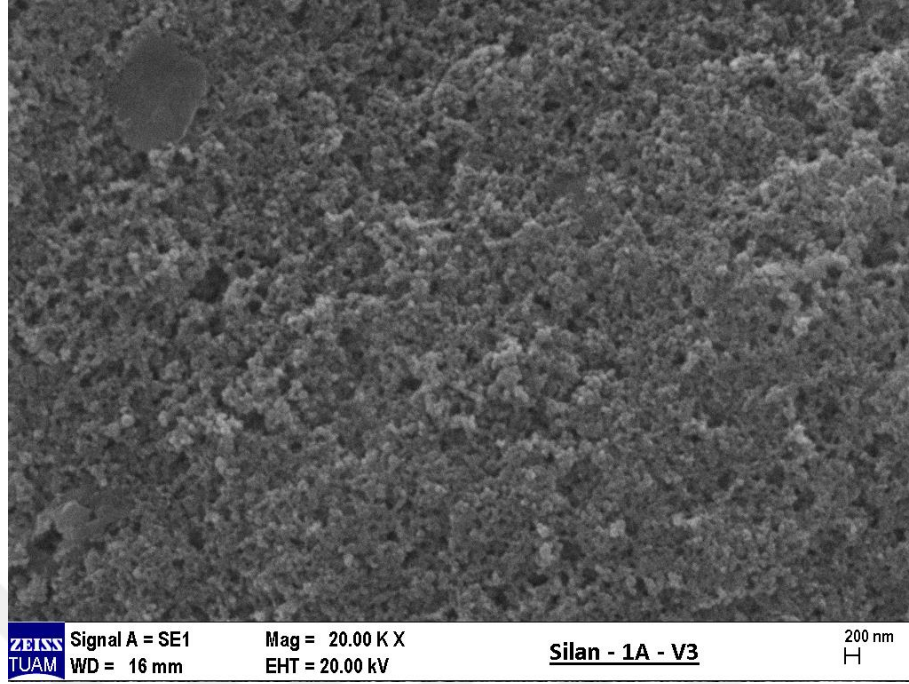


Resim 3. 61 Silan içeren 1 A akım V3 pompa hızına ait 10K SEM görüntüsü

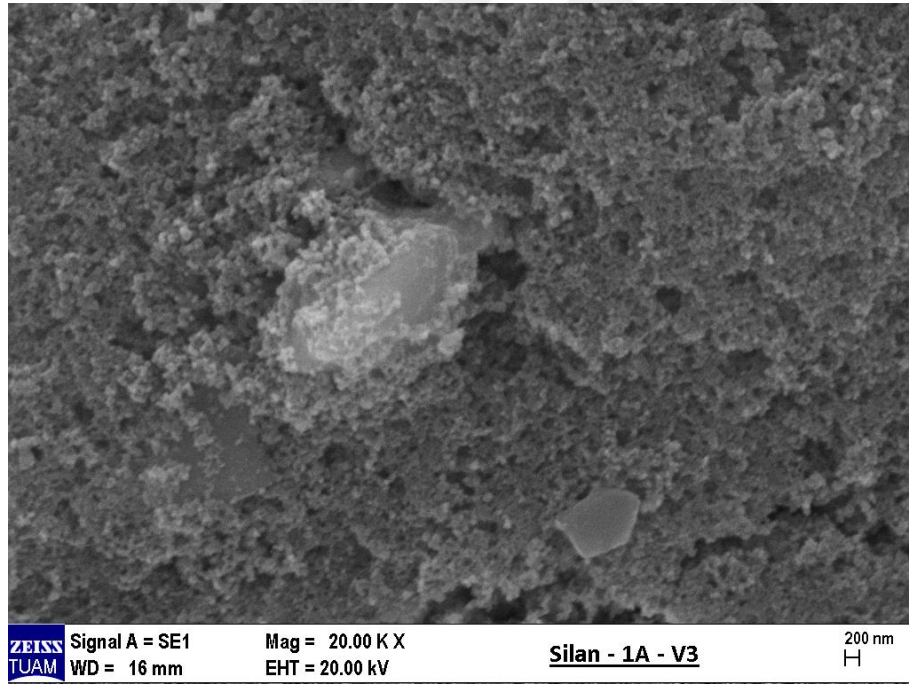
Resim 3.62, Resim 3.63 ve Resim 3.64’de silan içeren 1 A / V3 numunesine ait büyük ölçekli skaladaki tane dağılımlarının SEM görüntüleri verilmiştir.



Resim 3. 62 Silan içeren 1 A akım V3 pompa hızına ait 20K SEM görüntüsü 1. bölge

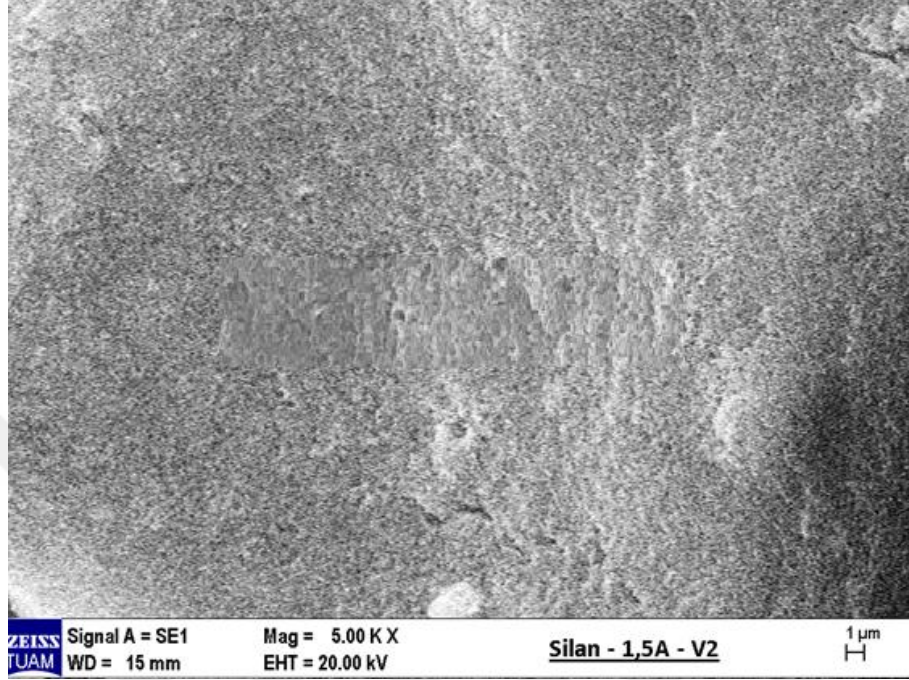


Resim 3. 63 Silan içeren 1 A akım V3 pompa hızına ait 20K SEM görüntüsü 2. bölge

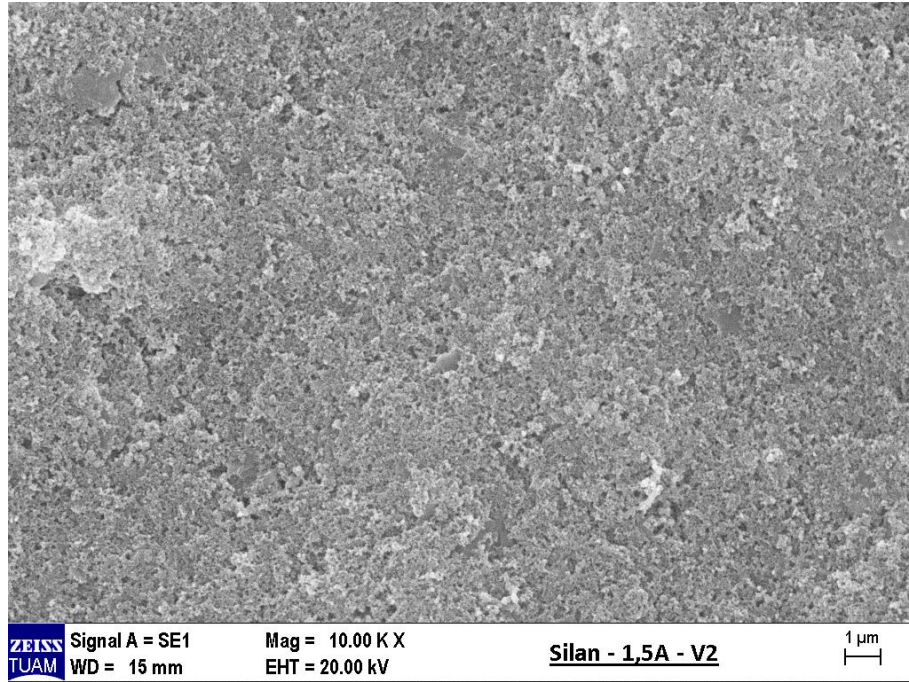


Resim 3. 64 Silan içeren 1 A akım V3 pompa hızına ait 20K SEM görüntüsü 3. bölge

Resim 3.65 ve Resim 3.66’da silan içeren 1.5 A / V2 numunesine ait küçük ölçekli skaladaki tane dağılımlarının SEM görüntüleri verilmiştir.

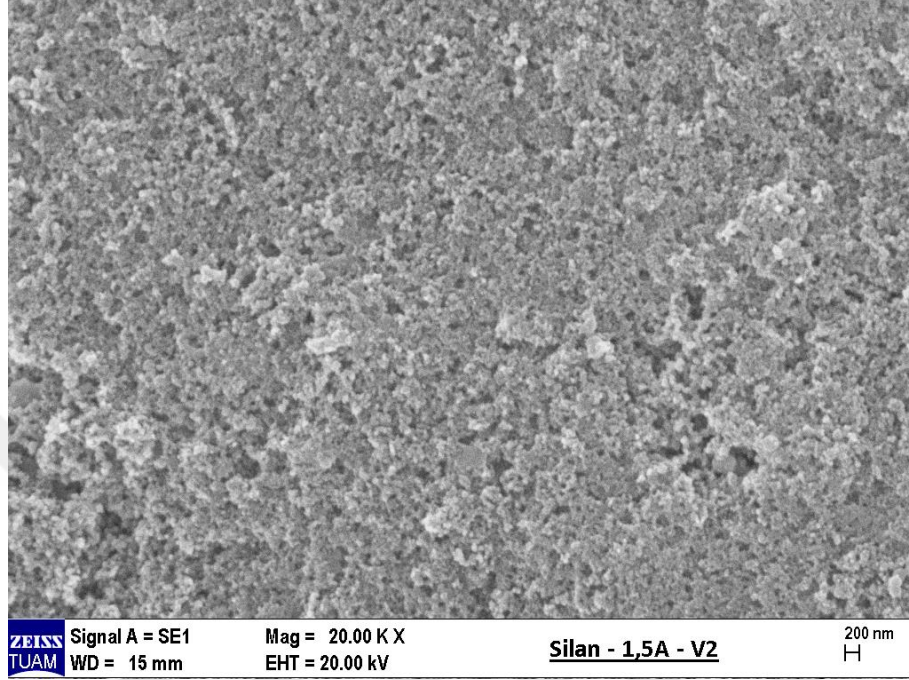


Resim 3. 65 Silan içeren 1.5 A akım V2 pompa hızına ait 5K SEM görüntüsü

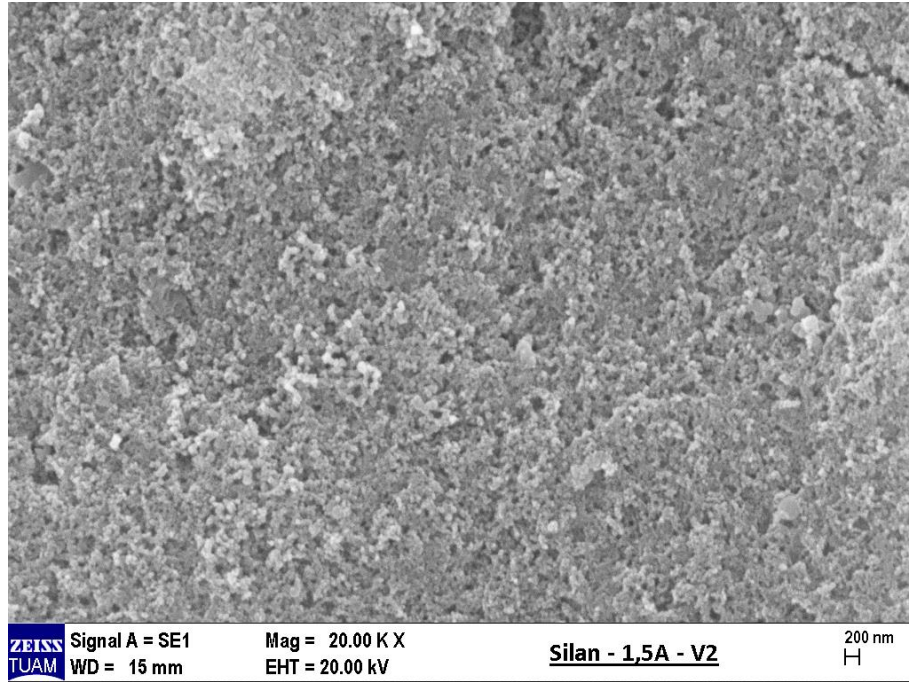


Resim 3. 66 Silan içeren 1.5 A akım V2 pompa hızına ait 10K SEM görüntüsü

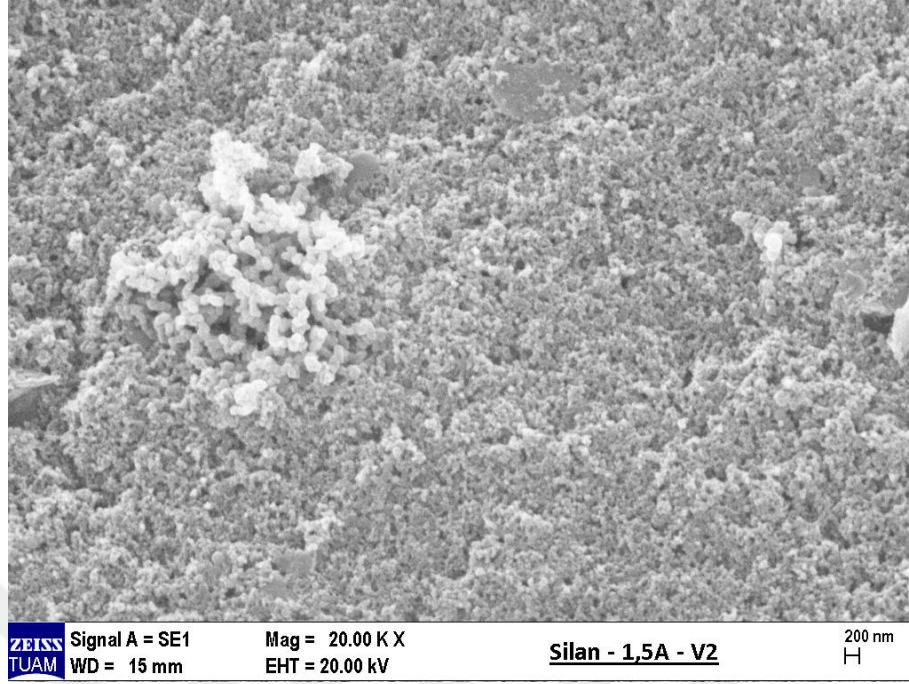
Resim 3.67, Resim 3.68 ve Resim 3.69’de silan içeren 1.5 A / V2 numunesine ait büyük ölçekli skaladaki tane dağılımlarının SEM görüntüleri verilmiştir.



Resim 3. 67 Silan içeren 1.5 A akım V2 pompa hızına ait 20K SEM görüntüsü 1. bölge



Resim 3. 68 Silan içeren 1.5 A akım V2 pompa hızına ait 20K SEM görüntüsü 2. bölge



Resim 3. 69 Silan içeren 1.5 A akım V2 pompa hızına ait 20K SEM görüntüsü 3. bölge

4. BULGULAR

Termal sulardan nano silis elde etmek amacıyla hazırlanan bu tezde temel olarak yapılan çalışmaların ana başlıklarını aşağıdaki gibi özetleyebiliriz.

- 1) Saf suyla yapılan deneyler
- 2) Termal suyla yapılan açık çevrim deneyler
- 3) Termal suyla yapılan kapalı çevrim deneyler
- 4) Nano silis deneyleri ve SEM analizleri

4.1 Saf Suyla Yapılan Deney Bulguları

Deney seti davranışını karakterize etmek için yapılan saf su deneylerindeki bulguları özetleyecek olursak; V1, V2 ve V3 pompa hızlarında, 0.01 M, 0.1 M ve 1 M NaCl içeren çözeltiler kullanılmıştır. Bir deney 30'dk ve 5'er dakikalık 6 periyod sürmüş olup dakika dakika değerler ölçülmüştür.

Yapılan bu 9 deney sonucunda EC, TDS, akım şiddeti, gerilim değerlerinin ortalamaları alınmış ve yapılan toplam 9 deneye ait ölçüm sonuçları Çizelge 6.1’de tek bir tabloda verilmiştir.

Çizelge 4. 1 Saf su çözeltisi 30 dk’lık deneyler boyunca elde edilen ortalama değerler

Pom. Hızı / NaCl orn.	Ortalama EC	Ortalama TDS	Ortalama Akım Şiddeti (A)	Ortalama Gerilim (V)
V1-0.01 M	63.8	32.4	0.3	30.0
V2-0.01 M	25.9	13.2	0.2	30.0
V3-0.01 M	50.6	25.3	0.2	30.0
V1-0.1 M	160.7	77.4	0.5	30.0
V2-0.1 M	178.7	84.1	0.5	30.0
V3-0.1 M	159.4	75.4	0.4	30.0
V1-1 M	6957.5	3482.8	2.1	6.4
V2-1 M	5725.6	2869.4	2.1	6.8
V3-1 M	7248.4	3648.9	2.1	6.5

Çizelge 4.1’deki elde edilen veriler üzerine yapılan istatiksel çalışmalar 30 dk’lı sonuçlarının ortalamaları Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Üç farklı molaritede kullanılan NaCl içeren saf su çözeltilerinde ortalama EC ve TDS değerleri en yüksek değerden başlayarak sıralanmış ve EC/TDS arasındaki katsayı değerleri Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4. 2 Saf su çözeltisi 30 dk'lık deneyler boyunca elde edilen istatistiksel ortalamalar

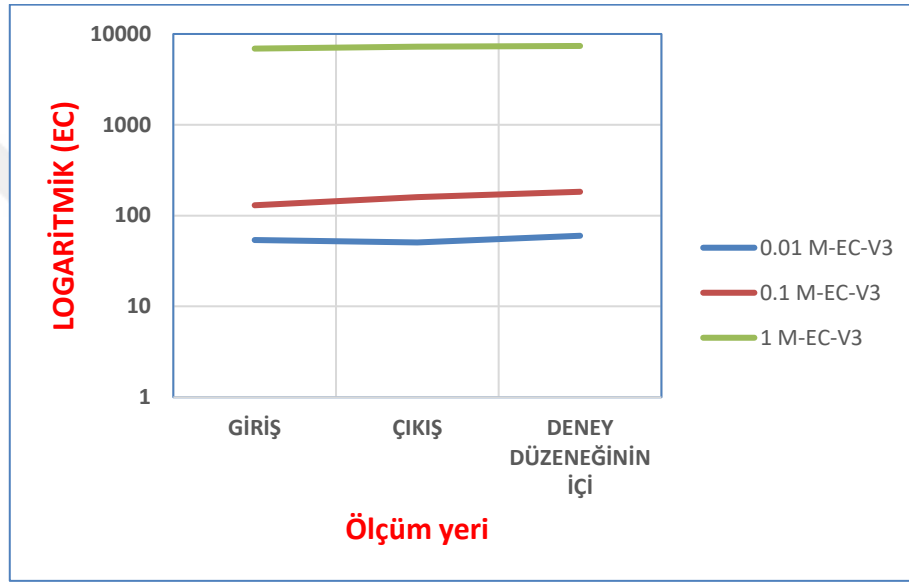
Pom. Hızı / NaCl orn.	Σ EC	Σ TDS	Σ Akım Şiddeti (A)	Σ Gerilim (V)	% EC	% TDS	% Akım Şiddeti (A)	% Gerilim (V)
V1-0.01 M	1.7	0.9	0.0	0.0	30.2	62.2	10.8	0.0
V2-0.01 M	1.7	0.8	0.0	0.0	-19.2	-17.5	-3.5	0.0
V3-0.01 M	2.8	1.5	0.0	0.0	-6.2	-2.8	-10.6	0.0
V1-0.1 M	6.5	2.4	0.0	0.0	27.5	31.2	34.7	0.0
V2-0.1 M	4.0	2.0	0.0	0.0	7.7	10.7	5.2	0.0
V3-0.1 M	5.0	2.1	0.0	0.0	22.6	9.3	11.5	0.0
V1-1 M	167.1	101.2	0.0	0.1	-8.5	-8.3	0.0	1.2
V2-1 M	269.2	0135.5	0.0	0.1	-22.4	-22.1	0.0	5.7
V3-1 M	7248.4	3648.9	2.1	6.5	7248.4	3648.9	2.1	6.5

Çizelge 4. 3 Saf su deneylerinde elde edilen en yüksek EC ve TDS değerlerinin sıralaması

NaCl Oranı (M)	Pompa Hızı	Σ EC	Σ TDS	TDS/EC Arasındaki Katsayı
0.01 M	V1	1.7	63.8	32.5
	V3	1.7	50.6	25.3
	V2	2.8	25.8	13.2
0.1 M	V2	6.5	178.7	84.1
	V1	4.0	160.7	77.4
	V3	5.0	159.4	75.4
1 M	V3	167.1	7248.4	3648.9
	V1	269.2	6957.5	3482.8
	V2	7248.4	5725.6	2869.4

Bilindiği üzere EC çözeltideki elektrik iletkenliğini TDS ise çözelti içinde çözünmüş madde miktarını tanımlamak için kullanılan terimlerdir. Bu değerlerin yüksek olması çözünmüş madde miktarının ve elektrik iletkenliğinin artışı anlamına gelir.

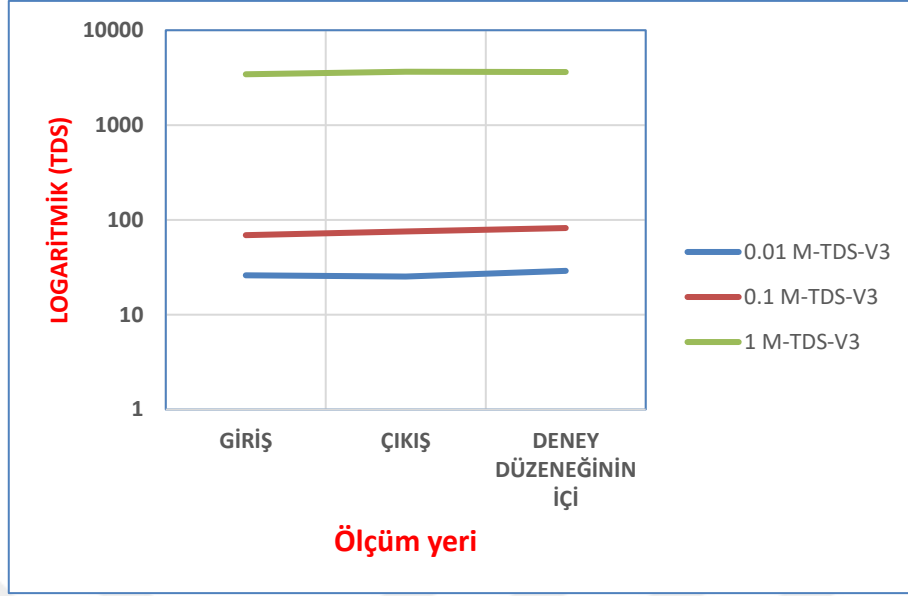
Çizelge 4.3'deki tablo incelendiğinde ortalama en yüksek EC ve TDS değerlerine baktığımızda 0.01 M NaCl çözeltisinde V1 hızında, 0.1 M NaCl çözeltisinde V2 hızında ve 1 M NaCl çözeltisinde V3 hızında olduğu görülüyor.



Resim 4. 1 Üç farklı NaCl içeren çözeltide V3 pompa hızında logaritmik EC değişimi

Yapılan saf su deneylerinde aynı TDS ve EC deney bittiği andaki son değerleri ölçülmüştür. Örnek olarak ele alınan Resim 4.1 ve Resim 4.2 incelendiğinde özellikle yapılan saf su deneylerinin grafikleri incelenmiştir. Geneline elektrokoagülasyon sonrası taşarak biriken haznedeki son ölçüm değerleriyle deney seti içerisinde ki çözeltinin dökülerek ölçülmesiyle elde edilen değerler arasında farklar olduğu görülmüştür.

Özellikle elektroliz ünitesinde elektrot plakaları ve çubuklarının bulunduğu deney seti içinde EC ve TDS değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür.



Resim 4. 2 Üç farklı NaCl içeren çözeltide V3 pompa hızında logaritmik TDS değişimi

Deneye başlamadan önce ölçülen EC, TDS, akımın ve gerilim değerleriyle, elektrokoagülasyon sonrasında elde edilen değerlerin ortalamaları incelenmiş ve değişim yüzdeleri çizelge gösterilmiştir. Artık çıkan artış miktarlarında ortalamadaki çözünme miktarında çok daha bariz bir değişimin olduğu görülmüş olup Çizelge 4.4'te değişim yüzdeleri verilmiştir.

Çizelge 4. 4 Giriş ve deney sonrası ortalama çıkış değerleri arasındaki değişim yüzdeleri

Pom. Hızı / NaCl orn.	% EC	% TDS	% Akım Şiddeti (A)	% Gerilim (V)
V1-0.01 M	30.2	62.2	10.8	0.0
V2-0.01 M	-19.2	-17.5	-3.5	0.0
V3-0.01 M	-6.2	-2.8	-10.6	0.0
V1-0.1 M	27.5	31.2	34.7	0.0
V2-0.1 M	7.7	10.7	5.2	0.0
V3-0.1 M	22.6	9.3	11.5	0.0
V1-1 M	-8.5	-8.3	0.0	1.2
V2-1 M	-22.4	-22.1	0.0	5.7
V3-1 M	5.0	6.4	0.0	1.7

4.2 Açık Çevrim Termal Su Deneyleri Bulguları

Yapılan saf su deneylerinde farklı pompa hızlarında ve farklı NaCl çözeltilerinde yapılan deneylerde ortalama EC ve TDS değerlerinin en yüksek olduğu yerlere bakıldığında veriler tek bir pompa hızını işaret etmemektedir. Yapılan deneylerde deney setine su pompalanmakta ve çıkıştaki hazneye suyun birikmesi serbest akışla olmaktadır.

V1 pompa hızında, çıkışta deney setinin içinden çok fazla su vakum yapmakta, deney setinden su eksilmekte ve sık sık deney setine elektrotların seviyesinden aşağıya su seviyesi düşmesin diye sisteme su pompalanmaktadır. Termal su deneylerine dolayısıyla V2 ve V3 pompa hızları seçilerek devam edilmiştir.

Çizelge 4. 5 Açık çevrim termal suda V2 hızında elde edilen ortalama değerler

Akım Şiddeti (A)	Ortalama EC	Ortalama TDS	Ortalama Akım Şiddeti (A)	Ortalama Gerilim (V)
0.5	4696.5	2207.8	0.5	4.9
0.75	4488.5	2102.2	0.8	5.6
1	4137.5	1895.3	1.0	7.4
1.25	4495.4	2112.2	1.3	6.8
1.5	4787.4	2257.2	1.5	8.7

Çizelge 4. 6 Açık çevrim termal suda V3 hızında elde edilen ortalama değerler

Akım Şiddeti (A)	Ortalama EC	Ortalama TDS	Ortalama Akım Şiddeti (A)	Ortalama Gerilim (V)
0.5	4688.9	2204.1	0.5	5.0
0.75	4502.2	2204.1	0.8	5.5
1	4230.9	2008.4	1.0	7.1
1.25	4539.3	2146.7	1.3	6.9
1.5	4764.7	2249.9	1.5	9.5

30 dk'lık deney boyunca açık çevrim sistemde elde 5 farklı akım V2 hızında elde edilen ortalama değerler sıralanarak Çizelge 4.5, V3 hızında elde edilen ortalama değerler sıralanarak Çizelge 4.6'te elde edilmiştir.

Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6'de ki ortalama değerler üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda V2 hızındaki istatistiksel çalışmalar Çizelge 4.7'de, V3 hızındaki istatistiksel çalışmalar Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4. 7 Açık çevrim termal su V2 hızında elde edilen istatistiksel ortalamalar

Akım Şiddeti (A)	Σ EC	Σ TDS	Σ Akım Şiddeti (A)	Σ Gerilim (V)	% EC	% TDS	% Akım Şiddeti (A)	% Gerilim (V)
0.5	38.1	19.2	0.0	0.0	3.4	2.6	0.0	3.8
0.75	31.3	11.8	0.0	0.0	0.9	0.1	0.0	-4.0
1	83.0	71.6	0.0	0.0	3.1	-1.8	0.0	2.0
1.25	25.0	14.9	0.0	0.0	-3.1	-2.0	0.0	-6.3
1.5	44.2	13.7	0.0	0.0	4.8	3.3	0.0	-2.9

Çizelge 4. 8 Açık çevrim termal su V3 hızında elde edilen istatistiksel ortalamalar

Akım Şiddeti (A)	Σ EC	Σ TDS	Σ Akım Şiddeti (A)	Σ Gerilim (V)	% EC	% TDS	% Akım Şiddeti (A)	% Gerilim (V)
0.5	31.1	18.5	0.0	0.0	0.2	0.6	0.0	5.6
0.75	26.9	18.5	0.0	0.0	-0.6	2.8	0.0	-5.7
1	71.2	24.4	0.0	0.0	0.5	-0.6	0.0	-1.4
1.25	28.1	35.5	0.0	0.0	0.0	-0.2	0.0	-4.2
1.5	64.7	15.3	0.0	0.0	0.8	2.2	0.0	-3.7

Açık çevrim termal su deneylerinde giriş öncesi ölçüm değerleriyle deney sonrası ölçüm değerlerinde arasında yüzdesel değişim farkı, V2 pompa hızı için Çizelge 4.9'da V3 pompa hızı Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4. 9 V2 hızında Giriş ve deney sonrası değişim yüzdeleri

Akım Şiddeti (A)	% EC	% TDS	% Akım Şiddeti (A)	% Gerilim (V)
0.5	3.4	2.6	0.0	3.8
0.75	0.9	0.1	0.0	-4.0
1	3.1	-1.8	0.0	2.0
1.25	-3.1	-2.0	0.0	-6.3
1.5	4.8	3.3	0.0	-2.9

Çizelge 4. 10 V3 hızında Giriş ve deney sonrası değişim yüzdeleri

Akım Şiddeti (A)	% EC	% TDS	% Akım Şiddeti (A)	% Gerilim (V)
0.5	0.2	0.6	0.0	5.6
0.75	-0.6	2.8	0.0	-5.7
1	0.5	-0.6	0.0	-1.4
1.25	0.0	-0.2	0.0	-4.2
1.5	0.8	2.2	0.0	-3.7

V2 ve V3 pompa hızlarında yapılan açık çevrim deneylerin sonucunda elde edilen ortalama EC ve TDS değerleri en yüksek değerden başlayarak sıralanmıştır. Aslında amaç en yüksek çözünmüş madde miktarı ve iletkenli durumunun hangi akım değerlerine karşılık geldiği belirlemektir. Bu amaçla V2 ve V3 hızları için elde edilen değerler Çizelge 4.11'de tablolştırılmıştır.

Çizelge 4. 11 Açık çevrim deneylerde elde edilen en yüksek EC ve TDS değerlerinin sıralaması

Pompa Hızı	Akım Şiddeti (A)	Σ EC	Σ TDS	TDS/EC Arasındaki Katsayı
V2	1.5	4787.4	2257.2	0.47
	0.5	4696.4	2207.8	0.47
	1.25	4495.4	2112.2	0.47
	0.75	4488.4	2102.2	0.47
	1	4137.4	1895.3	0.46
V3	1.5	4764.7	2249.9	0.47
	0.5	4688.9	2204.1	0.47
	1.25	4539.3	2146.7	0.47
	0.75	4502.2	2204.1	0.49
	1	4230.9	2008.4	0.47

Açık çevrim deney sonuçlarında deney boyunca ortalama EC ve TDS değerlerine göre en yüksekten başlayarak bir sıralama yaptığımızda V2 hızında sırasıyla 1.5 A, 0.5 A ve 1.25 A de ilk üçteki en yüksek değer, V3 pompa hızına göre baktığımızda 1.5 A, 0.5A ve 1.25A ilk üçteki en yüksek değerler olduğu görülüyor.

Çizelge 4. 12 Açık çevrim V2 hızında ölçüm yerinde göre TDS değişimi

Ölçüm Yeri	TDS-V2-0.5A	TDS-V2-0.75A	TDS-V2-1A	TDS-V2-1.25A	TDS-V2-1.5A
Giriş	2152.0	2200	1930.0	2200	2186.0
Çıkış	2006.0	2198	1903.0	2194	2241.0
Deney düzeneğinin içi	2115.0	2268	2005.0	2270	2258.0

Çizelge 4. 13 Açık çevrim V2 hızında ölçüm yerinde göre EC değişimi

Ölçüm Yeri	EC-V2-0.5A	EC-V2-0.75A	EC-V2-1A	EC-V2-1.25A	EC-V2-1.5A
Giriş	4543.0	4750	4015.0	4673	4566.1
Çıkış	4530.0	4623	4100.1	4597	4737.2
Deney düzeneginin içi	4560.0	4760	4284.2	4821	4800.0

V2 hızındaki TDS değişimi Çizelge 4.12’de EC değişimi Çizelge 4.13’te verilmiştir. Elektrokoagülasyon sonrası biriken su ile deney seti içinden alınan su numunelerine baktığımızda plaka ve çubuk elektrotların olduğu yerlerde EC ve TDS değerlerinin daha yüksek olduğu görülüyor.

Çizelge 4. 14 Açık çevrim V3 hızında ölçüm yerinde göre TDS değişimi

Ölçüm Yeri	TDS-V3-0.5A	TDS-V3-0.75 A	TDS-V3-1A	TDS-V3-1.25A	TDS-V3-1.5A
Giriş	2190.0	2265	2020	2200	2202
Çıkış	2180.1	2177	1980	2180	2260
Deney düzeneginin içi	2188.0	2193	1990	2198	2265

Çizelge 4. 15 Açık çevrim V3 hızında ölçüm yerinde göre EC değişimi

Ölçüm Yeri	EC-V3-0.5A	EC-V3-0.75 A	EC-V3-1A	EC-V3-1.25 A	EC-V3-1.5A
Giriş	4680.0	4830	4210.0	4700	4728.2
Çıkış	4670.0	4640	4200.1	4636	4746.0
Deney düzeneginin içi	4675.2	4690	4300.2	4783	4800.0

V3 hızında TDS değişimi Çizelge 4.14’de EC değişimi Çizelge 4.15’te verilmiştir. Elektrokoagülasyon sonrası biriken su ile deney seti içinden alınan su numunelerine baktığımızda plaka ve çubuk elektrotların olduğu yerlerde EC ve TDS değerlerinin daha yüksek olduğu görülüyor.

4.3 Kapalı Çevrim Termal Su Deneyleri Bulguları

Yapılan birçok bilimsel çalışmada polimerizasyonu hızlandırmak için tohumlama (CEED) çalışması yapılmıştır. İlk etapta açık ve kapalı çevrim arasında bir fark oluşup oluşmayacağını incelenmiştir. Bu aşamada kapalı çevrimden 15 dk boyunca dışarıdan termal suyla deney seti beslenmiş sonrasında 15 dk da silika elektrokoagülasyon yapılmıştır.

Sonra termal su tohumlama amacıyla sisteme tekrar basılarak polimerizasyon hızlandırılmıştır. Daha sonraki deneylerde de ikinci bir tohumla işlemi yapıp aynı sistemde 1/5 oranında silan ilave edilmiştir.

30 dk’lık deney boyunca kapalı çevrim sistemde elde 5 farklı akım V2 hızında elde edilen ortalama değerler sıralanarak Çizelge 4.16’te değeri için elde edilen V3 hızında elde edilen ortalama değerler sıralanarak Çizelge 4.17’te verilmiştir.

Çizelge 4. 16 Kapalı çevrim termal suda V2 hızında elde edilen ortalama değerler

Akım Şiddeti (A)	Ortalama EC	Ortalama TDS	Ortalama Akım Şiddeti (A)	Ortalama Gerilim (V)
0.5	4669.6	2194.5	0.5	4.6
0.75	4644.2	2177.6	0.8	6.2
1	4737.0	2231.2	1.0	6.5
1.25	4628.3	2185.1	1.3	7.4
1.5	4564.3	2134.2	1.5	8.6

Çizelge 4. 17 Kapalı çevrim termal suda V3 hızında elde edilen ortalama değerler

Akım Şiddeti (A)	Ortalama EC	Ortalama TDS	Ortalama Akım Şiddeti (A)	Ortalama Gerilim (V)
0.5	4685.9	2200.6	0.5	5.0
0.75	4653.8	2187.1	0.8	5.8
1	4831.1	2275.9	1.0	6.3
1.25	4661.6	2190.9	1.3	7.4
1.5	4891.3	2300.4	1.5	8.3

Çizelge 4.16 ve Çizelge 4.17’de ki ortalama değerler üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda V2 hızındaki istatistiksel çalışmalar Çizelge 4.18’de, V3 hızındaki istatistiksel çalışmalar Çizelge 4.19’da verilmiştir.

Çizelge 4. 18 Kapalı çevrim termal su çözeltisi V2 hızında elde edilen istatistiksel ortalamalar

Akım Şiddeti (A)	Σ EC	Σ TDS	Σ Akım Şiddeti (A)	Σ Gerilim (V)	% EC	% TDS	% Akım Şiddeti (A)	% Gerilim (V)
0.5	48.7	20.9	0.0	0.0	4.3	4.0	0.0	-0.8
0.75	24.8	14.3	0.0	0.0	-2.2	-1.0	0.0	-8.6
1	52.1	28.3	0.0	0.0	0.8	1.9	0.0	-2.4
1.25	71.5	22.0	0.0	0.0	-1.0	-0.7	0.0	-0.2
1.5	44.0	27.5	0.0	0.0	6.9	6.2	0.0	-6.7

Çizelge 4. 19 Kapalı çevrim termal su çözeltisi V3 hızında elde edilen istatistiksel ortalamalar

Akım Şiddeti (A)	Σ EC	Σ TDS	Σ Akım Şiddeti (A)	Σ Gerilim (V)	% EC	% TDS	% Akım Şiddeti (A)	% Gerilim (V)
0.5	29.8	15.0	0.0	0.0	-7.9	-10.0	0.0	1.3
0.75	36.5	16.1	0.0	0.0	-3.6	-3.4	0.0	-3.3
1	41.0	20.7	0.0	0.0	-5.6	-5.8	0.0	-2.4
1.25	40.4	24.6	0.0	0.0	-0.8	-0.4	0.0	-6.4
1.5	42.0	22.0	0.0	0.0	3.0	2.6	0.0	-2.3

Kapalı çevrim termal su deneylerinde giriş öncesi ölçüm değerleriyle deney sonrası ölçüm değerlerinde arasında yüzdesel değişim farkları hesaplanmıştır.

Deneye başlarken ölçülen giriş değerleri ve 30'dk 6 set süren deney sonrasında oluşan değerlerin ortalamaları alınarak yüzdesel değişim değerleri bulunmuştur. Çizelge 4.20'de V2 hızında oluşan değişim yüzdeleri, Çizelge 4.21'de V3 hızında oluşan değişim yüzdeleri verilmiştir.

Çizelge 4. 20 V2 hızında Giriş ve deney sonrası çıkış ortalamaları arasındaki yüzdesel farklar

Akım Şiddeti (A)	% EC	% TDS	% Akım Şiddeti (A)	% Gerilim (V)
0.5	4.3	4.0	0.0	-0.8
0.75	-2.2	-1.0	0.0	-8.6
1	0.8	1.9	0.0	-2.4
1.25	-1.0	-0.7	0.0	-0.2
1.5	6.9	6.2	0.0	-6.7

Çizelge 4. 21 V3 hızında Giriş ve deney sonrası çıkış ortalamaları arasındaki yüzdesel farklar

Akım Şiddeti (A)	% EC	% TDS	% Akım Şiddeti (A)	% Gerilim (V)
0.5	-7.9	-10.0	0.0	1.3
0.75	-3.6	-3.4	0.0	-3.3
1	-5.6	-5.8	0.0	-2.4
1.25	-0.8	-0.4	0.0	-6.4
1.5	3.0	2.6	0.0	-2.3

V2 ve V3 pompa hızlarında yapılan kapalı çevrim deneylerin sonucunda elde edilen ortalama EC ve TDS değerleri en yüksek değerden başlayarak sıralanmıştır. Aslında amaç en yüksek çözünmüş madde miktarı ve iletkenli durumunun hangi akım değerlerine karşılık geldiği belirlemektir. Bu amaçla V2 ve V3 hızları için elde edilen değerler Çizelge 4.22’de tablolştırılmıştır.

Çizelge 4. 22 Kapalı çevrim deneylerde elde edilen en yüksek EC ve TDS değerlerinin sıralaması

Pompa Hızı	Akım Şiddeti (A)	Σ EC	Σ TDS	TDS/EC Arasındaki Katsayı
V2	1	4737.0	2231.2	0.471
	0.5	4669.6	2194.5	0.470
	0.75	4644.2	2177.6	0.469
	1.25	4628.3	2185.1	0.472
	1.5	4564.3	2134.2	0.468
V3	1.5	4891.3	2300.4	0.470
	1	4831.1	2275.9	0.471
	0.5	4685.9	2200.6	0.470
	0.75	4653.8	2187.1	0.470
	1.25	4628.3	2185.1	0.472

Kapalı çevrim deney sonuçlarında deney boyunca ortalama EC ve TDS değerlerine göre en yüksekten başlayarak bir sıralama yaptığımızda V2 hızında sırasıyla 1 A, 0.5 A ve 0.75 A de ilk üçteki en yüksek değer, V3 pompa hızına göre baktığımızda 1.5 A, 1 A ve 0.5 A ilk üçteki en yüksek değerler olduğu görülüyor.

Çizelge 4. 23 Kapalı çevrim V2 hızında ölçüm yerinde göre TDS değişimi

Ölçüm Yeri	TDS-V2-0.5A	TDS-V2-0.75A	TDS-V2-1A	TDS-V2-1.25A	TDS-V2-1.5A
Giriş	2110	2200	2190	2200	2010
Çıkış	2220	2198	2220	2194	2174
Deney düzeneğinin içi	2270	2268	2228	2270	2205

Çizelge 4. 24 Kapalı çevrim V2 hızında ölçüm yerinde göre EC değişimi

Ölçüm Yeri	EC-V2-0.5A	EC-V2-0.75A	EC-V2-1A	EC-V2-1.25A	EC-V2-1.5A
Giriş	4476	4750	4700	4673	4270
Çıkış	4730	4623	4543	4597	4556
Deney düzeneğinin içi	4800	4760	4554	4821	4750

V2 hızındaki TDS değişimi Çizelge 4.23’de EC değişimi Çizelge 4.24’te verilmiştir. Elektrokoagülasyon sonrası biriken su ile deney seti içinden alınan su numunelerine baktığımızda plaka ve çubuk elektrotların olduğu yerlerde EC ve TDS değerlerinin daha yüksek olduğu görülüyor.

Çizelge 4. 25 Kapalı çevrim V3 hızında ölçüm yerinde göre TDS değişimi

Ölçüm Yeri	TDS-V3-0.5A	TDS-V3-0.75A	TDS-V3-1A	TDS-V3-1.25A	TDS-V3-1.5A
Giriş	2444	2265	2417	2200	2243
Çıkış	2193	2177	2252	2180	2320
Deney düzeneğinin içi	2191	2193	2305	2198	2407

Çizelge 4. 26 Kapalı çevrim V3 hızında ölçüm yerinde göre EC değişimi

Ölçüm Yeri	EC-V3-0.5A	EC-V3-0.75A	EC-V3-1A	EC-V3-1.25A	EC-V3-1.5A
Giriş	5086	4830	5120	4700	4751
Çıkış	4680	4640	4840	4636	4900
Deney düzeneğinin içi	4685	4690	4880	4783	5160

Yine elektrokoagülasyon sonrası biriken su ile deney seti içinden alınan su numunelerine baktığımızda plaka ve çubuk elektrotların olduğu yerlerde EC ve TDS değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. V2 ve V3 hızındaki değerler Çizelge 4.25 ve Çizelge 4.26’da verildi.

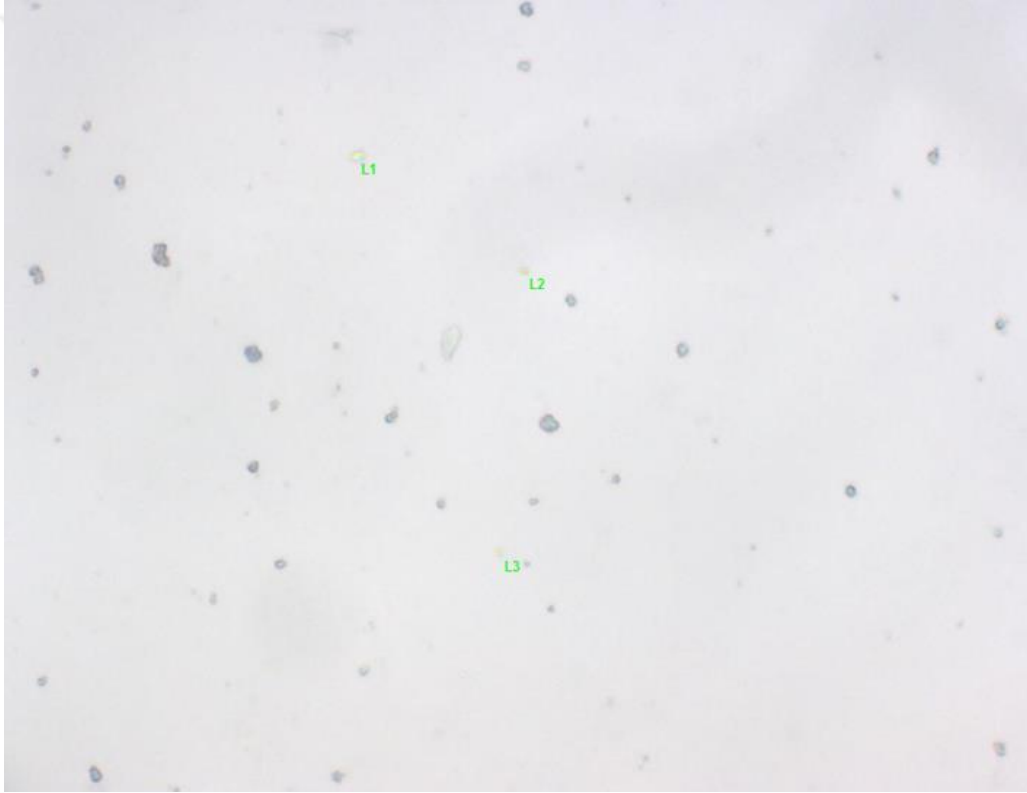
4.4 Nano Silis Deneyleri ve SEM Analizleri

Şimdiye kadar yapılan saf su deneyleri, açık ve kapalı çevir deneyleriyle amaçladığımız şey deney setinin davranışını karakterize edip en uygun akım ve pompa hızını seçerek nihai nano silis elde etmek için bir deney yapmaktır.

Yaptığımız bütün deneylerin sonucunda tek bir akım şiddeti ve tek bir pompa hızını işaret etmediği için deney sonrası filtrelemede kullanılan filtrelerle ayrı bir çalışma yapılmıştır.

İncelenen literatür çalışmalarında tohumla polimerizasyon artırdığı için kapalı çevrim deneylerde Filtre kağıtlarında tutulan malzemeler 1.5 mm x 1.5 mm lamellere küçük spatulayla sıyrılıp daha sonra saf suyla açılarak lamele tam dağılım sağlayıp optik mikroskopta tane dağılımlarına bakılmıştır.

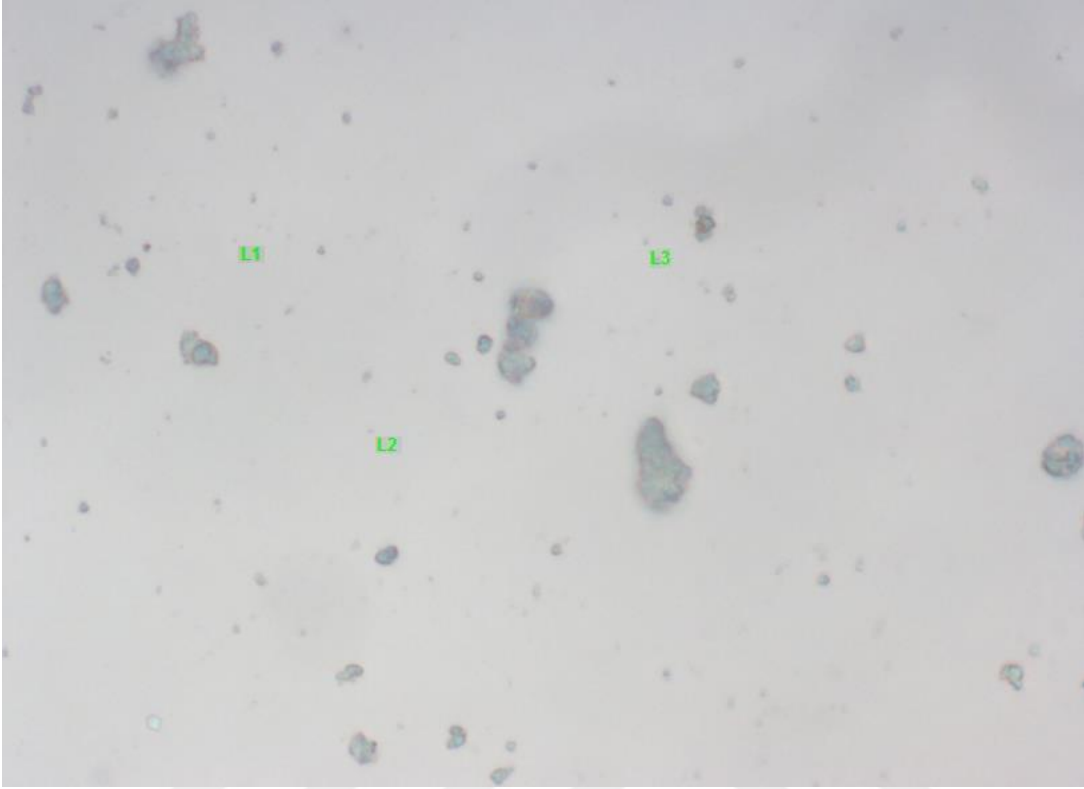
Resim 4.3'te ve Çizelge 4.27'de verilen 1 A / V3 ve Resim 4.4'te ve Çizelge 4.28'de verilen 1.5 A / V2 hızlarında optik mikroskoptaki dağılımların daha homojen dağılım içerdiği için nano silis elde etmek için yapılacak nihani deneylerde bu hız ve amper değerlerinin kullanılmasına karar verilmiştir



Resim 4. 3 1 A / V3 optik mikroskop görüntüsü

Çizelge 4. 27 1 A / V3 hızında filtreleme sonrasında tutulan madde boyutu örneği

Noktanın adı	Büyüklük değeri (µm)
L1	0.915631
L2	0.719424
L3	0.850228



Resim 4. 4 1.5 A / V2 optik mikroskop görüntüsü

Çizelge 4. 28 1.5 A / V2 hızında filtreleme sonrasında tutulan madde boyutu örneği

Noktanın adı	Büyüklik değeri (µm)
L1	1.635055
L2	0.981033
L3	0.719424

Filtreler incelenirken aynı zamanda filirelerde tutulan madde miktarlarınınada bakılmıştır. Yapılan kapalı çevrim deneyler sonucunda elde edilen madde miktarları Çizelge 4.29’da listelenmiştir. 0.5 A / V3 hızında tutulan madde miktarı en yüksek olduğu için nano silis elde etmek için yapılacak deneylere bu hız ve akım değeri de eklenmiştir.

Çizelge 4. 29 Kapalı çevrim filtreleme ve kurutma sonrasında tutulan madde miktarları

Pompa hızı	0.5 A (mg/ml)	0.75 A (mg/ml)	1 A (mg/ml)	1.25 A (mg/ml)	1.5 A (mg/ml)
V2	0.265	0.179	0.036	0.105	0.123
V3	0.339	0.304	0.388	0.169	0.425

Tüm deneylerde tutulan madde miktarları kapalı çevrim deneylerinde filtrede tutulan maddem miktarları Çizelge 4.29’da açık çevrim deneylerinde filtrede tutulan maddem miktarları Çizelge 4.30’da verilmiştir.

Çizelge 4. 30 Açık çevrim filtreleme ve kurutma sonrasında tutulan madde miktarları

Pompa hızı	0.5 A (mg/ml)	0.75 A (mg/ml)	1 A (mg/ml)	1.25 A (mg/ml)	1.5 A (mg/ml)
V2	0.155	0.152	0.025	0.090	0.098
V3	0.300	0.280	0.301	0.149	0.300

V2 hızında deneyde kullanılan akım şiddetleriyle açık ve kapalı çevrim deneylerde elde edilen karşılaştırmalı olarak EC ve TDS değerlerindeki değişim Çizelge 4.31’de, V3 hızında deneydeki karşılaştırmalı değişim Çizelge 4.32’de verilmiştir

Çizelge 4. 31 V2 hızında tohumla sonrasında oluşan ortalama TDS ve EC değerleri

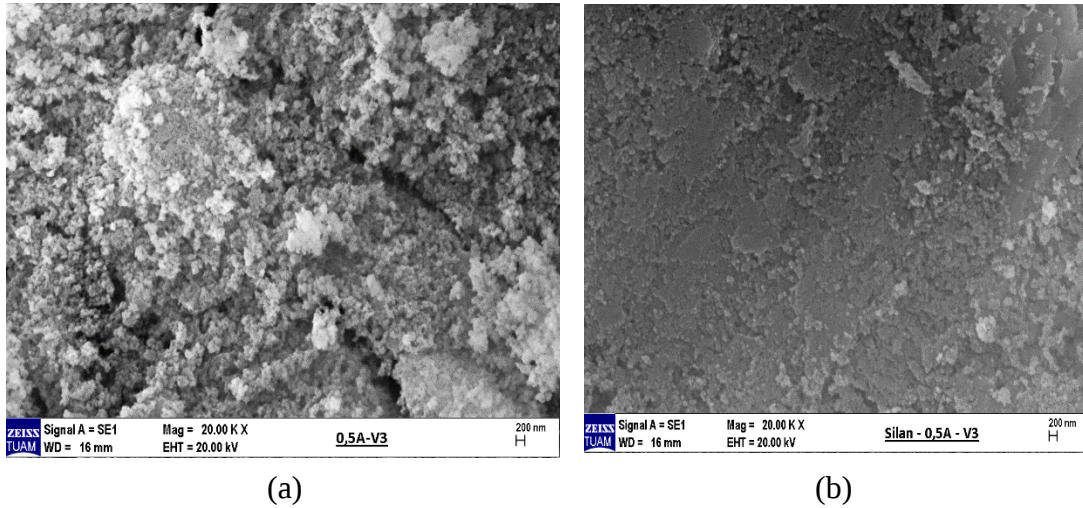
Akım Şiddeti (A)	Açık çevrim EC-V2	Kapalı çevrim EC-V2	Açık çevrim TDS-V2	Kapalı çevrim TDS-V2
0.5	4696.5	4669.6	2207.8	2194.3
1	4488.5	4644.2	2102.2	2177.6
0.75	4137.5	4628.3	1895.3	2185.1
1.25	4495.4	4564.3	2112.2	2134.2
1.5	4787.4	4736.9	2257.2	2231.2

Çizelge 4. 32 V3 hızında tohumla sonrasında oluşan ortalama TDS ve EC değerleri

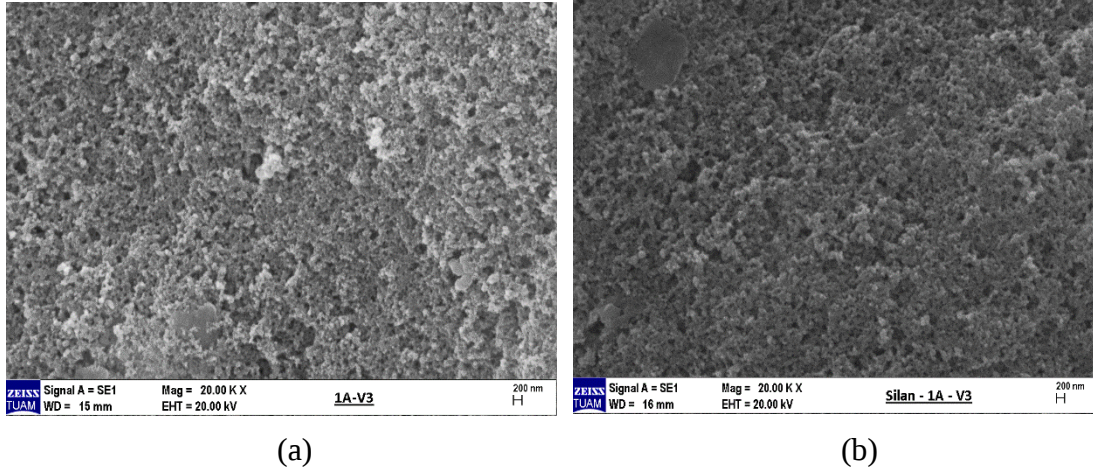
Akım Şiddeti (A)	Açık çevrim EC-V3	Kapalı çevrim EC-V3	Açık çevrim TDS-V3	Kapalı çevrim TDS-V3
0.5	4688.9	4831.1	2204.1	2275.9
1	4502.2	4653.8	2204.1	2212.0
0.75	4230.9	4628.3	2008.4	2185.1
1.25	4539.3	4685.9	2146.7	2200.6
1.5	4764.6	4891.3	2249.9	2300.4

Nano silis elde etmek için nihai olarak altı deney daha yapılmıştı. 0.5 A / V3, 1 A / V3 ve 1.5 A / V2 kapalı çevrim termal su deneyleri. Silan içeren 0.5 A / V3, silan içeren 1 A / V3 ve silan içeren 1.5 A / V2 kapalı çevrim termal su deneyleri.

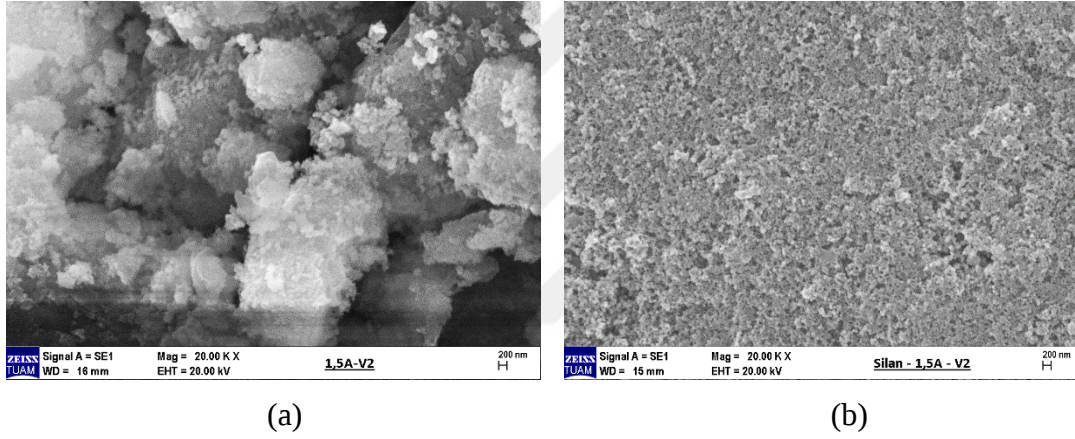
Resim 4.5'te 0.5 A / V3 için hem kapalı çevrim hemde silan içeren deneylerinin, Resim 4.6'da 1 A / V3 için hem kapalı çevrim hemde silan içeren deneylerinin ve Resim 4.7'de 1.5 A / V2 için hem kapalı çevrim hemde silan içeren deneylerinin, SEM görüntüleri karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.



Resim 4. 5 (a) 0.5 A / V3 kapalı çevrim SEM görüntüsü (b) silan içeren 0.5 A / V3 kapalı çevrim SEM görüntüsü



Resim 4. 6 (a) 1 A / V3 kapalı çevrim SEM görüntüsü (b) silan içeren 1 A / V3 kapalı çevrim SEM görüntüsü



Resim 4. 7 (a) 1.5 A / V2 kapalı çevrim SEM görüntüsü (b) silan içeren 1.5 A / V2 kapalı çevrim SEM görüntüsü

Nano silis elde etme deneylerinde kapalı çevrim filtrede tutulan madde miktarları Çizelge 4.33’de verilmiştir.

Çizelge 4. 33 Nano silis deneyleri filtreleme ve kurutma sonrasında tutulan madde miktarları

Çevrim türü	0.5 A / V3 (mg/ml)	1 A / V3 (mg/ml)	1.5 A / V2 (mg/ml)
Kapalı çevrim	0.314	0.433	0.709
Silan içeren kapalı çevrim	0.212	0.264	0.533

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bir maddenin elektriksel iletkenlik yeteneğini ifade eden EC değeri arttıkça çözeltinin iletkenliği artmasıyla maddeler arasındaki elektrostatik etkileşimler ve çözeltideki iyon yoğunluğu artar. Böylece katı maddelerin çözeltide çökme miktarı bu iletkenlikle bağlı genellikle artar. Tabiki EC değerinin dışında pH değeri, sıcaklık, çözeltideki diğer iyonlar ve çözelti kimyasal bileşimi gibi faktörler de çökeltme miktarını etkileyebilir.

Çizelge 5. 1 V2 hızında tohumla sonrasında oluşan ortalama TDS ve EC değerleri

Akım Şiddeti (A)	Açık çevrim EC-V2	Kapalı çevrim EC-V2	Açık çevrim TDS-V2	Kapalı çevrim TDS-V2	Açık çevrim EC-V3	Kapalı çevrim EC-V3	Açık çevrim TDS-V3	Kapalı çevrim TDS-V3
0.5	4696.5	4669.6	2207.8	2194.3	4688.9	4831.1	2204.1	2275.9
1	4488.5	4644.2	2102.2	2177.6	4502.2	4653.8	2204.1	2212.0
0.75	4137.5	4628.3	1895.3	2185.1	4230.9	4628.3	2008.4	2185.1
1.25	4495.4	4564.3	2112.2	2134.2	4539.3	4685.9	2146.7	2200.6
1.5	4787.4	4736.9	2257.2	2231.2	4764.6	4891.3	2249.9	2300.4

Açık çevrim ve kapalı çevrim yapılan deneyler sonucunda EC ve TDS değişimleri Çizelge 5.1’de filtrede tutulan madde miktarlarına baktığımızda tüm farklı akım ve pompa hızlarında yapılan deneylerde kapalı çevrim boyunca sisteme silis tohumlaması (CEED) yaptığı durumlarda tutulan madde miktarının açık çevrime göre daha fazla olduğu görülüyor.

Bu durma uymayan 0.5 A / V2 ve 1.5 A / V2 değerlerinde ise kapalı çevrim değerlerin daha düşük olduğu görülüyor

Çizelge 5.2’te yapılan deneyler sonucunda elde edilen açık ve kapalı çevrim deneylerde tutulan madde miktarları görünüyor. Bu değerlere baktığımızda açık çevirme nazaran kapalı çevrimde tohumla yapılan madde miktarlarının daha fazla olduğu görülüyor. Tezin amaçlarından biri olan çökelen madde miktarını zenginleştirerek artırmanın başarılı olduğu görülüyor.

Çizelge 5. 2 Kapalı çevrim filtreleme ve kurutma sonrasında tutulan madde miktarları

Çevrim türü	Pompa hızı	0.5 A (mg/ml)	0.75 A (mg/ml)	1 A (mg/ml)	1.25 A (mg/ml)	1.5 A (mg/ml)
Açık çevrim	V2	0.155	0.152	0.025	0.090	0.098
Kapalı çevrim	V2	0.265	0.179	0.036	0.105	0.123
Açık çevrim	V3	0.300	0.280	0.301	0.149	0.300
Kapalı çevrim	V3	0.339	0.304	0.388	0.169	0.425

Nano silis için yapılan deneylere baktığımızda silan olmayan kapalı çevrimde elde edilen madde miktarlarının Çizelge 5.3’de görüldüğü gibi silan içerene nazaran daha yüksek olduğu görülüyor. Silis içeren termal su bulunan deney 1/5 oranında silanın eklenmesinin EC ve TDS değerini Çizelge 5.4 ve Çizelge 5.5’de görüldüğü gibi önemli ölçüde azaldığı görülüyor. Silanın tane boyutunu küçültüp mevcut filtre kağıdından geçtiği görülüyor. Ancak, EC değerinin artması veya azalmasıyla çözeltide çöken nano katı madde miktarı arasındaki ilişki, çeşitli faktörlere bağlı olarak değişebilir.

Çizelge 5. 3 Silan içeren ve içermeyen deneyler sonucunda tutulan madde miktarları

Çevrim türü	0.5 A / V3 (mg/ml)	1 A / V3 (mg/ml)	1.5 A / V2 (mg/ml)
Kapalı çevrim	0.314	0.433	0.709
Silan içeren kapalı çevrim	0.212	0.264	0.33

Çizelge 5. 4 Kapalı çevrim deneyler sonucunda elde edilen TDS ve EC değerleri

Zaman periodu (dk)	0.5 A TDS-V3	1 A TDS-V3	1.5 A TDS-V2	0.5 A EC-V3	1 A EC-V3	1.5 A EC-V2
5.	2367.6	2274.2	2210.2	5016.6	4820.2	4708.2
10.	2355.8	2251.6	2214.4	5046.0	4815.8	4700.2
15.	2349.4	2271.6	2190.2	5008.8	4838.0	4713.6
20.	2345.8	2277.8	2198.4	4995.6	4833.8	4712.4
25.	2348.4	2270.6	2226.2	5015.8	4836.6	4712.6
30.	2343.4	2267.6	2218.8	4975.8	4841.2	4676.6
Ort.	2351.7	2268.9	2209.7	5009.8	4830.9	4703.9

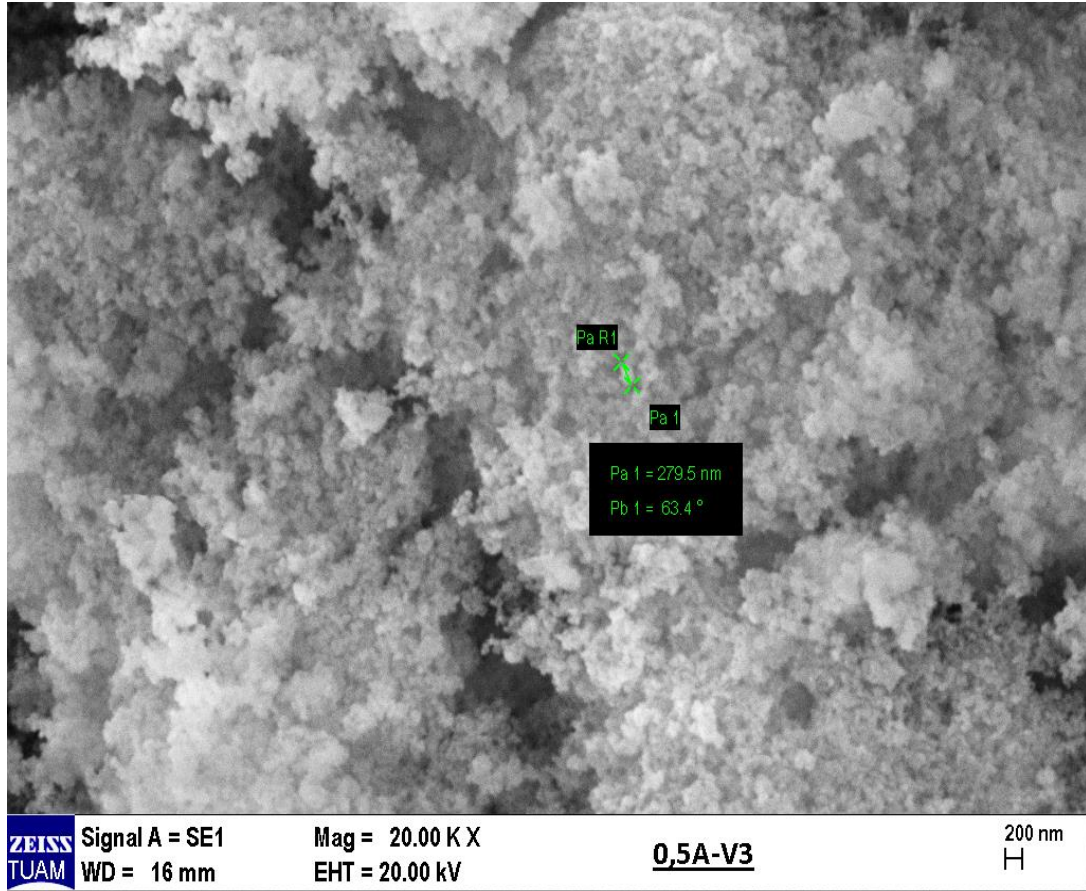
Çizelge 5. 5 Silan içeren deneyler sonucunda elde edilen TDS ve EC değerleri

Zaman periodu (dk)	0.5 A TDS-V3	1 A TDS-V3	1.5 A TDS-V2	0.5 A EC-V3	1 A EC-V3	1.5 A EC-V2
5.	1874.4	1917.4	1873.0	4000.6	4071.0	3998.2
10.	1945.4	1959.8	1931.0	4099.0	4162.8	4112.2
15.	2049.4	2048.8	1992.8	4372.6	4335.2	4193.0
20.	2130.0	2124.0	2089.8	4479.0	4510.8	4450.6
25.	2107.6	2103.2	2083.4	4465.2	4481.2	4392.4
30.	2078.6	2080.2	2049.0	4413.0	4411.6	4341.0
Ort.	2030.9	2038.9	2003.2	4304.9	4328.8	4247.9

Numuneler Kocatepe Ünv. TUAM’da bulunan LEO 1430 VP model SEM cihazı W (Tungsten) filament ile çalışan. Cihaz üzerinde ikincil elektron (secondary electron), geri yansıyan elektron (backscattered electron) ve RÖNTEC QX2 marka ve model XFlash tipi X ışınları (EDX – Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) detektörü bulunan cihazda SEM’ tabi tutulmuştur. Makinenin max. odaklama ve yaklaşma mesafesi olan 20 000 KX büyütülerek SEM görüntülerine bakılmıştır.

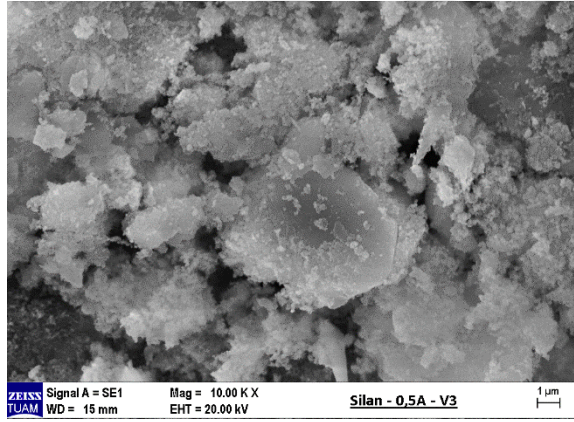
Elde edilen parçacıkları SEM görüntülerinde 200 nM’lik skalaya bakıldığında çok küçük nano boyutlardadır ancak bu parçaların en küçük tanesini odaklanıp boyutunu ölçmek mevcut SEM makinesinin kapasitesi yeterli olmadığı için mümkün olmamıştır.

Örnek olması için ölçülebilen ortalama büyüklükteki parçacık ölçülmüş Resim 5.1’de görüldüğü gibi 279 nM gelmiştir. Aslında skalalar bakıldığında çoğunu numunenin 279 nM’nin altında olduğu görülmektedir.

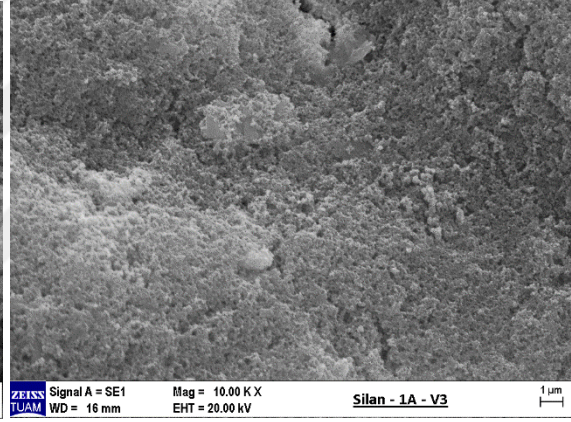


Resim 5. 1 Nano boyuttaki parçayı içeren örnek SEM görüntüsü

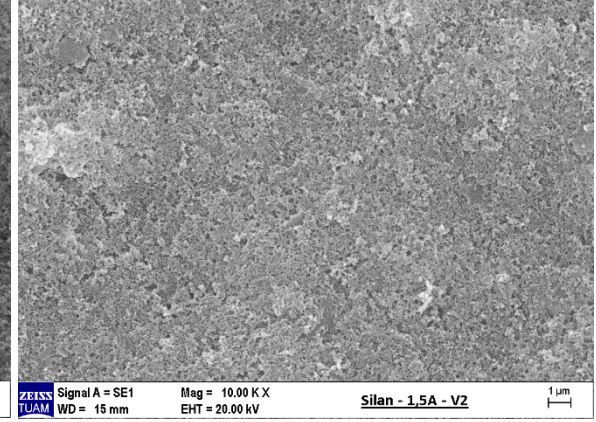
Resim 5.2’de 0.5 A, 1 A ve 1.5 A akımlarda silan içeren ve içermeyen numuneler ait olan 10 000 KX’te ki SEM görüntüleri Resim 5.3’deyse 20 000 KX’te ki Sem görüntüleri karşılaştırılmalı verilmiştir.



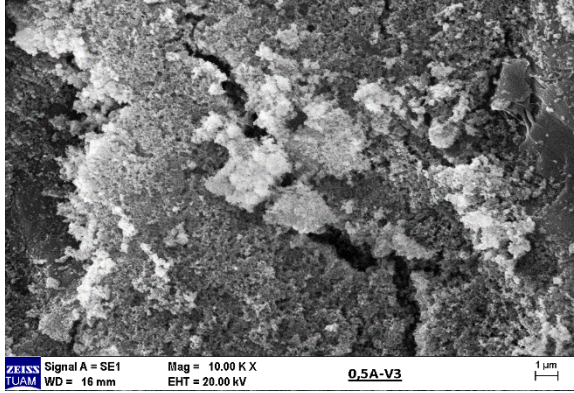
(a)



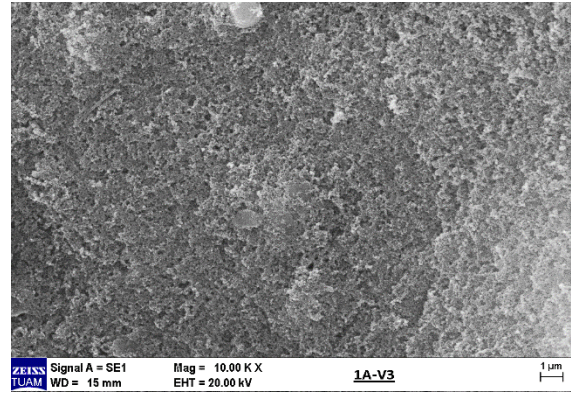
(b)



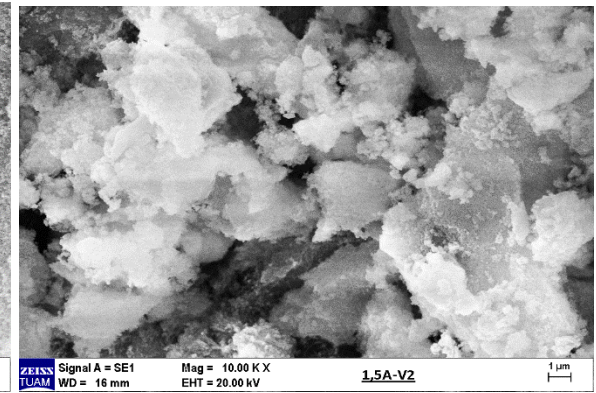
(c)



(e)

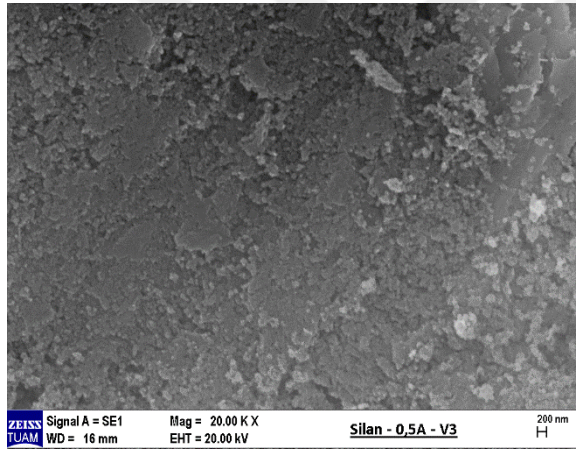


(f)

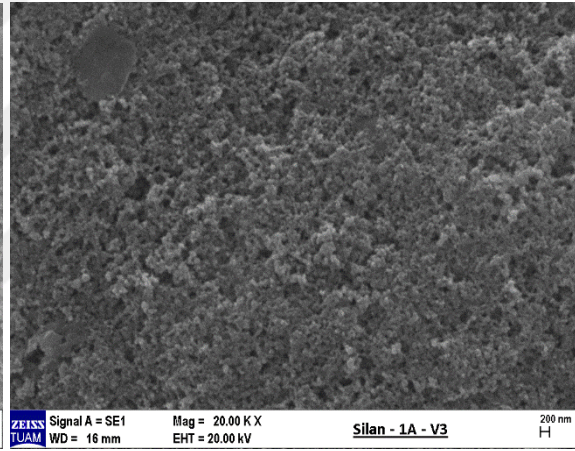


(g)

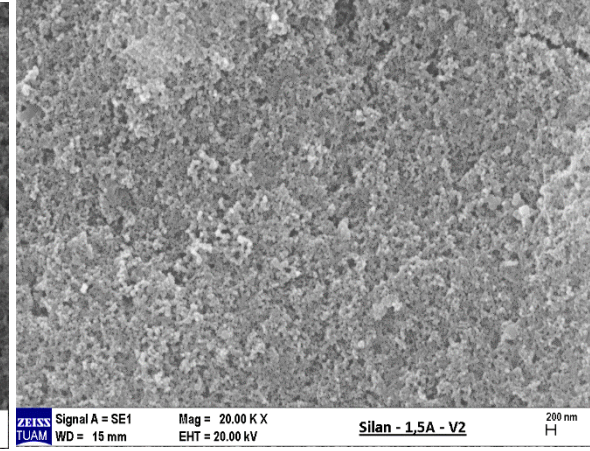
Resim 5. 2 (a), (b), (c) Silan içeren kapalı çevrim numunelerin ve (d), (e), (f) kapalı çevrim numunelerin 10 000 K X SEM görüntüleri



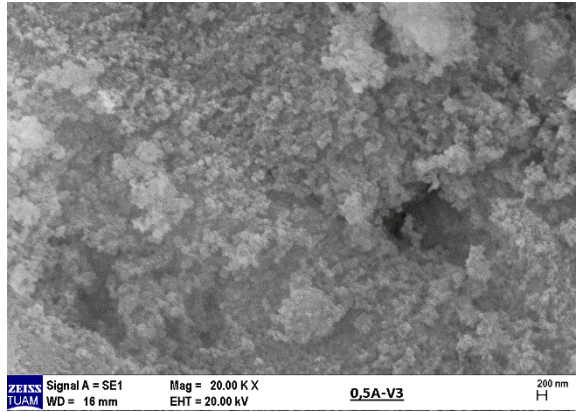
(a)



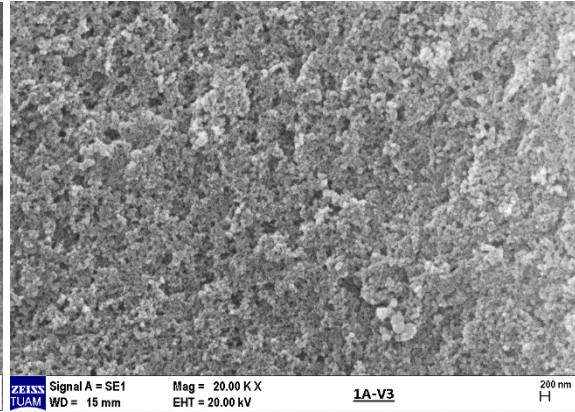
(b)



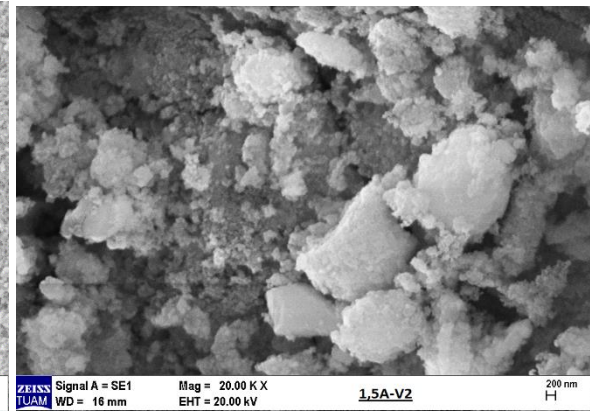
(c)



(d)



(e)



(f)

Resim 5. 3 (a), (b), (c) Silan içeren kapalı çevrim numunelerin ve (d), (e), (f) kapalı çevrim numunelerin 20 000 K X SEM görüntüleri

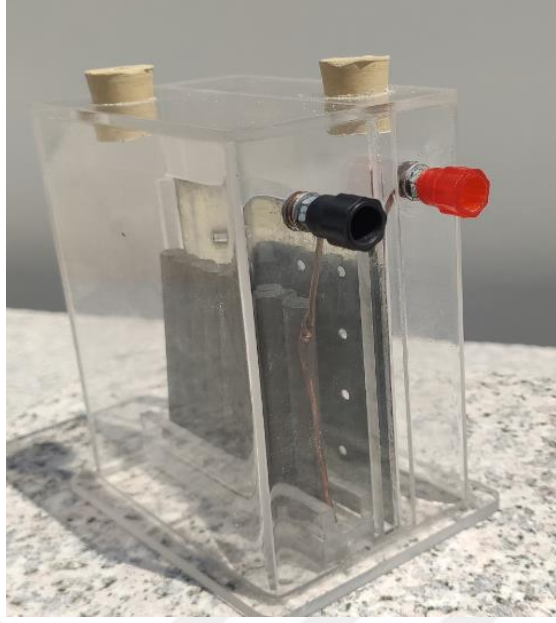
Elektrokoagülasyonda kullanılan Resim 5.4’de ki düzenek anot kısmında demirden delikli bir demir plak, katot kısmında ise 9 adet demir çubuk bağlı elektrokoagülasyon deney düzeneğinde literatürdeki çoğu uygulamanın aksine hem demir plaka hemde demir çubuk elektrotlar aynı anda kullanılmıştır. Bu elektrotların birbirine bağlantısı da bakır teller yardımıyla yapılmıştır.

Elektroliz esnasında çözünen bakır ve demir molekülleri çözeltiye geçmiştir Resim 5.5’te İyon değişim kromatografisi, metal iyonlarını farklı birçok iyonla değişim yapabilen reçine veya membranlar kullanarak ayırıştırma, çözeltinin pH ayarlaması yapılarak demir ve bakır iyonları çöktürülmesi, demir ve bakır iyonlarını elektrot potansiyelleri ve farklı elektrot malzemeleri kullanarak elektrokimyasal yöntemlerle ayırıştırılması, adsorbanlar kullanarak demir veya bakır iyonlarını çözeltiden bağlayarak ayırıştırılması gibi yöntemlerde kullanılarak mevcut kalıntıların uzaklaştırılma yöntemleri de kullanılabilir.

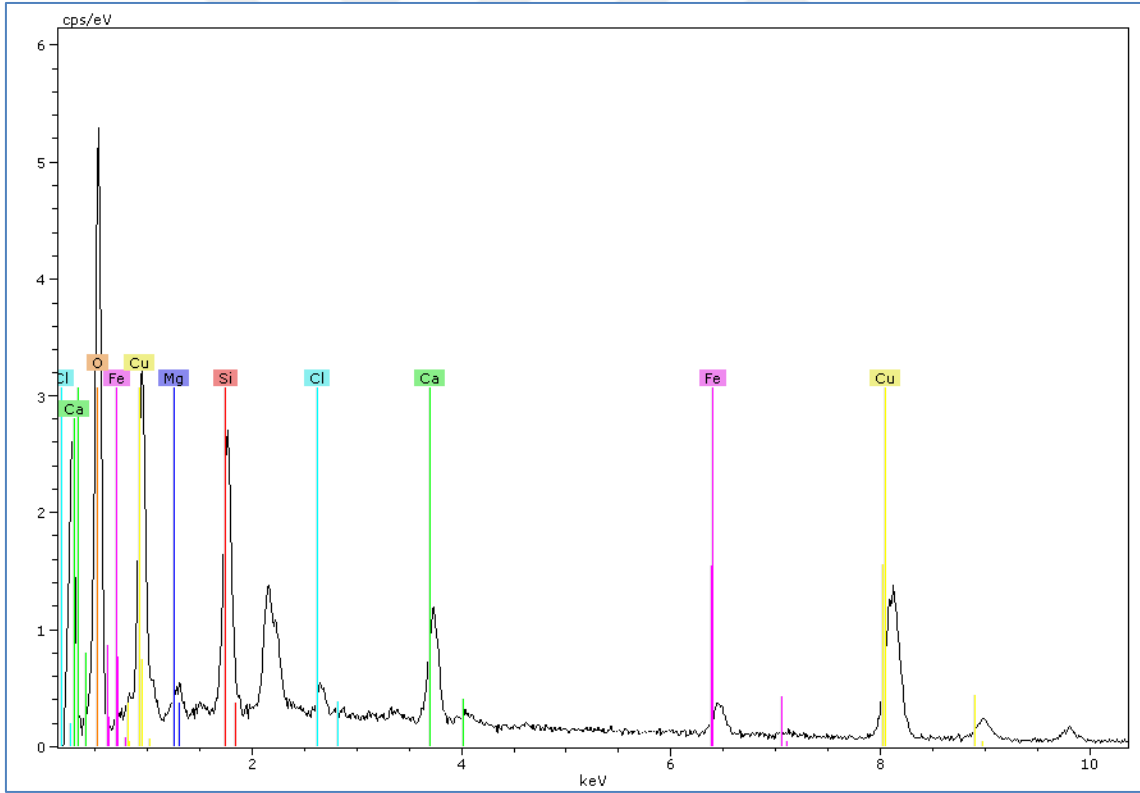
Sonraki analizlerde silisin BET alanı ve saflığı gibi değerlerle en uygun yöntem seçilmedi. Silan takviyeli deney sonuçlarının tutulan madde miktarının mevcutta kullanılan filtrelerin tutacağına daha küçük tanede olduğu için azaldığı görülüyor. SEM görüntülerine Resim 5.3 ve Resim 5.4’e baktığımızda tane dağılımı ve homojenizasyona önemli ölçüde olumlu katkı sağladığı görülüyor.

Tutulan maddem miktarlarıyla birlikte SEM görüntüleriyle birlikte değerlendirildiğinde 1 A / V3 hızının en uygun seçin olduğu görülüyor.

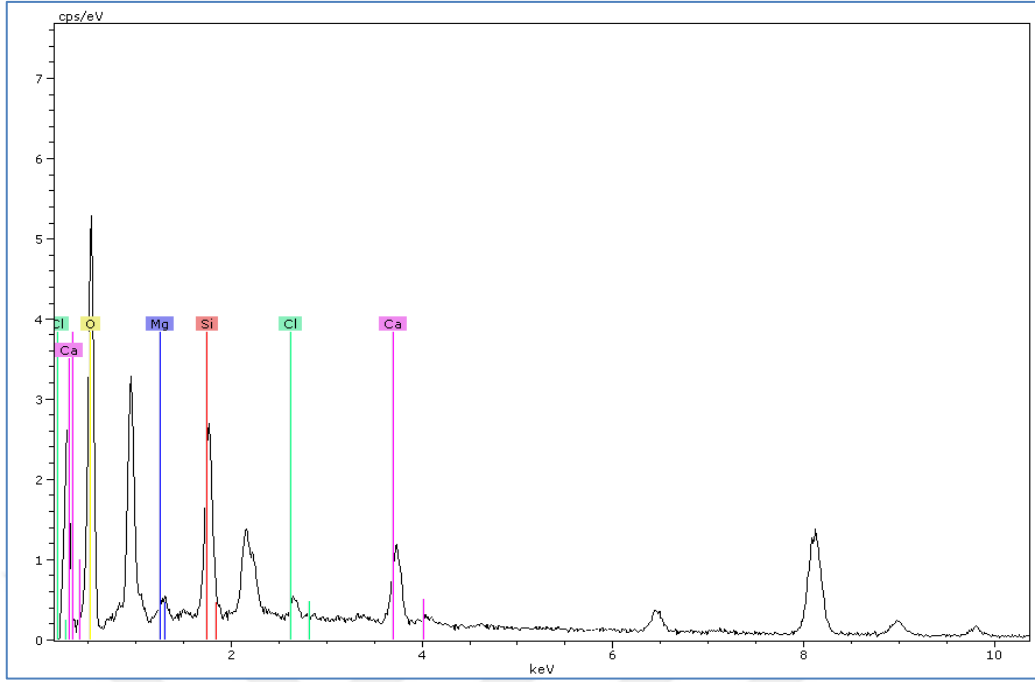
Bu maddeler konsantre sülfürik asit gibi asitlerle çözeltide asit yıkama yöntemiyle uzaklaştırabilmektedir. 1 A / V3 numunesi için sonuç olarak elde edilen madde miktarların EDX görüntüleri Resim 5.6’de ve demir ve bakır asitle yıkama gibi yöntemler kullanılıp uzaklaştırıldıktan sonraki madde EDX grafiği Resim 5.7’de, madde oranlarında Çizelge 5.6’de verilmiştir.



Resim 5. 4 Elektrokoagülasyon deney düzeneği



Resim 5. 5 Elektrokogülasyon sırasında oluşan EDX görüntüsü



Resim 5. 6 İstenmeyen maddelerin uzaklaştırılması sonucunda elde edilebilecek EDX görüntüsü

Çizelge 5. 6 Silan içeren ve içermeyen deneyler sonucunda tutulan madde miktarları

Maddenin adı	% oranı
Mg	4.4
SiO ₂	68.5
Cl	1.8
CaO	25.3

Yapılan deneyler ve ileri düzey yapılacak deneysel çalışmalar için öneriler ve tartışma konularını özetleyecek olursak;

ELEKTROKOAGÜLASYON YÖNTEMİ HER MADDEYİ ÇÖKELTMEK MÜMKÜNMÜDÜR: Elektrokoagülasyon yöntemi, sıvı içindeki istenmeyen maddelerin çöktürülebilmesi için etkili bir yöntemdir. Bu yöntemle birlikte, hedeflenen maddenin çöktürülebilir formda olması ve elektrokoagülasyon işlemine tepki vermesi önemlidir.

Elektrokoagülasyon, sıvı içindeki partikülleri veya çözünmüş maddeleri çöktürmek için kullanılan bir fiziksel işlemdir. Elektrotlara uygulanan elektrik akımı, sıvı içindeki partiküllerin yüzeylerini yükendirir ve elektrokoagülasyon işlemi sonucunda bu yüklü partiküller birbirlerine bağlanarak daha büyük çökelti parçacıkları oluşturur. Bu çökelti parçacıkları daha sonra filtrasyon veya çökelme işlemleriyle ayrıştırılabilir.

Ancak, elektrokoagülasyon yöntemi her türlü madde için aynı derecede etkili olmayabilir. Bazı maddeler, elektrik alan etkisi altında daha iyi çökerken, bazıları için bu işlem daha zor olabilir. Maddenin kimyasal ve fiziksel özellikleri, çöktürme verimliliğini etkileyen faktörler arasında yer alır.

Özetle, elektrokoagülasyon yöntemi, sıvı içindeki istenmeyen maddelerin çöktürülebilmesi için kullanılabilir. Ancak, herhangi bir maddenin elektrokoagülasyonla çöktürülebilmesi için, maddenin çöktürülebilir formda olması ve elektrokoagülasyon işlemine tepki verebilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, hedeflenen maddeye özgü deneyler ve analizler yapmak önemlidir.

DENEYLERDE KULLANILAN ÖLÇME CİHAZLARI: EC/TDS ölçer pH/Sıcaklık ölçerler metaryel metot kısmında belirtildiği gibi piyasadan bulunun satın alınan çok proforyonel olmayan aletlerdir. Deneylerin en başında en sonuna kadar EC/TDS ve pH/sıcaklık ölçümleri tek cihazla yapılmış olup olası farklı cihazların kullanılmasından kaynaklı olabilecek hassasiyet ve ölçme hataları önlenmeye çalışılmıştır.

İlkeri deneylerde ölçüm hassasiyeti yüksek aletlerin tercih edilmesi olası ölçüm hatalarında daha az oluşmasını sağlayacaktır.

DENEYLERDE KULLANILAN DENEY SETİ: Kullanılan deney seti sürekli gözlemlenmiş olası paslanmalar hafif seyreltik asitle yıkanarak uzaklaştırılmış ve deneyler sırasında gerek elektrot plaka ve çubuklarının gerekse onlara akımı ileten bakır tellerin incilmesi, kopması ve iletkenliklerinin azalması durumunda aynı ebatlarda, aynı özellikte hazırlanmış deney setleriyle deneylere devam dilmiş olup tez boyunca aynı özellikte 6 adet deney seti kullanılmıştır.

KAYNAK SU SEÇİMİ: Nano silis kalitesini ve miktarını artırmak için daha yüksek rezervuar sıcaklıklarına sahip ve silis oranı yüksek farklı kuyu ve kaynak tespit edilip oranın su numuneleri kullanılabilir. Kuyu suyunun kaynak noktasından alınan su numunesi ile dönüş suyundan alınan suyunun kimyasal analizleri yapılarak içindeki silis ve diğer mineral miktarlarının oranlarına bakılarak seçilebilir. Bu tezde kullanılan olan kaynak suyun Afyon bölgesine ait düşük silis oranına sahip ve rezervuar sıcaklığı düşük olan termal sular ek bir işleme tabi tutulmadan kullanılmıştır.

SICAKLIK: Kullanılacak kaynak suyun seçiminde etki eden bir diğer parametrede sıcaklık. Genel anlamda yapılan literatür çalışmalarında sıcaklık artışıyla silis çözünümlü arasında doğru orantı olduğu bilinmekte.

Bu amaçla mevcut uygun kaynakların sıcaklıklarına bakılarak tekrar bir değerlendirme yapılacak olup yine kaynak numunelerin sıcaklıklarının yetersiz olup silis veriminin yüksel olduğu sular için etüv yada otoklav benzeri ekipmanlar kullanılarak sıcaklık yükseltilerek numuneler üzerinde çalışmalar yapılabilir. Bu tezde Afyon jeotermal suları AFJET A.Ş. nin dönüş suyu numunesi alınarak kullanılmış olup mevcut oda sıcaklığındaki tutularak kullanılmıştır.

pH DEĞERİ: Literatür çalışmalarında elde edilecek nanosilis miktarında numune olarak kullanılacak suyun pH değerinin etkili olduğu ve genel olarak yüksek pH değerlerinde çözünürlüğün arttığı görülmüştür.

Bu tezde yapılan çalışmada Afyon yöresine ait jeotermal su kullanılmış alıp pH yükseltme çalışmaları yapılmamıştır ayrıca pH değerinin anot katot çözünmesine etkisinin olmadığı da görülmüştür. İleri karakterizasyon deneylerinde mevcut suyun pH değeri üzerinden deneyler yapılabilir.

Değişik pH değerlerindeki sular kullanılarak pH değerini artırmak için polisislik asit, kalsiyum karbonat ilavesi, tuz ilavesi gibi yöntemler kullanılarak değişik pH değerlerinde çalışmalar yapılabilir.

SUDAKİ SİLİS ÇÖZÜNÜM MİKTARINI ARTIRMA YÖNTEMLERİ: Yapılan çalışmalarında birçok değişik çökeltme yöntemi kullanılmış olup bunlardan polimerizasyonu artırmak için polimerizasyon artırma yöntemlerinden en uygun olanının seçimi üzerine çalışmalar yapılabilir. Mevcut sudaki silis çözünme miktarının artırmak için çökelmiş silikanın tohumlama malzeme olarak kullanılmasının dışında metal iyonu ilavesi, silika çökmesinin hızlandırmak için organik bir reaktör edip floküle edici madde kullanmak, jel çökelticiler yada kostik ilavesi gibi yöntemler kullanılarak analizler yapılabilir. Bu tezde sadece kapalı çevrim yapılarak tohumlama ve yapay silan kullanılmıştır.

SİLİS ÇÖKELTME YÖNTEMİ: Yapılan literatür çalışmalarda silisik asit ilavesi, elektroagülasyon yöntemi, yaşlandırma yöntemi gibi yöntemler kullanılarak silisin polimerizasyonunun sağlanıp çöktildiği görülmüştür. En ideal nano silis elde etmek için tezde kullanılan tohumlama yönteminin haricinde hangilerinin daha etkili olduğu anlamak için çalışmalar yapılabilir. Birbiriyle kıyaslamak için çalışmalar yapılırken kullanılacak inhibitör asitin seçimi ve hangi oranlarda kullanıldığında ideal polimerizasyonun sağlanacağı, elektroagülasyon yönetminde kullanılacak aliminyum elektrodun numune su üzerinde uygulanma süresinin ve uygulanma derinliğinin etkisine, silisyumu aşırı doymuş bir polisilik asit çözeltisindeyken monosilik asit polimerize edilerek yaşlandırılmasında farklı asitlerin ve farklı yaşlandırma sürelerinin polimerizasyona etkisi üzerine çalışmalar yapılabilir.

ELDE EDİLEN SİLİSTEN İSTENMEYEN MADDELERİN UZAKLAŞTIRILMASI: Silisin dışında istenmeyen maddelerin elde edilen çökeltiden uzaklaştırılmasında literatürde yaygın olarak HCL asitle yıkama yöntemi kullanılmış olup kullanılacak asit miktarıyla uzaklaştırılan istenmeyen madde miktarı ve kalıntı miktarı arasında bağlantılar araştırılabilir, farklı asitlerle kalıntı miktarlarını minimuma getirecek çalışmalar yapılabilir.

KURUTMA YÖNTEMİ: Polimerizasyon sonucunda elde edilen silisin kurutulması da hayati öneme sahiptir bu tezde etüvde kurutma tercih edilmiştir. Süper kritik kurutma gibi farklı yöntemlerle aglomerasyon miktarının azaltılması için kurutma süresi ve yöntemi üzerine çalışılabilir.

ICP YÖNTEMİYLE NANO SİLİS ELDE ETMEDE KULLANILABİLİR:

Jeotermal sular, içerdikleri mineraller ve diğer maddeler nedeniyle karmaşık bir bileşime sahip olabilir. ICP yöntemi, jeotermal suların içeriklerini analiz etmek için yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. ICP, sıvı örneklerdeki elementlerin belirlenmesi için yüksek hassasiyetli bir analiz sağlar.

ICP (İndüktif Eşleşmiş Plazma) yöntemi kullanılarak nano silis elde edilirken kimyasal denge izlenebilir. ICP, bir plazma (yüksek sıcaklıkta iyonize gaz) oluşturarak numunedeki elementlerin atomize olmasını sağlar. Bu atomlar daha sonra iyonlaştırılır ve analiz edilir.

ICP yöntemi, jeotermal suların içerisindeki nano silis parçacıklarının detaylı bir şekilde görülmesini sağlayabilir. Öncelikle, jeotermal su örneği ICP için uygun şekilde hazırlanır ve numuneye belirli bir akış hızıyla enjekte edilir. Jeotermal su, ICP'nin indüktif eşleşmiş plazmasında atomize edilir ve iyonize olur. Bu sayede su içindeki silis iyonları tespit edilebilir.

Termal sulardan nano silis elde etmek için flotasyon yöntemi kullanılabilir. Flotasyonda amaç maddelerin farklı yüzey özelliklerine kullanarak ayrıştırılmasıdır.

Malzeme Hazırlığı: Üzerinde çalışılacak termal sudan bir örnek numune alıp gerekli kimyasal analizleri yapıp istenilen malzemenin varlığı ve miktarı belirlenir.

Kimyasal Hazırlık: Genellikle, nano silis partiküllerini hidrofobik (suya itici) hale getirmek için hidrofobik bir reaktif kullanarak flotasyona hazır hale getirilir. Bu, nano silis partiküllerini hidrofilik (suya çekici) diğer minerallerden ayırmayı sağlar.

Karıştırma: Örnek numune kimyasal karıştırma kabına yada tankına aktarılır ve burda kimyasal madde eklenerek homojen çözelti haline getirilir.

Kimyasal Eklenmesi: Hidrofobik reaktif karıştırma tankına ilave edilerek. nano silis partiküllerinin miktarına ve özelliklerine bağlı olarak süre karıştırma şekli değişebilir. Bu işlem, nano silis partiküllerini hidrofobik hale getirir.

Flotasyon Tankı: Karıştırma tankındaki çözeleti yüzey özelliklerine göre ayırmaya sağlayacak flotasyon tankına aktarılır. Bu tankta, nano silis partikülleri hidrofobik oldukları için hava kabarcıklarına yapışacak ve sıvı yüzeyine çıkacaktır.

Hava Püskürtme: Flotasyon tankına difüzör benzeri bir araçla hava püskürtülerek nano silis partikülleriyle hava kabarcıkları yapışarak sıvı yüzeyine çıkmaya yaracaktır.

Ayırma: Hava kabarcıklarına yapışan nano silis partikülleri sıvı yüzeyine çıkacak ve burada toplanacaktır. Bu toplama işlemi, nano silis partiküllerini diğer minerallerden ayırmak için bir mekanizma kullanılarak gerçekleştirilebilir.

Toplama: Sıvı yüzeyinde toplanan nano silisler bir toplama noktasına yönlendirilir.

Temelde bu adımları takip ederek, termal sulardan nano silis elde etmek için flotasyon yöntemini detaylı opmetmizasyon çalışmalarıyla kullanılabilir.

ICP YÖNTEMİYLE KİMYASAL DENGİ TAKİP EDİLEBİLİR: Kimyasal denge, silis bileşiğinin ICP'de atomize edildiği ve iyonlaştığı süreçte önemli bir rol oynar. Kimyasal denge, silis bileşiğinin iyonlaşma dengesi ile ilgilidir. ICP koşullarını (sıcaklık, basınç, plazma bileşimi, numune hazırlığı vb.) belirli bir şekilde kontrol ederek, kimyasal dengeyi koruyarak istenen nano silis parçacıklarının üretimini sağlamak mümkündür. Bu nedenle, nano silis üretiminde kimyasal dengeyi izlemek ve optimize etmek için dikkatli bir çalışma ve analiz yapılması önemlidir.

ICP yöntemi kullanılarak nano silis üretimi sırasında bazı zorluklar ve dikkate alınması gereken faktörler de vardır. Numunenin hazırlanması, ICP koşullarının optimize edilmesi ve diğer parametrelerin kontrol edilmesi gibi faktörler, kimyasal dengeyi sağlama ve istenen nano boyutlu silis parçacıklarının elde etme sürecini etkileyebilir.

ICP, yüksek enerjili plazma ortamında atomize edilmiş silis iyonlarını tespit ederek ve bunların yoğunluğunu ölçerek nano silis içeriğini belirleyebilir. Bu analiz, jeotermal suların içerdiği nano boyutlu silis parçacıklarının tespit edilmesini ve miktarlarının belirlenmesini sağlar.

Yine de, jeotermal suların içerdiği bileşiklerin karmaşıklığı ve analiz sürecindeki potansiyel etkileşimler göz önüne alınmalıdır. Numune hazırlığı, ICP koşulları ve doğrulama için uygun standartlar gibi faktörler, doğru ve güvenilir sonuçlar elde etmek için dikkatli bir şekilde kontrol edilmelidir.

NANO SİLİS ELDE ETMEDE FLOTASYON YÖNTEMİ KULLANILABİLİR:

Flotasyon yöntemi, bir maden veya mineralin sudaki yoğunluğunu değiştirerek, hafif malzemelerin sudan ayrılmasını sağlayan bir ayırma tekniğidir. Bu yöntem genellikle madencilik endüstrisinde kullanılır.

Silis (silika), doğada yaygın olarak bulunan bir mineraldir ve termal sular genellikle silis içerir. Silis, flotasyon yöntemiyle termal sularından ayrılabilir. İşte flotasyon yöntemiyle termal sularından silis elde etmek için izlenebilecek temel adımlar:

Hazırlık: Termal su örneğini alın ve laboratuvar ortamında analiz için uygun şekilde saklayın. Termal su, silis içeriği açısından belirli bir konsantrasyona sahip olmalıdır.

Öğütme: Elde edilen termal su örneğini öğütmek için bir öğütme işlemi gerçekleştirin. Bu, termal sudaki silis partiküllerini daha kolay ayrılabilir hale getirecektir.

Kimyasal tedavi: Silis partiküllerini flotasyon süreci için uygun hale getirmek için kimyasal tedaviler uygulayın. Bu, silis partiküllerinin hidrofobik (suda itici) hale gelmesini sağlayabilir.

Flotasyon hücresi: Kimyasal tedavi görmüş termal su örneğini, özel bir flotasyon hücresine aktarın. Bu hücre, termal suyu içeren bir tank ve hava kabarcıkları üretmek için bir difüzör içerir.

Hava kabarcıkları: Flotasyon hücresine hava kabarcıkları sağlayın. Hava kabarcıkları, silis partiküllerinin yüzeye yükselmesini sağlar. Hafif silis partikülleri kabarcıklarla birleşir ve yüzeye çıkar.

Silis ayrılması: Silis partikülleri yüzeye çıktığında, bir köpük tabakası oluşur. Bu köpük tabakası, silis partiküllerini toplar. Bu köpük tabakası, bir üstten kazıyıcı veya diğer mekanizmalar yardımıyla alınır.

Kurutma ve analiz: Silis içeren köpük tabakası, kurutulduktan sonra analiz için laboratuvara gönderilir. Silis içeriği ölçülür ve gerektiğinde diğer işlemlerle saflaştırma yapılabilir.

Bu adımlar, flotasyon yöntemiyle termal sularından silis elde etmek için genel bir rehber niteliğindedir. Ancak, gerçek bir uygulamada spesifik koşullar ve gereksinimler dikkate alınmalıdır. Bu nedenle, daha ayrıntılı ve uygulama özelinde bir süreç tasarlamak için bir maden mühendisi veya kimyagerin danışmanlığı önerilir.

SONRAKİ DETAYLI ÇALIŞMALARDA İNCELENEMESİ GEREKEN DİĞER HUSUSLAR: Elde edilen silisin saflık oranlarının tayini için kontaminasyonlar uzaklaştırılarak ve gerekli saflık oranlarıyla ilgili testler ve karakterizasyon çalışmalarının yapılabilir.

Tezde elde edilen nano silisin daha yüksek çözünürlüklü SEM cihazlarında analiz edilerek elde edilen silisin boyutunun piyasada daha çok tercih edilen 100 nM nin altına çekecek parametre ve detaylı analiz, detaylı karakterizasyonların yapılabilir.

Yüksek yüzey alanı sağlamak ve bunu geliştirmek için BET analizi ve bunların BET yüzeylerinin artırılması çalışmalarının yapılabilir.

Yine elde edilen nano silisin reaktivite ve etkileşim yeteneğini geliştirmek için partükül boyutu ve şeklinin karakterizasyonu ve yüksek dağılım özelliği sağlamak için deneylerin çalışmaların yapılabilir.

Yüksek sıcaklıklarda stabilitesini bozmadan kalabilmesi için özellikle plastik endüstrisinde önemli olan termal özelliklerinin geliştirilebilir. Nano silislerin asit ve kimyasallara dayanıklı olması istenir dolayısıyla kimyasal dayanımı artırmak için çalışmaların yapılabilir.

Mukavamet ve dayanım üzerine çalışmalar yapıp mekanik dayanım özelliklerinin geliştirilebilir.

Aglomera yani silisin topaklanarak çökmesini engelleyecek çalışmaların yapılarak homojenizasyon çalışmalarının yapılabilir.

Yukarıda bahsedilen özellikler ve tavsiyeler doğrultusunda nano silis elde etmek için ileri deneysel ve karakterizasyon çalışmalarının yapılması yararlı olacaktır.

6. KAYNAKLAR

- Amitani N, Kusakabe M, Odashima Y, Unami S, Ueda A, Watanabe Y, Yokoyama T, 2021, Synthesis of Mesoporous Silica from Geothermal Water Scientific Reports, 23811, 9p.
- Anwar E A, Abdulmajeed B A, 2020, Electrocoagulation for Treatment of Simulated Blowdown Water, Journal of Engineering, 10, 26.
- Başaran C, Gökgöz A, 2017, Heybeli Jeotermal Sahasında (Afyonkarahisar, Türkiye) Potansiyeli, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17, 753-761.
- Chih-Ta Wang C T, Chang S Y, Chen L S, Chou W L, 2009, Silica Particles Settling Characteristics and Removal Performances of Oxide Chemical mechanical Polishing Wastewater Treated by Electrocoagulation Technology, Journal of Hazardous Materials, 161, 344–350.
- Chow H, Pham A L, 2019, Effective Removal of Silica and Sulfide from Oil Sands Thermal İn-Situ Produced Water by Electrocoagulation, Journal of Hazardous Materials, 380, 120880.
- Demir S, Memiş Ü, 2017, Heybeli (Afyonkarahisar) Jeotermal Alanı Hidrojeokimyasal Özellikleri ve Jeotermometre Uygulamaları, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 8, 1309-2243.
- Demir S, Memiş Ü, 2015, Afyonkarahisar Jeotermal Sahalarının Hidrojeokimyası ve Jeotermometre Uygulamaları, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 19, 66- 77
- Den W, Wang C J, 2008, Removal of Silica From Brackish Water by Electrocoagulation Pretreatment to Prevent Fouling of Reverse Osmosis Membranes, Separation and Purification Technology, 59, 318–325.
- Den W, Huang C, Ke H, 2006, Mechanistic Study on the Continuous Flow Electrocoagulation of Silica Nanoparticles from Polishing Wastewater, Ind. Eng. Chem. Res, 45, 3644 - 3651.

- Den W, Huang C, 2005, Electrocoagulation for Removal Of Silica Nano-Particles From Chemical–Mechanical-Planarization Wastewater, *Colloids and Surfaces*, 254, 81–89.
- Doğdu M Ş, 2004, Jeotermal Suların Rezervuar Sıcaklığının Tahmininde Kullanılan Jeotermometre Hesaplamaları İçin Bilgisayar Programı, Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 28, 2.
- Fayad N, 2017, The Application of Electrocoagulation Process For Wastewater Treatment and for the Separation and Purification Of Biological Media, Université Clermont Auvergne, Ph.D. Thesis, 207p, France.
- Garcia L A, 2014, Nano-Silica Production at Low Temperatures from the Dissolution of Olivine, *Chemical Engineering Journal*, 2012, 211-212.
- Güney S, 2013, Elektrokoagülasyon Prosesinin Çevre Mühendisliğindeki Uygulamalarının Araştırılması, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 84s, Bursa.
- Hauksdóttir A, 2016, Geothermal Energy: Silica precipitation and utilization, Reykjavík University, Reykjavík University, M.Sc. Thesis, 112p, Iceland
- Kashpura V N, Patapov V V A, 2001, Silica Extraction from Geothermal Solution, *Journal of Mining Science*, 3, 550-556.
- Liao Z, Baygent J C, Davis , Farrell J, Schulz M C, 2009, Treatment of Cooling Tower Blowdown Water Containing Silica, Calcium and Magnesium by Electrocoagulation, *Water Science & Technology*, 60.9, 2345-2352.
- Mroczek E K, Bacon L, Graham D, 2019, Removal of Arsenic and Silica from Geothermal Fluid by Electrocoagulation, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7, 103232.
- Mroczek E, Carey B, Climo M, Li Y, 2015, Technology Review of Mineral Extraction from Separated Geothermal Water, GNS Science Report, 2015/25, 27p.
- Ni'am M F, Othman F, 2014, Experimental Design of Electrocoagulation and Magnetic Technology for Enhancing Suspended Solids Removal from Synthetic Wastewater, *Internat. J. Sci. Eng.*, 7, 178-192

- Omar H M, Abdel-Shafy H I, El-Khateeb M A, Shoeib M A, Youssef A O, 2018, Removal of Scale Forming Species from Cooling Tower Blowdown Water by Electrocoagulation Using Different Electrodes Chemical Engineering Research and Design, Chemical Engineering Research and Design, 05, 043.
- Petterson M C L, 2019, Geothermal Brines- High Mineral Extraction,, Advanced Ceramics Research Energy Silica Recipitation and Utilization, East Hemisphere Loop, 3292.
- Potapov V V, Povarov K O, Podverbny V M, Guseva O V, 2005, Study of Colloidal Silica Formation and Precipitation in Solution of Mutnovskoe Hydrothermal Field (Kamchatka, Russia), Proceedings World Geothermal Congress, Turkey.
- Potapov V V, Karpov G A, Podverbnyi V M, 2002, Removal of Silica from Geothermal Brine, Theoretical Foundations of Chemical Engineering, 36, 589-595
- Sahu O, Chaudhari P Ki Sahu O, 2014, Treatment of Wastewater by Electrocoagulation: A Review, Environ Sci Pollut Res, 21, 2397 – 2413
- Schulz M C, Baygents J C, Farrell J, 2009, Laboratory and Pilot Testing of Electrocoagulation for Removing Scale- Forming Species from Industrial Process Waters, Department of Chemical and Environmental Engineering, 6, 521-526.
- Setiawan F A, Muhammad I N, Petrus M B T H, Rahayuningsih E, 2019, Kinetics of Silica Precipitation in Geothermal Brine with Seeds addition: Minimizing Silica Scaling in a Cold Re-Injection System, Setiawan et al. Geotherm Energy, 7, 2-16.
- Spitzmüller L, Goldberg V, Grimmer J C, Genovese M, Held S, Koschikowski J, Kohl T, Winter D, 2021, Selective Silica Removal In Geothermal Fluids: Implications for Applications for Geothermal Power Plant Operation and Mineral Extraction, Geothermics, 95, 102141.
- Zhang W, Crombie, C, Idrus M A M, Jegatheesan V, 2019, Performance of Precipitation and Electrocoagulation as Pretreatment of Silica Removal In Brackish Water and Seawater, Process Safety and Environmental Protection, 126, 18–24.

Zhi S, Zhang S, 2014, Effect of Co-Existing Ions on Electrode Behavior in Electrocoagulation Process for Silica Removal, Desalination and Water Treatment, 13, Article number 1072954.

Wang C T, Chang, Chen L S, Chou W L, 2009, Silica Particles Settling Characteristics and Removal Performances of Oxide Chemical Mechanical Polishing Wastewater Treated by Electrocoagulation Technology, Journal of Hazardous Materials, 161, 344–350.

Thomas D M, 1992, Silica Recovery and Control in Hawaiian Geothermal Fluids, U.S. DOE Grant Final Report, Report No:DE-FG07-88ID12741, 88p.



İnternet Kaynakları

- 1- <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1988534>, 10.05.2023

