

6165

SÜTDAN SİYANİDİN İYONLARININ
ELEKTROKİMYASAL YÖNTEMLE GİDERİLMESİ

Emine TÖRÜ

Yüksek Lisans
Kimya Mühendisliği
1993

**SUDAN SİYANÜR (CN⁻) İYONLARININ
ELEKTROKİMYASAL YÖNTEMLE GİDERİLMESİ**

Emine TÖRÜ

Anadolu Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Kimyasal Teknolojiler Bilim Dalında

YÜKSEK LİSANS TEZİ

olarak hazırlanmıştır.

Danışman: Doç. Dr. Ülker BAKIR ÖĞÜTVEREN

ŞUBAT, 1993

**Anadolu Üniversitesi
Merkez Kütüphanesi**

Emine TÖRÜ'nün YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Sudan Siyanür (CN⁻) İyonlarının Elektrokimyasal Yöntemle Giderilmesi" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

ÜYE : Doç. Dr. Ülker BAKUR ÖĞÜTVEREN

ÜYE : Doç. Dr. Ercengiz YILDIRIM

ÜYE : Doç. Dr. Tewfik GEDİKBEY

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..1.6...MİSAN...1993... gün ve
...348-14... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Rüstem KAYA
Enstitü Müdürü

TEŐEKKÜR

Bu alıŐma, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak gerçekleştirilmiştir.

ÇalıŐmalarım sırasında ilgi ve yardımlarını esirgemeyen değerli zamanlarını benim için ayıran ve çalıŐmalarımı yönlendiren danışman hocam Doç. Dr. Ülker BAKIR ÖĞÜTVEREN'e en içten teŐekkürü borç bilirim.

ÇalıŐmalarım esnasında her zaman yakın ilgilerini ve yardımlarını gördüğüm Kimya Mühendisliği Bölümü ArŐ. Gör. A. Savaş KOPARAL'a içten teŐekkür ederim.

ÇalıŐmalarım süresince, maddi ve manevi hiç bir fedakarlığı esirgemeyen aileme de minnet borçluyum.

Emine TÖRÜ

ÖZET

Bu çalışmada, su kirliliğine katkıda bulunan ve akış halindeki suda yönetmeliklerce belirtilen değerlerde tutulması zorunlu olan siyanürün elektrokimyasal yükseltgeme yöntemi ile sudan uzaklaştırılması sağlanmıştır. İki kutuplu damlamalı reaktörde sürekli ve kesikli geridöngülü prosesler ile çalışılmıştır.

Sürekli proseste yapılan deneylerde, farklı siyanür başlangıç derişimlerinde çalışılarak uygulanan gerilim, çözelti akış hızı, destek elektrolit (NaCl) derişimi, pH değerleri değiştirilerek giderim, akım verimi, hacim-zaman verimi ve enerji tüketimi üzerine etkileri gerilimin bir fonksiyonu olarak incelenmiştir. Ayrıca bir metal kaplama tesisi durulama suyu alınarak pH = 10'da elektrokimyasal işleme tabi tutulmuş ve düşük enerji tüketimi ile % 100 siyanür giderimi sağlanmıştır.

Kesikli-geridöngülü proseste, farklı siyanür ve NaCl derişimi, farklı gerilim ve akış hızlarında kütle aktarım katsayıları hesaplanmış ve bu parametrelere bağlılığı incelenmiştir.

SUMMARY

In this work, removal of cyanide which is cause of pollution in water has been carried out by an electrochemical oxidation method. Using a bipolar trickle tower reactor operating continuous and batch recycling mode.

In continuous mode, working in the different initial cyanide concentrations effect of applied potential, flowrate, supporting electrolyte concentration and pH on the removal rate, current efficiency, space-time yield and energy consumption has been investigated. In addition a sample of waste water provided from the plating facility of a local plant has also been examined in the same reactor and removal rate of 100% has been achieved with low energy consumption values.

Mass transfer coefficients for the system have been determined and its dependence on cyanide and supporting electrolyte concentrations, applied potentials and flow rates has also been shown in the batch recycling system. In addition, operation conditions such as applied potential, flow rates etc. to get higher removal rate with higher current efficiency and lower energy consumption in a shorter time period has also been studied in the same mode.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZET	v
SUMMARY	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ ve AMAÇ	1
2. SU KİRLİLİĞİ ve SİYANÜRÜN ZARARLI ETKİLERİ	2
2.1. Su Kirliliği	2
2.2. Yasal Düzenlemeler	2
2.3. Siyanürün Zararlı Etkileri	6
3. SİYANÜR İÇEREN BİLEŞİKLERİN GENEL YAPISI ve SİYANÜR KAYNAKLARI ..	7
4. ATIKSULARDAN SİYANÜR KİRLİLİĞİNİN GİDERİLMESİ	9
4.1. Klasik Yöntemler ile Yapılan Giderim Çalışmaları	9
4.2. Elektrokimyasal Yöntemler ile Yapılan Giderim Çalışmaları	19
5. DENEYSEL ÇALIŞMA	40
5.1. Yöntem	40
5.1.1. İki kutuplu damlamalı reaktörde sürekli çalışma	40
5.1.2. İki kutuplu damlamalı reaktörde kesikli-geridöngülü çalışma ...	41
5.1.3. Kullanılan yardımcı araçlar ve kimyasal maddeler	43
5.1.4. Derişim tespitinde kullanılan yöntem	43
5.1.5. Sürekli çalışmada verim hesaplaması için kullanılan eşitlikler..	45
5.1.6. Kesikli geridöngülü çalışmada verim hesaplaması için kullanılan eşitlikler	46
5.2. Sürekli Sistemde Yapılan Deneysel Çalışmalar	47
5.2.1. pH etkisi incelenen deneysel çalışmalar ve sonuçları	47
5.2.2. Başlangıç siyanür derişimi etkisi incelenen deneysel çalışmalar ve sonuçları	47
5.2.3. Çözelti akış hızı etkisi incelenen deneysel çalışmalar ve sonuçları	65

İÇİNDEKİLER (devam)

SAYFA

5.2.4. Sodyum klorür (NaCl) etkisi incelenen deneysel çalışmalar ve sonuçları	65
5.3. Kesikli-Geridöngülü Sistemde Yapılan Deneysel Çalışmalar ve Sonuçları	99
5.4. Metal Kaplama Tesisi Durulama Suyu ile Yapılan Deneysel Çalışmalar ve Sonuçları	127
6. BULGULARIN TARTIŞILMASI	129
6.1. Başlangıç Siyanür (CN ⁻) Derişiminin Etkisi	129
6.2. Destek Elektrolit Etkisi	129
6.3. pH'ın Etkisi	130
6.4. Uygulanan Gerilimin Etkisi	130
6.5. Akış Hızının Etkisi	131
6.6. İşlem Süresinin Etkisi	131
6.7. Sıcaklığın Etkisi	131
7. SONUÇ ve ÖNERİLER	132
7.1. Genel Sonuçlar	132
7.2. Öneriler	133
Ek Açıklamalar - A Bir Elektrodun Alanı ve Toplam Anot Alanı Hesabı	134
Ek Açıklamalar - B CN ⁻ Derişiminin Hesaplanması	136
Ek Açıklamalar - C Sürekli Sistem için Örnek Hesaplamalar	137
Ek Açıklamalar - D Kesikli-Geridöngülü Sistem için Örnek Hesaplamalar	139
KAYNAKLAR DİZİNİ	142

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>SAYFA</u>
2.1 Su kirliliği kontrolü yönetmeliğine göre, atıksu deşarjında bulunabilecek maximum CN^- derişimleri.	4
4.1. Siyanür banyolarının arıtım maliyetleri özeti.	18
4.2 Termal ayrıştırma ile kimyasal arıtım işletme maliyetinin karşılaştırılması.	18
4.3 Örnek atıksu ayırma şeması.	19
4.4 Farklı pH ortamlarında gerçekleşen reaksiyon mekanizmaları.	26
4.5 Farklı anot materyallerinin $5 A/dm^2$ akım yoğunluğu ve $50^\circ C$ sıcaklıkta akım verimi ve korozyon değerlerinin karşılaştırılması.	39
4.6 Farklı sıcaklık, akım ve işlem sürelerinde dolgulu yatak elektrokimyasal hücrenin ortalama güç tüketimi.	39
5.1 300 mg/l derişimdeki CN^- 'nin 0,135 M NaCl derişimindeki deneysel sonuçları (Ortam $pH_1 = 7$).	48
5.2 300 mg/l derişimdeki CN^- 'nin, 0,135 M NaCl derişimindeki deneysel sonuçları (Orijinal $pH_1 \cong 10$).	49
5.3 300 mg/l derişimdeki CN^- 'nin 0,135 M NaCl derişimindeki deneysel sonuçları (Ortam $pH_1 = 13$).	50
5.4 1000 mg/l derişimdeki CN^- 'nin, 0,135 M NaCl derişimindeki deneysel sonuçları (Ortam $pH_1 = 7$).	53
5.5 1000 mg/l derişimdeki CN^- 'nin, 0,135 M NaCl derişimindeki deneysel sonuçları (Orijinal $pH \cong 10$).	54
5.6 1500 mg/l derişimdeki CN^- 'nin, 0,135 M NaCl derişimindeki deneysel sonuçları (Ortam $pH_1 = 7$).	57
5.7 1500 mg/l derişimdeki CN^- 'nin, 0,135 M NaCl derişimindeki deneysel sonuçları (Orijinal $pH \cong 10$).	58
5.8 300 mg/l derişimdeki CN^- 'nin deneysel sonuçları (Ortam $pH_1 = 7$).	67
5.9 300 mg/l derişimdeki CN^- 'nin, 0,270 M NaCl derişimindeki deneysel sonuçları (Ortam $pH_1 = 7$).	68

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>ÇİZELGE</u>	<u>SAYFA</u>
5.10 1000 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin, deneysel sonuçları (Ortam pH ₁ = 7).	71
5.11 1000 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin, 0,270 M NaCl derişimindeki deneysel sonuçları (Ortam pH ₁ = 7).	72
5.12 1500 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin, deneysel sonuçları (Ortam pH ₁ = 7).	75
5.13 1500 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin, 0,270 M NaCl derişimindeki deneysel sonuçları (Ortam pH ₁ = 7).	76
5.14 300 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin deneysel sonuçları (Orijinal pH \cong 10).	79
5.15 300 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin, 0,270 M NaCl derişimindeki deneysel sonuçları (Orijinal pH \cong 10).	80
5.16 Farklı derişimlerdeki CN ⁻ 'nin, 1,02 M NaCl derişiminde ve 4,8 x 10 ⁻⁵ m ³ /h akış hızında deneysel sonuçları (Orijinal pH \cong 10).	81
5.17 300 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin, 0,5 M NaCl derişiminde, 4,8 x 10 ⁻⁵ akış hızında deneysel sonuçları (Orijinal pH \cong 10).	82
5.18 1000 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin, 1,02 M NaCl derişimde, 4,8 x 10 ⁻⁵ m ³ /h akış hızında deneysel sonuçları (Ortam pH ₁ = 12).	82
5.19 1000 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin, deneysel sonuçları (Orijinal pH \cong 10).	87
5.20 1000 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin, 0,270 M NaCl derişiminde deneysel sonuçları (Orijinal pH \cong 10).	88
5.21 1500 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin deneysel sonuçları (Orijinal pH \cong 10).	93
5.22 1500 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin, 0,270 M NaCl derişiminde deneysel sonuçları (Orijinal pH \cong 10).	94
5.23 300 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin, pH \cong 10'da, 2,17 x 10 ⁻³ m ³ /h akış hızında, 70V gerilim (1,90 mA) de deneysel sonuçları.	100

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>ÇİZELGE</u>	<u>SAYFA</u>
5.24 300 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin, 0,135 M NaCl derişiminde, pH ≅ 10'da, 2,17 x 10 ⁻³ m ³ /h akış hızında, 70 V gerilim (7,60 mA) de deneysel sonuçları.	100
5.25 300 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin, 0,270 M NaCl derişiminde, pH ≅ 10'da, 2,17 x 10 ⁻³ m ³ /h akış hızında, 70 V gerilim (12,80 mA) de deneysel sonuçları.	101
5.26 300 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin, 1,02 M NaCl derişiminde, pH ≅ 10'da, 2,17 x 10 ⁻³ m ³ /h akış hızında, 70 V gerilim (37,00 mA) de deneysel sonuçları.	101
5.27 1000 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin, pH ≅ 10 da, 2,17 x 10 ⁻³ m ³ /h akış hızında, 70 V gerilim (5,00 mA) de deneysel sonuçları.	102
5.28 1000 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin, 0,135 M NaCl derişiminde pH ≅ 10 da, 2,17 x 10 ⁻³ m ³ /h akış hızında, 70 V gerilim (10,60 mA) de deneysel sonuçları.	102
5.29 1000 mg/l CN derişimdeki CN ⁻ 'nin, 1,02 M NaCl derişiminde pH≅10 da, 2,17 x 10 ⁻³ m ³ /h akış hızında, 70 V gerilim (38,00 mA) de deneysel sonuçları.	103
5.30 1500 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin, pH≅10 da, 2,17 x 10 ⁻³ m ³ /h akış hızında, 70 V gerilim (7,40 mA) de deneysel sonuçları.	105
5.31 1500 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin, 0,135 M NaCl derişiminde, pH≅10 da, 2,17 x 10 ⁻³ m ³ /h akış hızında, 70 V gerilim (14,00 mA) de deneysel sonuçları.	105
5.32 1500 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin, 1,02 M NaCl derişiminde, pH≅10 da, 2,17 x 10 ⁻³ m ³ /h akış hızında, 70 V gerilim (39,00 mA) de deneysel sonuçları.	106
5.33 300 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin, 0,135 M NaCl derişiminde, pH≅10 da, 2,17 x 10 ⁻³ m ³ /h akış hızında, 40 V gerilim (3,80 mA) de deneysel sonuçları.	107

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>ÇİZELGE</u>	<u>SAYFA</u>
5.34 300 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin, 0,135 M NaCl derişiminde, pH≅10 da, 2,17 x 10 ⁻³ m ³ /h akış hızında, 50 V gerilim (5,00 mA) de deneysel sonuçları.	107
5.35 300 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin, 0,135 M NaCl derişiminde, pH≅10 da, 2,17 x 10 ⁻³ m ³ /h akış hızında, 60 V gerilim (6,20 mA) de deneysel sonuçları.	108
5.36 300 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin, 0,135 M NaCl derişiminde, pH≅10 da, 1,06 x 10 ⁻³ m ³ /h akış hızında, 70 V gerilim (6,00 mA) de deneysel sonuçları.	108
5.37 300 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin, 0,135 M NaCl derişiminde, pH≅10 da, 1,56 x 10 ⁻³ m ³ /h akış hızında, 70 V gerilim (6,50 mA) de deneysel sonuçları.	109
5.38 300 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin, 1,02 M NaCl derişiminde, pH≅10 da, 2,17 x 10 ⁻³ m ³ /h akış hızında, 60 V gerilim (28,00 mA) de deneysel sonuçları.	109
5.39 300 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin, 1,02 M NaCl derişiminde, pH≅10 da, 1,56 x 10 ⁻³ m ³ /h akış hızında, 70 V gerilim (30 mA) de deneysel sonuçları.	110
5.40 300 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin, 0,135 M NaCl derişiminde, pH=7 de, 2,17 x 10 ⁻³ m ³ /h akış hızında, 70 V gerilim (7,10 mA) de deneysel sonuçları.	110
5.41 1000 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin, 0,135 M NaCl derişiminde, pH≅7 de, 2,17 x 10 ⁻³ m ³ /h akış hızında, 70 V gerilim (10,50 mA) de deneysel sonuçları.	115
5.42 300 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin, pH=13 de, 2,17 x 10 ⁻³ m ³ /h akış hızında, 70 V gerilim (15,20 mA) de deneysel sonuçları.	115
5.43 1500 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin, pH=7 de, 2,17 x 10 ⁻³ m ³ /h akış hızında, 70 V gerilim (5,50 mA) de deneysel sonuçları.	116

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>ÇİZELGE</u>	<u>SAYFA</u>
5.44 300 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin, 1,02 M NaCl derişiminde, pH \cong 10'da, 2,17 x 10 ⁻³ m ³ /h akış hızında, 70 V gerilim (15,20 mA) de deneysel sonuçları.	117
5.45 300 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin, 0,135 M NaCl derişiminde, 70 V gerilim (55 mA) de, 60°C sıcaklıkta deneysel sonuçları.	117
5.46 300 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin, pH \cong 10'da, 2,17 x 10 ⁻³ m ³ /h akış hızında, 70 V gerilimde, farklı NaCl derişimlerinde, kütle aktarım katsayıları.	121
5.47 300 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin, 0,135 M NaCl derişiminde, pH \cong 10'da, 2,17 x 10 ⁻³ m ³ /h akış hızında, farklı gerilimlerde, kütle aktarım katsayıları.	121
5.48 300 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin, 0,135 M NaCl derişiminde, pH \cong 10'da, 70 V gerilimde, farklı akış hızlarında, kütle aktarım katsayıları.	121
5.49 CN ⁻ 'nin, pH \cong 10'da, 2,17 x 10 ⁻³ m ³ /h akış hızında, 70 V gerilimde, farklı derişimlerde kütle aktarım katsayıları.	121
5.50 1000 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin, pH \cong 10'da, 2,17 x 10 ⁻³ m ³ /h akış hızında, 70 V gerilimde, farklı NaCl derişimlerinde kütle aktarım katsayıları.	122
5.51 1500 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin, pH \cong 10'da, 2,17 x 10 ⁻³ m ³ /h akış hızında, 70 V gerilimde, farklı NaCl derişimlerinde kütle aktarım katsayıları.	122
5.52 CN ⁻ 'nin, 0,135 M NaCl derişiminde, pH \cong 10'da, 2,17 x 10 ⁻³ m ³ /h akış hızında, 70 V gerilimde, farklı derişimlerde kütle aktarım katsayıları.	122
5.53 CN ⁻ 'içeren atıksuda, 0,5 M NaCl derişiminde, farklı pH değerlerinde 4,8 x 10 ⁻⁵ m ³ /h akış hızında, deneysel sonuçları.	128

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>SAYFA</u>
Şekil 5.1 Sürekli sistem için deney düzeneği	41
Şekil 5.2 Kesikli - geridöngülü sistem için deney düzeneği	42
Şekil 5.3 Kesikli - geridöngülü sistemde sıcaklığın etkisinin incelendiği deney düzeneği	42
Şekil 5.4 CN ⁻ için farklı pH'larda uygulanan gerilim ile % giderimin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).	51
Şekil 5.5 CN ⁻ için farklı pH'larda uygulanan gerilim ile % akım veriminin değişimi (Akış hızı $8 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{h}$).	51
Şekil 5.6 CN ⁻ için farklı pH'larda uygulanan gerilim ile hacim zaman veriminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).	52
Şekil 5.7 CN ⁻ için farklı pH'larda uygulanan gerilim ile enerji tüketiminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).	52
Şekil 5.8 CN ⁻ için farklı pH'larda uygulanan gerilim ile % giderim değişimi (Akış hızı $4,8 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{h}$).	55
Şekil 5.9 CN ⁻ için farklı pH'larda uygulanan gerilim ile % akım veriminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).	55
Şekil 5.10 CN ⁻ için farklı pH'larda uygulanan gerilim ile hacim zaman veriminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).	56
Şekil 5.11 CN ⁻ için farklı pH'larda uygulanan gerilim ile enerji tüketiminin değişimi (Akış hızı $8 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{h}$).	56
Şekil 5.12 CN ⁻ için farklı pH'larda uygulanan gerilim ile % giderim değişimi (Akış hızı $2,03 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{h}$).	59
Şekil 5.13 CN ⁻ için farklı pH'larda uygulanan gerilim ile % akım veriminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).	59
Şekil 5.14 CN ⁻ için farklı pH'larda uygulanan gerilim ile hacim zaman veriminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).	60
Şekil 5.15 CN ⁻ için farklı pH'larda uygulanan gerilim ile enerji tüketiminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).	60

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

SAYFA

Şekil 5.16	Farklı başlangıç CN ⁻ derişimlerinde, uygulanan gerilim ile % giderim değişimi (Akış hızı $2,03 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{h}$).	61
Şekil 5.17	Farklı başlangıç CN ⁻ derişimlerinde, uygulanan gerilim ile % akım veriminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).	61
Şekil 5.18	Farklı başlangıç CN ⁻ derişimlerinde uygulanan gerilim ile hacim zaman veriminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).	62
Şekil 5.19	Farklı başlangıç CN ⁻ derişimlerinde uygulanan gerilim ile enerji tüketiminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).	62
Şekil 5.20	Farklı başlangıç CN ⁻ derişimlerinde, uygulanan gerilim ile % giderim değişimi (Akış hızı $2,03 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{h}$).	63
Şekil 5.21	Farklı başlangıç CN ⁻ derişimlerinde, uygulanan gerilim ile % akım veriminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).	63
Şekil 5.22	Farklı başlangıç CN ⁻ derişimlerinde uygulanan gerilim ile hacim zaman veriminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).	64
Şekil 5.23	Farklı başlangıç CN ⁻ derişimlerinde uygulanan gerilim ile enerji tüketiminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).	64
Şekil 5.24	Farklı NaCl derişimlerinde, uygulanan gerilim ile % giderim değişimi (Akış hızı $2,03 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).	69
Şekil 5.25	Farklı NaCl derişimlerinde, uygulanan gerilim ile % akım veriminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).	69
Şekil 5.26	Farklı NaCl derişimlerinde uygulanan gerilim ile hacim zaman veriminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).	70
Şekil 5.27	Farklı NaCl derişimlerinde uygulanan gerilim ile enerji tüketiminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).	70
Şekil 5.28	Farklı NaCl derişimlerinde, uygulanan gerilim ile % giderim değişimi (Akış hızı $2,03 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{h}$).	73
Şekil 5.29	Farklı NaCl derişimlerinde, uygulanan gerilim ile % akım veriminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).	73

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**SAYFA**

Şekil 5.30	Farklı NaCl derişimlerinde uygulanan gerilim ile hacim zaman veriminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).	74
Şekil 5.31	Farklı NaCl derişimlerinde uygulanan gerilim ile enerji tüketiminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).	74
Şekil 5.32	Farklı NaCl derişimlerinde, uygulanan gerilim ile % giderim değişimi (Akış hızı $4,8 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{h}$).	77
Şekil 5.33	Farklı NaCl derişimlerinde, uygulanan gerilim ile % akım veriminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).	77
Şekil 5.34	Farklı NaCl derişimlerinde uygulanan gerilim ile hacim zaman veriminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).	78
Şekil 5.35	Farklı NaCl derişimlerinde uygulanan gerilim ile enerji tüketiminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).	78
Şekil 5.36	Farklı akış hızlarında uygulanan gerilim ile % giderim değişimi.	83
Şekil 5.37	Farklı akış hızlarında uygulanan gerilim ile % akım veriminin değişimi.	83
Şekil 5.38	Farklı akış hızlarında uygulanan gerilim ile hacim zaman veriminin değişimi.	84
Şekil 5.39	Farklı akış hızlarında uygulanan gerilim ile enerji tüketiminin değişimi.	84
Şekil 5.40	Farklı NaCl derişimlerinde, uygulanan gerilim ile % giderim değişimi (Akış hızı $4,8 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{h}$).	85
Şekil 5.41	Farklı NaCl derişimlerinde, uygulanan gerilim ile % akım veriminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).	85
Şekil 5.42	Farklı NaCl derişimlerinde uygulanan gerilim ile hacim zaman veriminin değişimi (Akış hızı $4,8 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{h}$).	86
Şekil 5.43	Farklı NaCl derişimlerinde uygulanan gerilim ile enerji tüketiminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).	86
Şekil 5.44	Farklı akış hızlarında uygulanan gerilim ile % giderim değişimi.	89
Şekil 5.45	Farklı akış hızlarında uygulanan gerilim ile % akım veriminin değişimi.	89

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**SAYFA**

Şekil 5.46	Farklı akış hızlarında uygulanan gerilim ile hacim zaman veriminin değişimi.	90
Şekil 5.47	Farklı akış hızlarında uygulanan gerilim ile enerji tüketiminin değişimi.	90
Şekil 5.48	Farklı NaCl derişimlerinde, uygulanan gerilim ile % giderim değişimi (Akış hızı $4,8 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{h}$).	91
Şekil 5.49	Farklı NaCl derişimlerinde, uygulanan gerilim ile % akım veriminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).	91
Şekil 5.50	Farklı NaCl derişimlerinde uygulanan gerilim ile hacim zaman veriminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).	92
Şekil 5.51	Farklı NaCl derişimlerinde uygulanan gerilim ile enerji tüketiminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).	92
Şekil 5.52	Farklı akış hızlarında uygulanan gerilim ile % giderim değişimi.	95
Şekil 5.53	Farklı akış hızlarında uygulanan gerilim ile % akım veriminin değişimi.	95
Şekil 5.54	Farklı akış hızlarında uygulanan gerilim ile hacim zaman veriminin değişimi.	96
Şekil 5.55	Farklı akış hızlarında uygulanan gerilim ile enerji tüketiminin değişimi.	96
Şekil 5.56	Farklı NaCl derişimlerinde, uygulanan gerilim ile % giderim değişimi (Akış hızı $2,03 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{h}$).	97
Şekil 5.57	Farklı NaCl derişimlerinde, uygulanan gerilim ile % akım veriminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).	97
Şekil 5.58	Farklı NaCl derişimlerinde uygulanan gerilim ile hacim zaman veriminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).	98
Şekil 5.59	Farklı NaCl derişimlerinde uygulanan gerilim ile enerji tüketiminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).	98
Şekil 5.60	300 mg/l derişimdeki CN^- 'nin, $\text{pH} \approx 10$ 'da, $2,17 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h}$ akış hızında, 70 V gerilimde, farklı NaCl derişimlerinde zaman ile değişimi.	104

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**SAYFA**

Şekil 5.61	1000 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin, pH=10'da, 2,17x10 ⁻³ m ³ /h akış hızında, 70 V gerilimde, farklı NaCl derişimlerinde zaman ile değişimi.	104
Şekil 5.62	1500 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin, pH=10'da, 2,17x10 ⁻³ m ³ /h akış hızında, 70 V gerilimde, farklı NaCl derişimlerinde zaman ile değişimi.	111
Şekil 5.63	300 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin, 0,135 M NaCl derişiminde, pH=10'da, 2,17x10 ⁻³ m ³ /h akış hızında, farklı volajlarda zaman ile değişimi. ..	111
Şekil 5.64	300 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin, 0,135 M NaCl derişiminde, pH=10'da, 70 V gerilimde, farklı akış hızlarında zaman ile değişimi.	112
Şekil 5.65	300 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin, 1,02 M NaCl derişiminde, pH=10'da, 2,17x10 ⁻³ m ³ /h akış hızında, farklı volajlarda zaman ile değişimi. ..	112
Şekil 5.66	300 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin, 1,02 M NaCl derişiminde, pH=10'da, 70 V gerilimde, farklı akış hızlarında zaman ile değişimi.	113
Şekil 5.67	300 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin, 0,135 M NaCl derişiminde 2,17x10 ⁻³ m ³ /h akış hızında, 70 V gerilimde, farklı pH'larda zaman ile değişimi.	113
Şekil 5.68	CN ⁻ 'nin, pH=10'da, 2,17 x 10 ⁻³ m ³ /h akış hızında, 70 V gerilimde, farklı derişimlerinin zaman ile değişimi.	114
Şekil 5.69	CN ⁻ 'nin, 0,135 M NaCl derişiminde, pH = 10'da, 2,17x10 ⁻³ m ³ /h akış hızında, 70 V gerilimde, farklı derişimlerinin zaman ile değişimi.	114
Şekil 5.70	CN ⁻ 'nin, 1,02 M NaCl derişiminde, pH=10'da, 2,17x10 ⁻³ m ³ /h akış hızında, 70 V gerilimde, farklı derişimlerinin zaman ile değişimi.	118
Şekil 5.71	CN ⁻ 'nin, 0,135 M NaCl derişiminde, pH = 7'de, 2,17x10 ⁻³ m ³ /h akış hızında, 70 V gerilimde, farklı derişimlerinin zaman ile değişimi.	118
Şekil 5.72	1000 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin, 0,135 M NaCl derişiminde 2,17x10 ⁻³ m ³ /h akış hızında, 70 V gerilimde, farklı pH'larda zaman ile değişimi.	119

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**SAYFA**

Şekil 5.73	300 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin, 2,17x10 ⁻³ m ³ /h akış hızında, 70 V gerilimde, farklı pH'larda zaman ile değişimi.	119
Şekil 5.74	1500 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin, 2,17x10 ⁻³ m ³ /h akış hızında, 70 V gerilimde, farklı pH'larda zaman ile değişimi.	120
Şekil 5.75	300 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin 0,135 M NaCl derişiminde, 2,17x10 ⁻³ m ³ /h akış hızında, 70 V gerilimde, farklı sıcaklıklarda zaman ile değişimi.	120
Şekil 5.76	ln Co / C ile zaman arasındaki ilişki (1500 mg/l CN ⁻ , pH ≅ 10'da, 2,17x10 ⁻³ m ³ /h akış hızında, 70 V gerilimde).	123
Şekil 5.77	300 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin, pH ≅ 10'da, 2,17x10 ⁻³ m ³ /h akış hızında, 70 V gerilimde, farklı NaCl derişimlerinde, kütle aktarım katsayıları.	123
Şekil 5.78	300 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin, 0,135 M NaCl derişiminde, pH ≅ 10'da, 2,17x10 ⁻³ m ³ /h akış hızında, kütle aktarım katsayıları.	124
Şekil 5.79	300 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin, 0,135 M NaCl derişiminde, pH ≅ 10'da, 70 V gerilimde, farklı akış hızlarında, kütle aktarım katsayıları.	124
Şekil 5.80	CN ⁻ 'nin, pH ≅ 10'da, 2,17x10 ⁻³ m ³ /h akış hızında, 70 V gerilimde farklı derişimlerinde, kütle aktarım katsayıları.	125
Şekil 5.81	1000 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin, pH ≅ 10'da, 2,17x10 ⁻³ m ³ /h akış hızında, 70 V gerilimde, farklı NaCl derişimlerinde, kütle aktarım katsayıları.	125
Şekil 5.82	1500 mg/l derişimdeki CN ⁻ 'nin, pH ≅ 10'da, 2,17x10 ⁻³ m ³ /h akış hızında, 70 V gerilimde farklı NaCl derişimlerinde, kütle aktarım katsayıları.	126
Şekil 5.83	CN ⁻ 'nin, 0,135 M NaCl derişiminde, pH ≅ 10'da, 2,17x10 ⁻³ m ³ /h akış hızında, 70 V gerilimde, farklı derişimlerinde, kütle aktarım katsayıları.	126

1. GİRİŞ ve AMAÇ

Genel olarak kirlenme doğanın temizleme gücünün üstünde olan yüklerin çevrede oluşturduğu birikimler olarak tanımlanmakta ve biriken madde ya da madde gruplarının niteliğine göre kirliliğin etkisi değişik olmaktadır. Başka bir açıdan çevre kirliliğinin oluşmasına temel olan neden, doğanın insan etkileriyle ortaya çıkan artıkları kendiliğinden giderme yeteneğini aşması, buna bağlı olarak da bozulmasıdır.

İçinde bulunduğumuz yüzyıl bir çok teknolojik yararları insanlara sunarken bir yandan da insanlığın ortak malı olan çevreden geri getirilmesi zor hatta mümkün olmayan varlıkları da alıp götürmektedir.

Çevresel kirliliğin bir bölümünü oluşturan su kirliliği, genellikle kirleticinin oluşması, kirleticinin taşınması ve kirleticinin çevreyi etkilemesi sonucu oluşmaktadır. Günümüzde su kirliliği ve diğer çevre sorunları, tüm dünya ülkelerinin üzerinde anlaşmak zorunda oldukları bir konu haline gelmektedir. Çünkü, dünyanın sınırlı kaynaklarını paylaşmak isteyen insan sayısı, her yıl artmakta, mevcut kaynaklar talebi karşılayamamakta ve böylece kirlenen, tahrip edilen ve bozulan çevre değerlerini korumak, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin ortak sorunlarından biri olmaktadır (2000'li Yıllara Doğru Çevre, 1991).

Endüstriyel tesislerde arıtım işlemi, işletme giderlerini artıran ve kâr getirmeyen bir yatırım olarak görülmekte ve bu alanda yapılan yatırımlar gecikmektedir.

Tesiste suyun etkili şekilde kullanımı ile atıksu hacminin düşürülmesi ve böylece derişimin yükselmesi sonucu arıtma prosesinde daha fazla etkinlik sağlayacak, ayrıca atıksudaki kirletici bileşenin geri kazanılması ve farklı niteliklerde kirleticinin bulunduğu atık akımın gereken işlem tipine göre ayrılması gibi arıtma maliyetlerini düşürebilecek etkenler, bu konuda yapılan araştırmalarda belirlenmektedir.

Özellikle metal kaplama sanayi atıksu kirletici bileşeni olan siyanürün ekolojik tehlike oluşturduğu ve birçok ülke tarafından akış halindeki suda bulunması gereken miktarını çok düşük düzeylerde sınırlayan bazı yasalar çıkartıldığı Hodges tarafından belirtilmektedir. Bu konuda etkili ve ekonomik arıtma araştırmaları yapılırken konvansiyonel yöntemler yanında son zamanlarda elektrokimyasal yöntemler de çalışılmaktadır. Düşük derişimde siyanür içeren atıksuların elektrokimyasal olarak iki kutuplu damlamalı reaktörde arıtılmasının diğer reaktör tiplerine göre yatırım ve

işletme maliyeti açısından daha avantajlı olduğu belirtilmektedir (El-Ghaoui, 1982).

Bu çalışmada da iki kutuplu damlamalı reaktör kullanılarak siyanürün elektrokimyasal yöntem ile verimli ve ekonomik giderimi amaçlanmıştır.

2. SU KİRLİLİĞİ ve SİYANÜRÜN ZARARLI ETKİLERİ

2.1. Su Kirliliği

Su kirliliği, su kaynağının kimyasal, fiziksel, bakteriyolojik radyoaktif ve ekolojik özelliklerinin olumsuz yönde değişmesi şeklinde gözlenen ve doğrudan ya da dolaylı yoldan biyolojik kaynaklarda, insan sağlığında, balıkçılıkta su kalitesinde ve suyun diğer amaçlarla kullanılmasında engelleyici bozulmalar yaratacak madde ya da enerji üretim atıklarının boşaltılmasını ifade etmektedir.

Su kirliliğinin niteliğine etki eden unsurlar; organik maddeler ve sudaki çözünmüş oksijen miktarı, azot ve fosfor, mikroorganizmalar, inorganik maddeler (gazlar ve tuzlar), suya katılan katı maddeler, yüzey aktif maddeler, pestisidler, ağır metaller, radyoaktivite, yağlar, petrol ve türevleri, atık ısı ve diğerleridir. Bu kirletici durumundaki unsurlar genel olarak evsel, endüstriyel, tarımsal etkinlikler sonucunda oluşmaktadır (2000'li Yıllara Doğru Çevre, 1991).

Endüstriyel atıksularda kirletici bileşen olarak bulunan zehirli bir organik madde olan siyanürün nelerden kaynaklandığı üçüncü bölümde anlatılacaktır.

2.2. Yasal Düzenlemeler

Su kirliliğini önlemek amacıyla çıkan ilk düzenleme 1971 tarihli ve 1380 sayılı "Su Ürünleri" yasasıdır. Bu yasa ile su ürünleri üretimi ve üretim yerlerinin sınıflandırılmasına ait hükümler ile uygulanacak cezalar belirtilmiştir (Resmi Gazete, 1971).

Ağustos 1983 tarihli Resmi Gazetede ise 2872 nolu çevre yasası yayımlanarak çevrenin korunması ile ilgili yasal düzenlemeler getirilmiştir (Resmi Gazete, 1983).

4 Eylül 1988 tarihinde "Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği" yayımlanmıştır. Bu yönetmeliğin amacı ülkenin yeraltı ve yerüstü su kaynakları potansiyelinin her türlü

kullanım amacı ile korunmasını, en iyi şekilde kullanım sağlanmasını ve su kirlenmesi önlenmesinin hukuki ve teknik esaslarını ortaya koymaktır. Yönetmelikte evsel atıksular ve farklı endüstrilerin atıksuları için ölçülmesi gereken parametreler ve bunların öngörülen sınır değerleri çizelgeler halinde verilmiştir. Farklı endüstriler için atıksularda bulunabilecek siyanür derişimi sınırlamaları Çizelge 2.1'de gösterilmiştir (Resmi Gazete, 1988).

Mart 1989'da "Su Kirliliği Yönetmeliği"ne bağılı olarak "İdari Usuller Tebliğı" ile "Sudaki Tehlikeli ve Zararlı Maddeler" tebliğı yayımlanmıştır. Bu tebliğler, idari usul ve uygulamaları, sudaki tehlikeli ve zararlı olarak kabul edilen maddeler ile ilgili hükümleri düzenlemektedir (Resmi Gazete, 1989).

Atıksu arıtma yöntemlerini içeren "Teknik Usuller Tebliğı" ve "Numune Alma ve Analiz Metodları Tebliğı" ise Ocak 1990 da yayımlanmıştır (Resmi Gazete, 1990).

Tarım Orman ve Köyişleri Bakanlığı'nca her yıl çıkarılan sirküler ile sulara boşaltılacak atıklar için deşarj kriterlerinde kolayca serbest duruma geçen siyanür ve toplam siyanürlerin sınırları belirlenmektedir (Resmi Gazete, 1992).

Çizge 2.1 Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğine göre (1988), Atıksu deşarjında bulunabilecek maximum CN- derişimleri (mg/l).

SEKTÖR	CN DERİŞİMİ (mg/l)		
	Parametre	Kompozit Nümune 2 ST lik	Kompozit Nümune 24 ST lik
Kömür Hazırlama, İşleme ve Enerji Üretim Tesisleri (Taşkömürü ve Linyit Kömürü Hazırlama)	Toplam Siyanür (CN ⁻)	-	0,5
Kömür Hazırlama, İşleme ve Enerji Üretim Tesisleri (Kok ve Havagazı Üretimi ve Benzerleri)	Toplam Siyanür (CN ⁻)	-	0,5
Kömür Hazırlama, İşleme ve Enerji Üretim Tesisleri (Termik Santraller ve Benzerleri)	Toplam Siyanür (CN ⁻)	-	0,5
Kömür Hazırlama, İşleme ve Enerji Üretim Tesisleri (Jeotermal Kaynaklar)	Toplam Siyanür (CN ⁻)	-	0,5
Petrol Sanayii (Petrol Rafinerleri ve Benz.)	Toplam Siyanür (CN ⁻)	2	1
Petrol Sanayii (Petrol Dolum Tesisleri ve Benz.)	Toplam Siyanür (CN ⁻)	0,5	2
Maden Sanayii (Demir ve Demir Dışı Metal Cevherleri, Kalsiyum Florür, Grafit ve Benzeri Cevherlerin Hazırlanması)	Toplam Siyanür (CN ⁻)	0,1	-
Kimya Sanayii (Boya Hammadde ve Yardımcı Madde Üretimi ve Benz.)	Toplam Siyanür (CN ⁻)	2	1
Kimya Sanayii (Petrokimya ve Hidrokarbon Üretim Tesisleri)	Toplam Siyanür (CN ⁻)	1	0,5
Kimya Sanayii (Karpit Üretimi)	Toplam Siyanür (CN ⁻)	-	0,5
Metal Sanayii (Genelde Metal Hazırlama ve İşleme)	Toplam Siyanür (CN ⁻)*	0,5	0,1

SEKTÖR	CN DERİŞİMİ (mg/l)		
	Parametre	Kompozit Nümune 2 ST lik	Kompozit Nümune 24 ST lik
Metal Sanayii (Galvanizleme)	Toplam Siyanür (CN ⁻)	0,2	-
Metal Sanayii (Su Verme, Sertleştirme Tesisleri)	Toplam Siyanür (CN ⁻)	1	-
Metal Sanayii (İletken Plaka İmalatı)	Toplam Siyanür (CN ⁻)	0,2	-
Metal Sanayii Metal Taşlama ve Zımparalama Tesisleri	Toplam Siyanür (CN ⁻)	0,2	-
Metal Sanayii (Alüminyum Hariç Olmak Üzere Demir Dışı Metal Üretimi)	Toplam Siyanür (CN ⁻)*	0,1	-
Metal Sanayii (Demir ve Demir Dışı Dökümhane ve Metal Şekillendirme)	Toplam Siyanür (CN ⁻)*	0,1	-
Seri Makina İmalatı, Elektrik Makinaları ve Techizatı, Yedekparça Sanayii	Toplam Siyanür (CN ⁻)	0,5	0,1
Motorlu ve Motorsuz Taşıt Tamirhaneleri (Oto, Traktör Tamirhaneleri ve Benzerleri)	Toplam Siyanür (CN ⁻)	1	0,2
Taşıt Fabrikaları (Otomobil, Kamyon Traktör, Minibüs, Bisiklet, Motosiklet ve Benzeri Taşıt Aracı Üreten Fabrikalar)	Toplam Siyanür (CN ⁻)	0,05	-
Tersane ve Gemi Söküm Tesisleri	Toplam Siyanür (CN ⁻)	1	0,2
Karışık Endüstriler (Küçük ve Büyük Organize Sanayii Bölgeleri ve Sektör Belirlemesi Yapılamayan Diğer Sanayiler)	Toplam Siyanür (CN ⁻)	1	0,5
Katı Artık Değerlendirme ve Bertaraf Tesisleri	Toplam Siyanür (CN ⁻)	1	0,5

* Atıksuda bulunması bekleniyorsa analizi yapılmalıdır.

2.3. Siyanürün Zararlı Etkileri

^{hidrojen} ^{evrende} Siyanür uzayda belirlenen en eski organik moleküllerden birisidir ve amino asit, pürin ve pirimidin gibi temel biyolojik oluşumların sentezindeki temel ön maddedir. Hayvanların ve bitkilerin metabolizmalarında normal bir rolü olan siyanür, Vitamin B12 metabolizması, gıda ve sigara gibi çevresel etkenlerin sonucu olarak sağlıklı bireylerin kanlarında da görünür. Akut zehirlenmeler; ilaç kullanımı (örneğin Laetrile), endüstriyel etkiler ve intihara teşebbüs (özellikle kimyacılar)'den kaynaklanabilmektedir (Medical Toxicology, 1988).

Siyanürün oksijen transferinin düzenlendiği kan dokusu ara yüzeylerinde enzimler ile yaptığı bileşimler, uzaklaştırılmadığı takdirde boğulma sonucu ölüme yol açarlar. Siyanür zehirlenmesinin uyarıcı belirtileri; baş dönmesi, uyuşukluk, baş ağrısı, nabız atışının artması, bulantı, cilt kızarması ve gözlerin kanlanmasıdır. Uzun süreli maruz kalmalarda kusmalar olabilir ve soluk almanın zorlaşması ile birlikte bilinçsizlik, soluk almanın kesilmesi, zayıf kalp atışı ve ölüm ile sonuçlanabilir. Solunum ile maruz kalma derhal bilinçsizliğe neden olabilir ve farkedilen bir kokusu olmadığından bu hızlı etki gücü hidrojen siyanürü, aynı derecede zehirli olan (örneğin H₂S) maddelerden çok daha tehlikeli yapar. Hidrojen siyanür vücuda solunum yoluyla, ağızdan ve deriden girebilir (Kirk-Othmer, 1978).

Solunum yolu ile maruz kalmada, sekiz saatlik bir periyotta maximum emniyet sınırı 10 ppm dir. OSHA tarafından bu değerin 5 ppm'e düşürülmesi istenmektedir. Havadaki 20 ppm'lik HCN birkaç saat sonrasında küçük belirtilere, 50 ppm HCN ise, bir saatlik süre içinde sıkıntıya sebep olur. 100 ppm'e 30-60 dk maruz kalmak tehlikelidir ve 300 ppm hareket durumunda olmayan kimsede hızlı bir şekilde öldürücü olabilir ve kesinlikle ilk yardım yapılmalıdır. İnsan vücudu az miktardaki hidrojen siyanürü, tiyosiyanaata dönüştürerek idrar yoluyla uzaklaştıran bir mekanizmaya sahiptir (Clinical management of Poisoning and Drug Overdose, 1990).

Midede absorblanma, ilk yardım ya da medikal muamele yapılmadığında aniden ölüme yol açar. 1 mg HCN/kg vücut ağırlığı öldürücü olabilir. Bu durumda derhal ve tekrarlı kusturma ilaçları verilmeli ve kusturma yanında ilk yardım ve çeşitli medikal muameleler yapılmalıdır. Eğer maruz kalan kimse şuurlu değilse bir hekim ya da tecrübeli personel tarafından mide yıkama işlemi yapılmalıdır (Kirk-Othmer, 1978).

3. SİYANÜR İÇEREN BİLEŞİKLERİN GENEL YAPISI ve SİYANÜRÜN KAYNAKLARI

"Siyanür", siyanür bileşiklerinde CN^- iyonu olarak belirlenen tüm CN^- gruplarını temsil eder. Siyanür, CN^- olarak elde edildiği tüm siyanür bileşiklerinde basit ve kompleks siyanürler şeklinde bulunur

Formülü $A(CN)_x$ biçiminde olan basit siyanürler (sodyum, potasyum, amonyum, kalsiyum vb.) bir alkali ya da metal siyanürlerdir. Basit alkali siyanürlerin sulu çözeltilerinde CN^- grubu; pH'a ve moleküler HCN'nin çözünürlük çarpımına bağlı olarak değişen oranlarda CN^- ve HCN olarak bulunur. Doğal sularda genellikle HCN mevcuttur. Basit metal siyanür çözeltilerinde CN^- grubu; değişen kararlılığa sahip kompleks metal siyanür anyonları biçiminde de oluşabilir. Basit metal siyanürlerin bir çoğu [$CuCN$, $AgCN$, $Zn(CN)_2$ gibi] ya az çözünür ya da hiç çözünmezler. Fakat alkali siyanürlerin bulunduğu ortamda çeşitli, çözünebilir siyanür kompleksleri oluştururlar.

Kompleks siyanürler değişik formülasyonda gösterilmekle birlikte alkali metalik siyanürler normal olarak $A M(CN)_x$ formülü (A; mevcut alkali; M; ağır metal) ile belirtilirler. Bu çözünebilir alkali metal kompleks siyanürlerin herbiri çözündüğünde başlangıçta $(CN)_x^-y$ radikali şeklinde bir anyon oluştururlar. Bu anyonda çeşitli etkenlere bağlı olarak CN^- çıkışı ve bunun sonucunda HCN oluşmasıyla daha fazla ayrışabilir (Standart Methods, 1985).

Siyanür aynı zamanda siyanürik klorür, siyanoasetamid, siyanoasetonitril, civa bileşikleri, siyanometil asetat, siyanoetil akrilat, siyanamid, halojen (Cl, Br, I, Fl) bileşikleri, fosfor bileşikleri, kobaltsiyanik asit, siyanürik asit, siyanoasetik asit, siyanodimetilamid ve siyanojenik glukosit (amygdalin) gibi birçok bileşikte bulunmaktadır. Fakat bütün bu bileşikler akut siyanür zehirlenmelerine neden olmamaktadırlar (Medical Toxicology, 1988).

Siyanür (CN^-) ile suyun tepkimesiyle (hidroliz) oluşan HCN'nin sudaki yaşam için zehir özelliği taşıdığı bilinmektedir. CN^- 'nin zehirliliği HCN'ninkinden daha düşüktür ve genellikle doğal suların pH'ı moleküler HCN'nin pKa'sından düşük olduğundan serbest siyanürün büyük miktarı HCN şeklinde bulunmaktadır. Kompleks siyanür çözeltilerinin zehirlilik göstergesi genellikle kompleksin ayrışması ile oluşan HCN'den ileri gelmektedir (Doudoroff et.al., 1966).

Çeşitli metal siyanür komplekslerinin bileşenlerine ayrışma hızı, derişim ve pH'ın

azalması ile artmaktadır. Çinko ve kadmiyum kompleksleri çok seyreltik çözeltilerde genellikle tamamen ayrışarak olağan bir pH'ta sudaki yaşam için şiddetli zehirlilik oluştururlarken aynı çözeltide nikel siyanür, daha kararlı olan Cu(I) ve gümüş siyanür kompleksleri ise daha az ayrışmakta ve dolayısıyla bu kompleks anyonları içeren sulandırılmış çözeltilerin oluşturduğu tehlike tamamen çözünmemiş iyonların zehirliliğinden kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte kompleks iyonlar, HCN'den çok daha az tehlike göstermektedirler.

Demirsiyanür kompleksi iyonları çok kararlıdır ve zehirli değildir. Karanlıkta, yalnızca çok seyreltik olmayan çözeltiler uzun süre bekletildiğinde HCN'nin akut zehirlilik düzeyine ulaşmaktadır. Bununla birlikte bu komplekslerin seyreltik çözeltileri, doğrudan güneş ışığına maruz bırakıldığında hızla fotolize uğrayarak toksik HCN oluşturmaktadırlar (Standart Methods, 1985).

Siyanür endüstride elektrokaplama ile özellikle çinko, bakır, pirinç, kadmiyum, altın, altın alaşımları ve gümüş kaplama, değerli metal filizlerinin ekstraksiyonu, metallerin ısı işlemleri, fotoğrafik prosesler, sentetik kauçuk (asetonitril, acrylonitril, glikonitril) üretimi, kimyasal sentezler, boya üretimi, zirai kimyasallar, optikle ilgili parlaticular, ilaç hazırlanması, metallerin renklendirilmesi, bağlama ve ayırma belirteçleri üretimi, plastik üretimi, pestisid / rodentisid kontrolü (böcek öldürücüler, yağ sterilizasyonu) ve laboratuvar proseslerinde kullanılmaktadır (Kırk-Othmer, 1978).

Çeşitli bitki ve bitki gruplarında önemli derişimlerde siyanojenik glikositler bulunmaktadır. Bu bitki gruplarında bulunan enzimler, glikositleri hidroliz eder ve HCN salgılanır. Amydalin, emülsin enzimi ile hidroliz olarak şeker, aldehit ve HCN oluşturur. İnsan sindirim sisteminde, fındıkta, tohumlarda, meyve çekirdeklerinde ve sebzelerde bulunan β -Glucosidase, amygdalin'i HCN'e çevirmektedir.

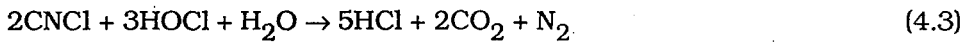
Modern plastik mobilya üretiminde kullanılan poliüretan ve poliakrilonitril, ipek ve yün gibi doğal ürünler yanarken hidrojen siyanür açığa çıkar. Yangın sonucu ölümlerde CO zehirlenmesi önemli bir yer tuttuğu halde, şiddetli duman solumaya maruz kalanlardan yaşayanlarda yüksek derecede siyanür tespit edilmiştir. Bir sigara 150-200 μ g oranında değişen miktarda HCN salmaktadır ve sigara içenlerde de yüksek tiyosiyonat seviyeleri bulunmaktadır (Medical Toxicology, 1988).

4. ATIKSULARDAN SİYANÜR KİRLİLİĞİNİN GİDERİLMESİ

4.1. Klasik Yöntemler ile Yapılan Giderim Çalışmaları

Endüstriyel atıklardan toksik bir bileşen olan CN⁻'nin giderilmesi için yapılan araştırmalar ve çalışmalar sonucunda, atık bileşeninin derişimi, deşarj edilen akımın kalitesi, yatırım ve işletme maliyetleri, değerli metallerin ya da atığın tamamen üretime geri döndürülmesi gibi faktörlerin dikkate alındığı yöntemler ve prosesler geliştirilmiştir.

Klor gazı ve hipokloritler ile yükseltgeme yaygın olarak kullanılan bir işlemdir. Bu işlemden tepkimeler aşağıdaki gibi gerçekleşmektedir:



Karbon radikalinden iki elektronun verildiği yükseltgenme tepkimesi(4.1), serbest siyanür ve bazı metal-siyanür komplekslerinde aniden gerçekleşmektedir. İkinci tepkime ise bir hidroliz tepkimesidir ve siyanojen klorürün, siyanat iyonuna dönüşen değeri, hidroksil iyonu derişiminin bir fonksiyonudur ve pH artışıyla artmaktadır. Siyanat iyonu pH = 6,5 da, işlem gördüğünde yalnızca birkaç dakika süren üçüncü tepkime, pH= 8,5 da 1 saat sürmektedir. Bu durumda oksidasyon işleminde iki basamak önerilmektedir. Birincisi pH =11 de siyanür iyonunun siyanata oksitlenmesi ve ikincisi pH = 6,5 da siyanatın azot ve karbondioksite dönüşmesidir.

Ortamda bakır ve nikel iyonu, amonyak ve organik kimyasallar gibi diğer oksitlenebilen bileşenler bulunduğundan gerçek Cl₂ gereksiniminin her zaman teorik olarak gereken miktardan daha büyük olduğu belirlenmiştir (Zabban and Helwick, 1980).

Teorik olarak çinko ile kompleks oluşturmuş 1 mg CN ya da 1 mg serbest siyanür için 2,73 mg, Cu ile kompleks oluşturmuş 1 mg CN için ise 3,18 mg aktif klorür gerektiği bildirilmesine karşın uygulamada 3,5 mg kullanılmaktadır (Daubaras, 1981).

POTW (Publicly Owned Treatment Works)'a göre düşük hacimli deşarjlar (10000 gal/gün den daha az) için tek basamakta gerçekleşen siyanürün siyanata

dönüştürülmesi yeterli bir işlemdir. 1 gal kaplama çözeltisinin tek ya da iki basamaklı yükseltgeme işleminde Cl_2 ya da $NaOCl$ kullanılması durumundaki maliyetleri Çizelge 4.1.'de özetlenmiştir (Smith and Roy, 1982).

Bazı endüstrilerde oksitleyici olarak klorür yerine ozon'un kullanıldığı belirtilmiştir. Bir çok araştırmacı tarafından siyanürün ozon ile yükseltgenmesinde gerçekleşen tepkimeler de araştırılmıştır (Stopka, 1980).



Ozonun tamamının ilk tepkime sırasında tüketildiği ve yükseltgenmenin siyanür derişimi 3-4 mg/l'ye düşünceye kadar sabit bir hızda gerçekleştiği, daha sonra ise bu hızın çok fazla düştüğü belirtilmiştir (Daubaras, 1981).

Tepkime hızı üzerinde bakır ve nikel katalizörleri, çözelti pH'ı ve ortam sıcaklığının etkili olduğu gözlenmiştir.

Elektrokaplama işletmeleri ve renkli fotoğraf işlemleri esnasında büyük hacimde sağlanan siyanür atıkları üzerinde havanın etkisini saptamak için Houston Research Inc.'de yaygın çalışmalar yapılmıştır. Ozon ile yapılan bu çalışmalarda nikel siyanür, bakır siyanür ve demir siyanürün tepkime hızı üzerinde durulmuş ve yüksek sıcaklıklar ile ultraviyole ışığın etkileri araştırılmıştır.

Maden atığındaki siyanürün giderilmesi "The Canadian Dept. of Energy" tarafından çalışılmıştır ve bakır iyonları ilavesi ile 36 sn de CN^- 'ün % 98 giderildiği belirlenmiştir. Çalışmalarda ozonlama işleminden sonra ortamda siyanür belirlenmediğinden CO_2 ve N_2 'a dönüşüm olduğu düşünülmüştür (Stopka, 1980).

Ozon ile siyanür tepkimesinin kinetik ve mekanistik davranışını ve siyanürün bakır ve demir ile kompleksleşme etkilerini belirleyen çalışmalar da yapılmıştır (Gurol et al., 1985).

İşlem hızı, yatırım ve işletme maliyetleri karşılaştırıldığında klor Cl_2 ozondan, kimyasal madde tasarrufu gözönüne alındığında ise amonyak varlığında aşırı ozon tüketimi söz konusu olmadığından ozonun klor Cl_2 dan daha avantajlı olduğu belirtilmiştir (Zabban and Helwick, 1980).

Swiss Deaster-Fairter A.G. tarafından geliştirilen termal ayrıştırma işleminin uygulandığı, Cyan-cut prosesinde aşırı havada hidrojen siyanürün katalitik yakılması sonucu CO₂ ve N₂ açığa çıkmaktadır.



İşlemin ilk basamağında atıklara sülfirik asit (H₂SO₄) ilave edilerek HCN'ün ayrılması sağlanmaktadır.



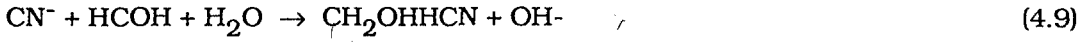
HCN, daha sonra hava akımı yardımıyla sıyrıcıda gaz fazına geçirilerek, platin katalizörlü oksidasyonun yer aldığı 573 K sıcaklıktaki reaktöre yönlendirilmektedir. Tepkime aşırı derecede ekzotermik olduğundan (1 m³ HCN'nin yanması sonucu 693,5 J ısı açığa çıkar) prosesin başlatılmasından sonra ilave ısıtma gerekmediği belirtilmektedir (Gierzatowicz et. al., 1986).

Termal ayrıştırma yönteminin uygulandığı başka bir çalışmada, beslenen atıksuyun bileşimine bağlı olarak siyanür iyonları derişiminin 0,5-5,0 mg/lit değerine indirildiği belirlenmiştir. pH değerinin proses verimi üzerine etkisi az olmasına karşın HCN gazının oluşmasını önlemek için, pH'ın 11 ya da daha üzerinde tutulması önerilmektedir. Siyanür iyonunun serbest ya da kompleksleşmiş halde bulunmasının, derişimin yüksek ya da düşük olmasının, yükseltgenme verimini etkilemediği belirtilmiştir.

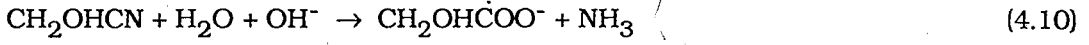
Siyanür atığına distilasyon işlemi uygulanan, atmosferik refluxing olarak da tanımlanan bu proste kaynama esnasında üretilen gaz yoğunlaştırılarak geri döndürülmektedir. Refluxing esnasında şiddetli kaynama sürdürülerek karıştırma işlemi geliştirilmekte ve dolayısıyla proses verimi % 15 artırılmaktadır.

Bu prosesin 3000 ppm'den daha yüksek siyanür iyonu derişimlerinde kimyasal işlemde daha ekonomik olduğu ve 10000 ppm siyanür iyonu içeren atıkta % 99,9 ayrıştırma verimi sağladığı saptanmıştır. Çizelge 4.2.'de termal ayrıştırma ve kimyasal yöntem ile giderimin işletme maliyetleri karşılaştırılmıştır.

Özellikle çelik endüstrisinde kullanılan bir işlem, hidrojen siyanür ya da siyanürün aldehit ve ketonlar ile yüksek oranda tepkimeye girmesinden oluşmaktadır. CN⁻ iyonlarının, bütün pH değerlerinde formaldehit ile tepkimeye girmesiyle siyanohidrin elde edilmekte,

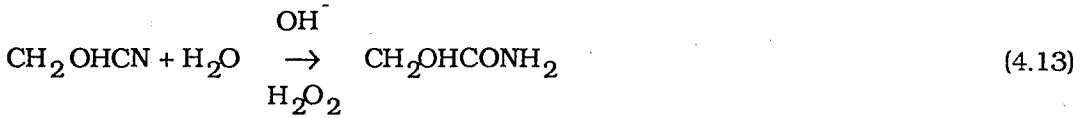
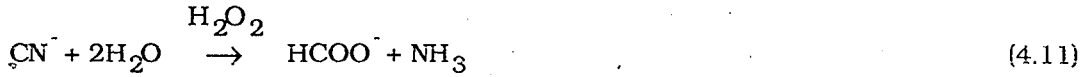


ve siyanohidrin pH = 8 de hidroliz olmaktadır.



Optimum işlem koşulları; 1-1,5 mol formaldehit / mol CN, pH = 8 ve sıcaklık aralığı 20-100°C şeklinde tanımlanmıştır. Formaldehit yerine şeker, gıda, bira, tekstil ve kağıt endüstrisinde oluşan sakkaritler gibi -CHO ya da -CO gruplarını içeren diğer maddelerin de zehirliliği gidermek için kullanılabilirdiği belirtilmiştir.

Siyanür formaldehit tepkimesinde, H₂O₂ kullanılarak yükseltgeme Köstene prosesi ile geliştirilmiştir.



Bu proseste 1 mol siyanür için 0,6-3 mol H₂O₂ ve 0,5-3 mol formaldehit, pH= 9-12 ve sıcaklık aralığı olarak 283-358 K gerektiği belirlenmiştir.

Kimya endüstrisinde metal filizi flotasyonu sonrasında ve çelik işlemlerinde bırakılan alkali siyano atıklarının bu prosesler ile ayrıştırılabildiği belirtilmiştir (Gierzatowicz et. al., 1986).

Ganczarzyk tarafından çözünebilir metal içeren derişik siyanür çözeltileri için polisülfid muamelesinin etkinliği incelenmiştir. Siyanür - polisülfid tepkimesinin orta şiddette ekzotermik olduğu ve siyanür derişimlerini iki hafta içinde saptanamayacak düzeye düşürebildiği belirlenmiştir (Ganczarzyk, 1985).

Robey tarafından bir prototip hidroliz reaktöründe 230-260°C'de ve 0,4-0,6 kg/mm² de siyanürün etkili olarak hidroliz olduğu (>% 99,9) bulunmuştur. Bu tekniğin proseste hızlı bir şekilde çözünmeyen organik madde içeren inorganik siyanür

çamurları arıtımında çok etkin olduğu belirtilmiştir (Robey, 1983).

Nutt ve Zaidi, bakır siyanür, çinko siyanür ve kalsiyum siyanür durulama sularındaki siyanür miktarında, SO₂ ve hava ile bakır katalizörü oksidasyonu yoluyla % 99 dan daha fazla giderim sağlamışlardır (Nutt and Zaidi, 1985).

Buharlaştırma yoluyla kadmiyum siyanürün geri kazanıldığı proses, yüksek kapasiteli kimyasal arıtım sistemine göre daha küçük alan gerektirmekte ve çamur oluşmamaktadır. Yine aynı çalışmada, bu proses ile aynı koşullarda çalışan bir kimyasal arıtımın işletme maliyetleri karşılaştırılmaktadır (Williams and Natof, 1985).

Kullanılan suyu koruyarak tekrar kullanabilmek, değerli metalleri geri kazanmak için son yıllarda üzerinde durulan iyon değişim proseslerinde siyanoalkali atığın saflaştırılması ekonomik ve teknolojik problemler doğurmaktadır. Kuvvetli asidik katyon değişim kolonları ve zayıf ya da kuvvetli bazik anyon değiştiriciler seri halde birleştirilerek, siyanürü, ağırmetalleri ve minerali giderilmiş suyu geri kazanmak için kullanılmaktadır.

İyon değişim yönteminin özellikle demir siyano kompleksleri içeren fotokimyasal endüstri atıkları için kullanışlı ve güvenli olduğu saptanmıştır. Bu durumda tutma mekanizması (sorpisyon), kapasiteyi artıran amonyum ve tiyosülfat iyonları ortamında dört değerlikli amonyum reçinesinde gerçekleştirilmekte ve rejenerasyon için kostik soda kullanılmaktadır (Gierzatowicz et. al., 1986).

McNulty ve Kubarawicz tarafından, ters ozmozun, basit ve kompleks siyanür iyonlarının gerikazanımı ya da uzaklaştırılmasında uygun bir yöntem olduğu belirtilmekte ve geniş bir pH aralığında "hollow fiber - spiral wound" membranlar kullanılmaktadır. Ters ozmoz, çözeltilerin kimyasal karakteristikleri ve yetersiz ön muameleler nedeniyle uygulanamamaktadır. Bu nedenle siyanür giderme işleminden önce bakır, çinko ve kadmiyum gibi metallerin kimyasal yolla uzaklaştırılması ya da kompleks katyonların çökeltilmesi gerekmektedir (Zabbon and Helwick, 1980).

Crampton ve Wilmoth tarafından bakır, siyanür ve nikel atıklarını uzaklaştırmada ters ozmoz işlemi kullanılarak elde edilen derişik metal çözeltilerinin kaplama banyosuna döndürülebileceği açıklanmaktadır. Ayrıca düşük işletme maliyeti, sürekli işletme, basit düzenleme ve düşük su gücü gerektiren avantajları yanında membran tıkanma probleminin ortaya çıkış nedenleri ve çözüm teknikleri anlatılmaktadır (William and Fitzgerald, 1983).

Semmens ve Cussler tarafından yapılan çalışma ile örnek çözeltide asit

muamelesi sonucu HCN oluşturularak bir mikroporöz membran tarafından difüzyon yoluyla HCN uzaklaştırılmıştır. Bu işlem, bazik anyon değişimi kullanılarak katı metal siyanür komplekslerinin derişikleştirildiği bir sistemde uygulanmaktadır. HCN bir asit rejenerasyon belirteci ile anyon değişim sisteminden bırakılmaktadır. Kullanılmakta olan bir uygulamada, mikroporöz membrana difüzelenen HCN, NaOH ile nötrleştirilerek NaCN çözeltisi oluşturulmakta ve kaplama banyosuna geri döndürülmektedir (Semmens and Cussler, 1987).

Elektrokaplama tesislerindeki atıksuda toplam CN derişimi alkali klorlama ile 17 mg'nin aşağısına düşürülemediği halde anyon değişimi ile 1 mg'den daha düşük bir değer elde edilmektedir. Atıktaki metal derişimleri, kireç ile çöktürme yöntemiyle, yöresel deşarj sınırlarına düşürülebilmektedir. Cu hariç herbir metalin derişimi ise multi-media filtrasyon, anyon - kation değişimi ile 0,1 mg'nin aşağısına düşürülmektedir. Bu yöntemde geride kalan çamurdaki CN⁻ ve metallerin tamamen ayrıştırılması sağlanamamaktadır (Grasse et al., 1990).

Bazı endüstriyel sistemlerde radyasyon ile iyonlaştırma kullanımında olmasına karşın atık giderimi için tercih edilmediği belirtilmektedir. Yüksek enerjili su irradiasyonu esnasında serbest elektronlar, atomik hidrojen ve hidroksil radikalleri gibi aktif ürünler oluşmaktadır. H₂O'nun radyolizi aşağıdaki şekilde oluşabilmektedir.



Atık çözeltide bulunan çeşitli organik ve inorganik maddelerin radikal ve moleküler radyoliz ürünleri ile tepkime verdiği ve proste radyasyonun en azından 10⁵ rad/h olması gerektiği açıklanmaktadır.

Chicago Metropolitan Sanitary District tarafından kanalizasyon arıtım tesisindeki safsızlıklardan siyanürü uzaklaştırmak için 2,3 x 10⁷ rad/h ^{saat} değerinde bir radyasyon kaynağı kullanılmaktadır (Gierzatowicz et.al., 1986).

Siyanür uzaklaştırılmasında aktifleştirilmiş karbon kullanımı katalizör ile ya da katalizör kullanmadan bir çok çalışmacı tarafından araştırılmıştır. Fakat ticari ölçüde uygun bir yöntem belirlenmemiştir (Zabban and Helwick, 1980).

Bioksidasyon ile siyanür giderimi çalışmaları, çeşitli kanalizasyon arıtım tesislerinde en az 50 yıldır uygulanmaktadır. Bu yöntem tasarlanarak ya da tesadüfi olarak gerçekleşmiş olsa da başarı göstermiştir. Siyanür iyonu ya da hidrojen siyanürün biyolojik davranış gösteren organizmalar için toksik olduğu bilinmesine

karşın, siyanürün belirli derişimlerinde bulundurulan ve bu ortama alıştırlan bakteri ya da mikroorganizmaların olması bu durumun doğru olmadığını göstermektedir.

1962 yılında gerçekleştirilen siyanür, siyanat ve tiyosiyanatın aktif çamur ile arıtımı bilinen en klasik çalışmadır. Çalışmalarıda belirtildiğine göre, bu toksik bileşenler, uyum sağlama süresi olan 2-3 hafta sonrasında etkin olarak indirgenmektedirler. Çalışmanın etkin olabilmesi için CN derişiminin 60 mg/l den büyük olması gerekmektedir (Gierzatowicz et. al., 1986).

Laboratuvar ölçeğinde yapılan çalışmalarda kok fırını atıksuyu kullanılarak iki aşamalı biyolojik sistem uygulanmış ve fenolik maddelerin bulunduğu ortamda siyanür ve tiyosiyanatın indirgenmesinin çok daha etkili olduğu belirlenmiştir. Fenol ve siyanür derişimleri ilk safhada 2 günden daha az süre ile 1 mg CN/l den düşük bir değerde, tiyosiyanat derişimi ise ikinci safhada 2 mg CN/l den düşük bir değerde tutulmuştur. Kontrollü koşullarda ulaşılabilen bu seviyelerin ticari ölçekte de sağlanabileceği belirtilmiştir.

Bu yöntem sonrasında çıkan akımın geride kalan siyanürü uzaklaştırmak için uygulanacak olan fiziksel-kimyasal işlemlerin koşullarında sağladığı belirtilmektedir. Yöntemin genel olarak 30-120 mg CN/l derişim değerlerindeki siyanür atıklarına uygulanabileceği saptanmıştır (Zabban and Helwick, 1980).

Klor gazı ve hipokloritler ile yükseltgenme yönteminde işlem görmüş akımda geride kalan klorürün balıklara ve diğer suda yaşayan canlılara zararlı olduğu ayrıca suda toksik kloro-organik bileşiklerin oluşabileceği ve yöntem esnasında ortamında bazik olmaması durumunda toksik siyanojen klorürün oluşmasının mümkün olduğu belirtilmektedir (Moussavi and Sundaram, 1982).

Ozonlama prosesinin ürün maliyetleri ve yüzeyler arası taşınım etkinliğine göre ekonomisi, henüz tahmin edilmemiştir. Bununla birlikte bu yöntem maliyetinin çok yüksek olduğu düşünülmüştür.

Yüksek sıcaklıkta yakma, geçerliliği yanında düşük Yatırım - İşletme maliyetleri de dikkate alınan etkili bir yöntemdir ve katı atıklar ya da derişikleştirilmiş sıvıdaki arıtmalarda kullanışlı olduğu belirtilmektedir.

İyon değiştirme yönteminin arıtım için kârlı olmadığı ve güçlükle gerçekleştirilebildiği belirtilmiştir.

Radyoliz işleminin ucuz ve basit olduğu fakat çok düşük siyanür derişimi

sınırlarında yeğlendiği ve bu işlemin, üretimin ve uygulanan iyonlaştırıcı radyasyon kaynaklarının teknolojik düzeyine bağlı olduğu açıklanmıştır.

Biyolojik arıtımın, genel ve endüstriyel atık gideriminin birleştirilmesi durumunda kullanışlı ve kârlı olduğu görülmüştür (Gierzatowicz et. al., 1986).

Elektrokaplama tesislerinde iyi kalite su sağlanması zorluğu nedeniyle maliyet artmakta dolayısıyla arıtma prosesi ile suyun kalitesinin korunması çalışmaları yıllık olarak 10.000-99.000 \$ arasında tasarruf sağlamaktadır.

Yapılan bir çalışmada, atıksu ayırma programından elde edilen yatırım maliyeti tasarrufu saptanmıştır. Çinko kaplamada çoğunlukla alkali siyanür banyoları kullanan bir tesiste, atıksu üç akıma ayrılmaktadır. İlk adım işlem gerektirmemekte ikincisine siyanür oksidasyonu üçüncüsüne ağır metal uzaklaştırma yöntemi uygulanmaktadır. Çizelge 4.3.'de örnek ayırma programı verilmiştir. Bu durumda ayırma sistemi maliyeti 17.000 \$ dır. Ayırma borularını da içeren arıtım sisteminin tamamının yatırım maliyeti 367.000\$ dır. Bu sistemin ayırma yapılmaksızın hesaplanan yatırım maliyeti 500.000 \$ dan fazladır. Böylece atık akımlarını ayırma yoluyla yatırım maliyetinde 130.000 \$ tasarruf sağlanmıştır.

İşlem görece atıksuyun hacminin küçülmesi ile arıtma prosesi kapasitesinin ve kimyasal madde miktarının düşürülebileceği aynı zamanda yüksek derişimden dolayı prosesin etkinliğinin geliştirileceği kanıtlanmıştır. Farklı atık akımların birleştirilmesi sonucu toksik gazların oluşabileceği de belirtilmiştir. Örneğin, siyanür durulama akımı ile zayıf asit durulama akımı birleştirildiğinde hidrojen siyanür gazı açığa çıkabilmektedir. Aynı zamanda metal içeren çözeltilerin, kompleks yapıcı bir madde içeren banyolar ile temasında arıtılması zor bileşikler oluşabilmektedir. İyon değişim kolonları ve ters ozmoz sistemleri ise çeşitli kirleticilerden zarar görebildiğinden bu proseste arıtılacak atıksuyun daha önceden işlem tipine göre ayrılması olumlu karşılanmaktadır.

Prosesin dayanma süresi, alanı ve mevcut boru sistemi, ayırma sisteminin maliyetini büyük ölçüde etkilemektedir. Bazı endüstriyel tesislerde olduğu gibi arıtım sistemine yerçekimi etkisiyle verilen atıksu için ayırma sistemi uygulanması ekonomik olmamaktadır. Çünkü ayrılan herbir atık akıma pompalama sisteminin gerekeceği ve dolayısıyla prosesin yatırım ve işletme maliyetinin artacağı belirtilmektedir (Dowd, 1985).

Beş tek etkili evaporotör biriminden oluşan bir proses ile krom, parlak nikel, bakır siyanür, çinko siyanür ve pirinç siyanür kaplama çözeltilerinin % 95'i ya da daha fazlası geri kazanılmaktadır. Proseste kaplama banyosundan sonraki üç zıt akımlı durulama suyu geri kazanım birimine verilmektedir. Evaporosyon işlemi ile deriştirilen çözelti kaplama banyosuna verilirken, distilat (saf su) zıt akımla durulama tanklarına verilmektedir.

En son geri kazanımdan sonraki durulama akımı daha önce belirtilmiş olan kimyasal işleme tabi tutulmak üzere siyanür taşıyıcı, krom taşıyıcı ve asit-alkali taşıyıcı akımlara ayrılmaktadır. Bu durumda son durulama akımı krom ve nikel durulama sistemlerinde krom taşıyıcı akıma çinko, bakır ve pirinç durulama sistemlerinde ise siyanür akımına verilmektedir. Üç farklı akım sürekli olarak kendi işlem biriminden ve yerçekimi ile sağlanan çöktürücüden geçtikten sonra birleştirilmekte ve bir akım düzenleyiciden geçerek kanalizasyona verilmektedir (Kastura, 1980).

Çizelge 4.1 Siyanür Banyolarının arıtılmasında kullanılan kimyasal madde maliyetleri

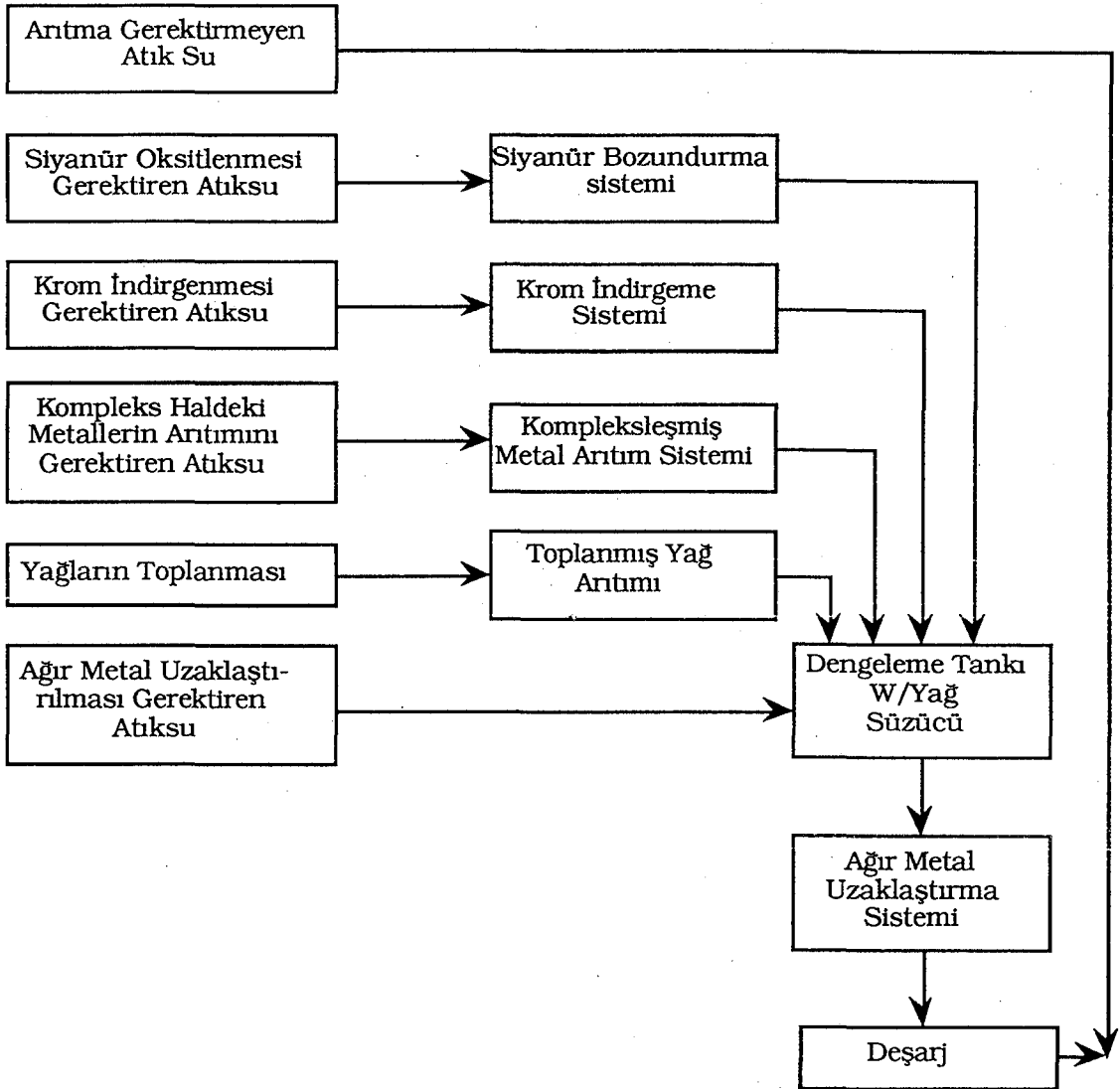
Banyo	İlk Safha		İlk ve İkinci Safha	
	Cl ₂ ile	NaOCl ile	Cl ₂ ile	NaOCl ile
(Cu-CN) ²⁻	0,25\$	0,36\$	0,63\$	0,94\$
(Cd-CN) ²⁻	0,41\$	0,60\$	1,05\$	1,55\$
(Zn-CN) ²⁻	0,21\$	0,31\$	0,54\$	0,80\$

Çizelge 4.2 Termal ayrıştırma ile kimyasal giderme toplam işletme maliyeti karşılaştırılması*.

Termal Ayrıştırma Maliyeti	Maliyet, \$/1 Yıl
Buhar Buhar	15000\$
Soğutma suyu	9600
İşletme ve Bakımı	1600
Toplam İşletme Maliyeti	26200
Kimyasal Giderme İşletme Maliyeti	30000
Termal Ayrıştırma İşletme Maliyeti Avantajı	38000

* Maliyet hesaplamalarında kullanılan 18925 L (500 gal) lik çinko kaplama banyosu; 37,5 g/l çinko, 75 g/l sodyum siyanür ve 75 g/l sodyum hidroksit içermektedir. Arıtma yapılan durulama suyu akış hızının 75 lt/h ve durulama suyundaki siyanür iyonları derişiminin ise 4000 mg/l olduğu tasarlanmıştır.

Çizelge 4.3 Örnek atıksu ayırma şeması



4.2. Elektrokimyasal Yöntemler ile Yapılan Giderim Çalışmaları

Metal endüstrisinde yaygın olarak kullanılan ve atıksu ile birlikte deşarj edilen toksik bileşenlerin bir kısmı siyanürden çok daha kararlı ve öldürücüdür. Bunların giderilmesi için birçok yöntem önerilmiş ve uygun görülmüştür. Elektrolitik bozundurma yöntemi de etkin bir yöntem olmasına karşın temelini oluşturan elektrokimyasal kuram ve ilkeler tam olarak ortaya konmamıştır.

Siyanürün uzaklaştırılması için klor, hidrojen peroksit, ozon vb. ile yükseltgeme, termal ayrıştırma, iyon değişimi, ters ozmoz, biyolojik arıtım gibi 4.1 bölümünde verilen bazı yöntemlerin bir kısmı endüstriyel tesislerde uygulamaya konulmuştur. Genellikle

tercih edilen klor ya da hipokloritler ile yükseltgeme, maliyeti yüksek bir yöntemdir ve kompleks haldeki atıklar için yeterli derecede etkili değildir.

Son yüzyılda araştırılmaya başlanan elektrokimyasal yöntem, bugünlerde farklı elektrot düzenlemeleri ile yüksek verim sağlamak ve düşük işletme maliyeti göstermektedir.

Siyanürün elektroliz yoluyla yükseltgenmesinde ilk bilimsel çalışmalar Hittorf tarafından gerçekleştirilmiştir. Hittorf sulu potasyum siyanür çözeltisini, platin elektrot kullanılan U tipi hücrede elektroliz ederek sıvı bir madde ile birlikte koyu kırmızı-kahverengi çökelek oluşumu gözlemiş, fakat anotta gaz oluşumu saptamamıştır.

Brochet ve Petit'de potasyum siyanür elektrolizinde platin elektrot kullanımı ile karbondioksit ve amonyak belirleyerek demirin anodik özellik göstermediğini bildirmişlerdir.

Marie tarafından araştırılan, siyanatın endüstriyel olarak elde edildiği proseste çok az çözünen sodyum tuzu ile birlikte siyanat oluşturulmuş ve çöktürülmüştür (Kuhn, 1971).

Clevenger ve Hall tarafından siyanür yükseltgenmesinde grafit anot kullanılmış ve bu proseste yükseltgeme anotta suyun ayrışmasıyla oluşan serbest oksijen ile sağlanmış, sonuçta karbonat ve siyanat elde edilmiştir (Dart et.al., 1963).

Tsukomato kurşun anot kullanılan hücrede siyanat oluşumunu incelemiştir. Schmidt ve Meinert, Hittorf'un çalışmasını tekrarlayarak, özellikle 55 mA/cm^2 akım yoğunluğunda platin elektrotta oksijen oluşmaksızın, hidrojen siyanür polimerleşmesi ile oluşan azulmik asit olarak bilinen koyu kahverenkli maddeyi saptamıştır. Ve siyanür tipli bu türlerin oluşumunda iki seçenek ortaya koymuştur: Birincisi, Hittorf tarafından önerilen, siyanürün polimerleşerek parasiyanojen oluşturmasıdır. İkincisi, siyanojenin hidrolize uğrayarak HCN oluşturması ve HCN'nin polimerleşerek koyu kahve renkli kısmen katı kısmen kolloidal haldeki azulmik asit açığa çıkarmasıdır. Bunu saptamak amacıyla kuvvetli bazik koşullarda çalışmalar sonucu HCN oluşumu gözlenmemiş ve böylece ikinci mekanizmanın söz konusu olmadığı düşünülmüştür. Anot gaz hacminin katot gaz hacmine oranı anotta gaz çıkışının minimum olduğunu ve yine birinci mekanizmanın gerçekleştiğini göstermiştir. Zayıf bir asit çözeltisi (pH=6,5) kullanılarak işlem tekrarlandığında kahverenkli oluşum yine görülmemiş fakat zayıf bazik koşullarda (pH= 7,5) renklenme gözlenmiştir. Schmidt ve Meinert'in

farklı pH ortamlarında (pH= 5-13) yaptıkları tüm bu çalışmaların amacı temel elektroliz ürünü siyanojen (C_2N_2) ile elektroliz çözeltisinin homojen tepkimelerinden oluşan diğer bileşikleri saptamaktır (Kuhn, 1971).

Dodge and Reams tarafından siyanür çözeltilerinin elektrokimyasal yolla giderimi için aşağıdaki koşullarda çalışılmıştır (Dart et. al., 1963),

a) % 0.5 - 1.0 çözünebilir nikel tuzu içeren çözeltilerde çelik anot ile doğru akım uygulanması

b) Grafit anotlar ile doğru akım uygulanması

c) Demir anotlar ile alternatif akım uygulanması

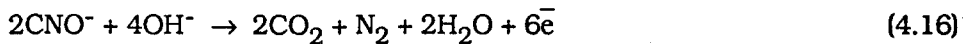
d) b ve c seçeneklerinin birleşiminin uygulanması

Sawyer ve Day voltametrik ve kronopotansiyometrik teknikleri kullanarak yalnızca CN^- 'nin elektroaktif olduğunu belirlemiştir. Kullanılan potansiyellerde anodik oksidasyon hızının, asidin ayrışma hızından daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

Sperry ve Cladwell'e göre anodik oksidasyon şu şekilde gerçekleşmektedir (Sperry and Cladwell, 1949).



Fakat Lure ve Genkine göre ise aşağıdaki tepkimenin en iyi şekilde gerçekleşmesi söz konusudur (Kuhn, 1971).



Dart tarafından, grafit ve platinlenmiş titanyum elektrottan elde edilen sonuçlar arasında hiç bir farklılık olmadığı belirtilmektedir. Siyanürün siyanata oksitlenmesi suyun elektrolitik ayrışması ile anotta oksijenin oluşması sonucu gerçekleşmektedir.



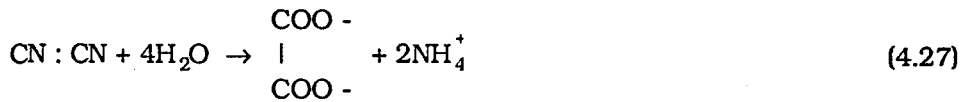


Bu durumda siyanat, amonyum ve karbonat iyonları vermek üzere hidroliz olabilmekte ve bazı amonyum iyonları da aşırı siyanat ile üre oluşturmaktadır.

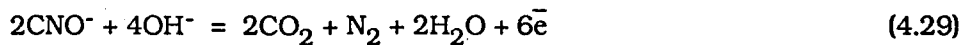


Üre, hidroliz sonucunda tekrar amonyum ve karbonat iyonlarına dönüşmektedir.

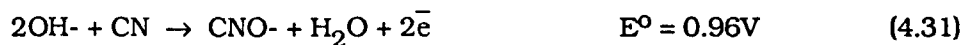
Elektroliz ürünlerinde küçük miktarda bulunan sodyum oksalat, ara ürün siyanojen oluşması ve sulu çözeltide hidrolize uğramasından ileri gelmektedir (Dart et. al., 1963).



Tamura ve arkadaşları, platin elektrotta potasyum siyanür çözeltisinin alkalinitesine göre anotta yükseltgenmesini çalışmış ve aşağıdaki mekanizmanın gerçekleştiğini öne sürmüştür (Tamura et. al., 1974).



Yalnızca Mayer, yükseltgeme tepkimelerinin termodinamiği üzerinde durmuştur: (Kuhn, 1971).





Birçok araştırmada siyanür gideriminin, çözünmüş klorür içeren atık siyanür akımının elektrolizi ile hipoklorit'in oluşturulması sonucu gerçekleştiği belirtilmiştir. Bu teknik, seyreltilmiş atıksudaki siyanürün giderilmesi için uygundur (CN derişimi 500 ppm den düşük). Fakat kuvvetli siyanür çözeltisinin de (CN derişimi > 1000 ppm) doğrudan elektrokimyasal yükseltgeme ile işlem görebileceği araştırmacılar tarafından desteklenmektedir (Tan et. al., 1985).

Siyanürün elektroklorlama yöntemi ile gideriminde ilk çalışma Byrne tarafından yapılmıştır ve sodyum klorürün elektrolite ilave edilmesi ile çözeltideki ya da elektrottaki klor iyonlarının, aktifliği artırdığı açıklanmıştır. Yan tepkimelerin oluşmasını önlemek amacıyla işlem sıcaklığının 40-50°C arasında bulunması önerilmiştir (Kuhn, 1971).

Negandran ve arkadaşları, farklı sodyum klorür derişimleri ve akım yoğunlukları ile siyanürün elektrokimyasal parçalanmasını araştırmış ve 120 mA/cm² üzerindeki akım yoğunlukları ile parçalanmanın doğru orantılı gerçekleştiğini gözlemiştir. Önerilen en düşük sodyum klorür derişimi 70 g/l'tir. 500-5 ppm siyanür derişim aralığında enerji tüketimi için 10 Wh/g CN⁻ kadar düşük bir değer hesaplanmıştır (Negandran et. al., 1967).

Lure ve Genkin klor iyonlarına ilave yapılmasının akım verimini artırdığını ve klor iyonlarının tamamen tepkimeye girmesi sağlanırsa %100 akım veriminin üzerine çıkılabileceğini belirtmiştir. 0,1 A/dm² akım yoğunluğunda, 7-10 Wh/g CN⁻ enerji tüketimi hesaplanmıştır. Sonuçların değerlendirilmesi ile Cl derişiminin CN⁻ derişiminden 3,5 kat daha büyük olması gerektiği bildirilmiştir.

Drogon ve Pasek tarafından tanımlanan sürekli akan bir sistemde akım verimi yüksek değildir ve 90 g CN⁻ için 4-4,5 KWh enerji tüketilmesi gerekirken, tesis gücünün 20 KWh olduğu belirtilmiştir.

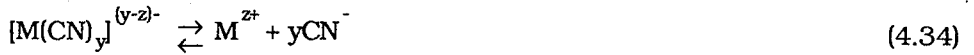
Kurz ve Weber, Cynox prosesini tanımlamışlar ve 80-200 mg/l'lik bir klor düzeyi ile aktifleştirilecek elektrolizde, pH = 10-11 de % 3'lük tuz çözeltisi kullanmışlardır. 1 g CN⁻'e 7 g klor gerektiği belirtilerek ayrışma eşitliğinin stokiyometrisine göre % 50 verimin sağlandığını belirtmişlerdir. Ayrıca 1 g klor'a karşılık 5,5 KWh enerji tüketiminin olduğu

hesaplanmıştır. Bununla birlikte bu hücrede % 90 klor üretimi gerçekleştirilerek klorün deşarj edilecek akımda taşınmasının önlenildiği de belirtilmiştir (Kuhn, 1971).

Metal işleme ve hidrometalürji endüstrisinden deşarj edilen siyanür içeren akımların arıtılmasında klor ya da hipoklorit gibi belirli oksitleyicilerin kullanıldığı kimyasal yöntemlerde ayrıştırma ve çökeltme proseslerinin sonunda ağır metal içeren büyük miktardaki çamurun uzaklaştırılması sorun yaratmaktadır. Elektrokimyasal yöntem, anotta siyanürün ayrıştırılması ve aynı zamanda çamur sorunu olmaksızın katotta ağır metalin toplanması bakımından üstünlük sağlamaktadır (Ho et. al., 1990).

Siyanür komplekslerinin elektrokimyasal olarak yükseltgenmesini açıklayan iki görüş vardır. Birincisinde kompleks iyon ilk olarak serbest siyanür iyonlarına ayrılmakta ve daha sonra yükseltgenmesi gerçekleşmektedir.

Glasstone, çözeltideki kompleks siyanürün kimyasal ayrışma sonucunda yükseltgendiğini belirtmiştir (Tan et. al., 1985).



Oyler, siyanür nikel ya da bakır tuzu şeklinde bulunduğu kullanılan proses ile metalin geri kazanılabildiği ve aynı zamanda CN⁻'ün uzaklaştırılabildiğini belirterek verim kayıpları olmasına karşın sıcaklığın 100°C ye yakın olmasını ve yüksek akım yoğunluklarını önermektedir (Oyler, 1949).

Kompleks haldeki siyanürün katotta bakır toplanması ile serbest hale geçtiği Sperry ve Cladwell tarafından açıklanmıştır (Sperry and Cladwell, 1949).

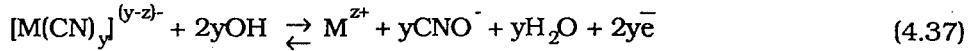


Kadmiyum, bakır ve çinko siyanür komplekslerini içeren çözeltilerdeki siyanür giderimi yaklaşık olarak basit siyanür giderimi ile aynı hızda gerçekleştiğinden kompleksin metal ve siyanür iyonlarına ayrışma hızının yüksek olduğu ayrıca ayrışma mekanizmasından sonra basit siyanür elektrolizindeki tepkimelerin oluştuğu düşünülmektedir (Dart et. al., 1963).

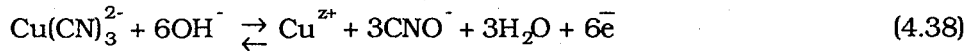


İkinci görüşte ise siyanür kompleksinin anotta OH iyonu ile siyanat iyonu oluşturmak üzere tepkime verdiği öne sürülmektedir. Bu konuda Koryta tarafından

önerilen mekanizma aşağıda verilmiştir (Tan et. al., 1985).



Drogon ve Pasek'e göre kompleks iyonlar doğrudan elektrolitik yükseltgeme ile ayrışmaktadırlar (Hwang et. al., 1987).



Bakır sülfat ve potasyum siyanürden oluşturulan bakır siyanür elektroliz edildiğinde Tan tarafından 4.38'deki ve aşağıdaki tepkime ortaya konmuştur (Tan et. al., 1985).



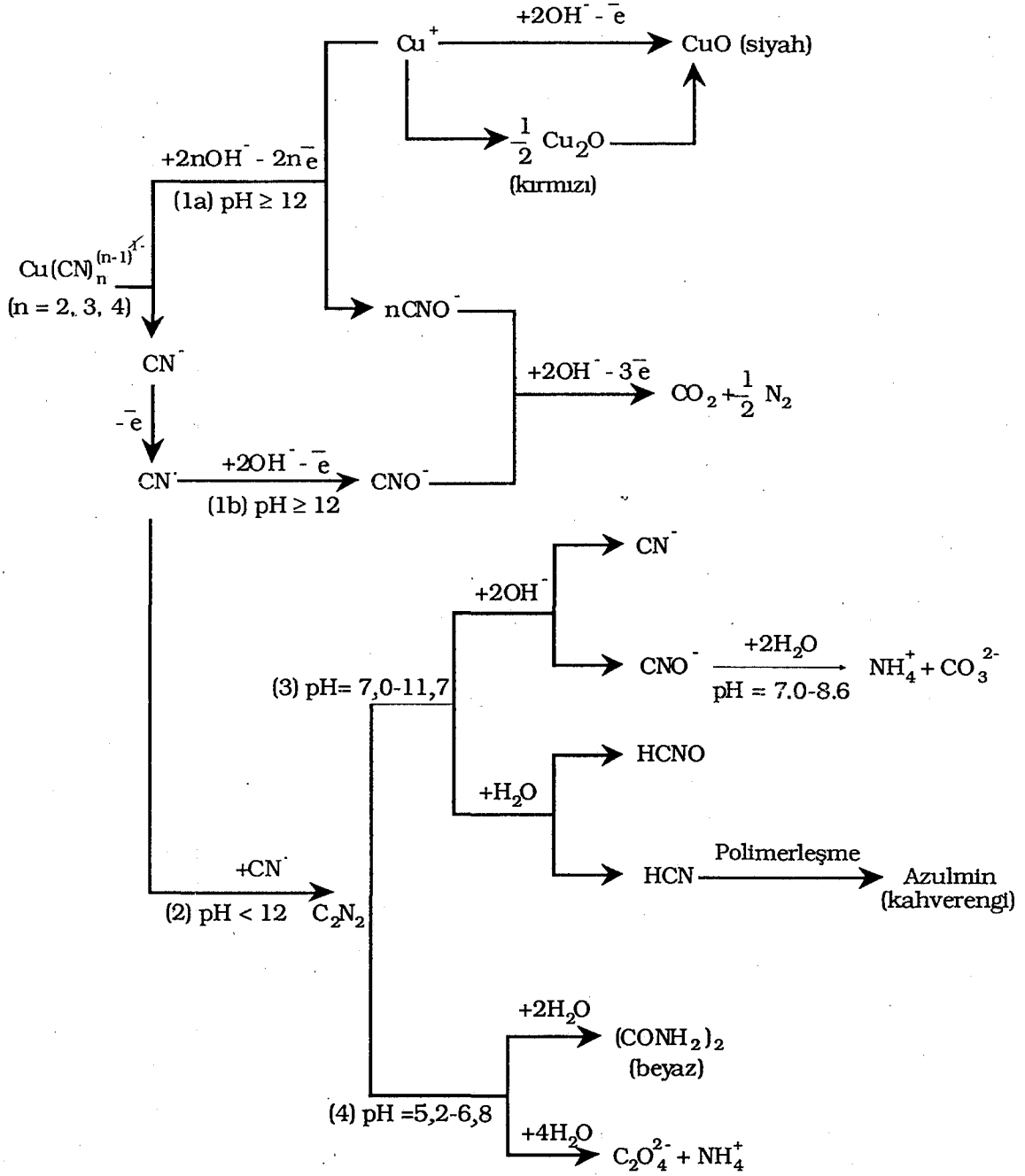
Toplam siyanür (5 kg/m³) / Bakır oranları 2,8'den 20 ye kadar değişen bakır siyanür çözeltisinin farklı pH koşullarında elektrolitik oksidasyonu, iki platin elektrottan oluşan pyrex hücrede çalışılmıştır.

Kuvvetli bazik çözeltilerde (pH ≥ 12) bakır siyanür iyonları, Cu(CN)⁽ⁿ⁻¹⁾⁻ (n= 2,3 ya da 4) doğrudan elektriksel olarak yükseltgenmekte ve bakır oksit anotta çöktürülmektedir. Anotta ürün olarak siyanat iyonları ve azot gazı elde edilmektedir. Her faraday başına toplam siyanürün 0,3-0,43 g molü bozundurulmaktadır.

Zayıf bazik çözeltilerde (pH < 12) bakırsiyanür iyonlarından siyanür iyonları ayrışmakta ve elektrokimyasal olarak yükseltgenmektedir. pH = 10,5-11,7 de anotta siyanat iyonu ve kahverengi azulmin polimeri oluşmaktadır. Nötr çözeltide (pH = 7,0-8,6) karbonat, amonyum iyonları ve azulmin oluşumu gözlenmektedir ve her faraday başına toplam siyanürün 0,52-0,56 g molü uzaklaştırılmaktadır. Zayıf asidik çözeltilerde (pH = 5,2-6,80) oksalat, amonyum iyonları ve beyaz okzamid oluşmakta ve her faraday başına toplam siyanürün 1,01-1,18 g molü uzaklaştırılmaktadır. Bu mekanizma Çizelge 4.4'de gösterilmiştir (Hwang et.al., 1987).

Çizelge 4.4

Farklı pH ortamlarında gerçekleşen tepkime mekanizmaları.



Sodyum siyanür çözeltisi ve bakır, kadmiyum, çinko kompleksi içeren çözeltiler, grafit ya da platinlenmiş titanyum anotlar ile 50-90°C sıcaklık aralığında ve 0-88 A/ft² anot akım yoğunluğunda elektroliz edilmiştir. Siyanür, 14,0-15,9 g HCN/Faraday (0,50-0,60 mol/Faraday) değerinde bozundurulmuş ve 146-201 g HCN için 1 kWh elektrik enerjisi tüketilmiştir. Siyanür giderim hızının, geçen akım ile doğru orantılı

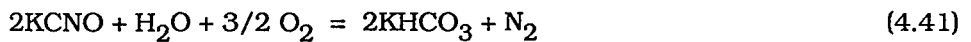
olduğu ve sıcaklık artışı ile arttığı belirlenmiştir. Elektrolit pH'ındaki artış ile giderim hızının düştüğü gözlenmiş ve farklı pH ortamlarında CN'nin bozunma hızı yanında gaz haldeki HCN çıkış hızı da saptanmıştır. Bozunma tepkimeleri ve ürünler Denklem 4.17 ve 4.27'da verilmiştir.

Paslanmaz çelikte aynı koşullarda grafit ya da platinleşmiş titanyum anotlara göre daha düşük hızda CN bozunması gerçekleştiğinden paslanmaz çeliğin yeterli bir anot materyali olmadığına karar verilmiştir.

Katı siyanür atığın da laboratuvar ölçeğinde elektrolitik oksidasyon ile sürekli giderilebileceği açıklanmıştır. Bozunma sonrası gaz halde (amonyak, CO₂ ve H₂) ve katı halde (% 0,05 siyanür ve % 26 sodyum oksalat) ürünler saptanmıştır. 111-143 g HCN gidermek için 1 Kwh elektrik enerjisi tüketildiği de hesaplanmıştır (Dart et.al., 1963).

Connard ve Beardsley, karbon ya da grafit anot kullanarak 20.000 - 60.000 ppm siyanür içeren deşarj akımını 24-96 saat süreyle bozundurmaya başarmıştır. Ayrıca bu prosesin maliyetinin, siyanürün hipoklorit ile kaynatılarak bozundurulması maliyetinden daha düşük olduğu bildirilmiştir (Connard and Beardsley, 1961).

Kullanılmış galvanizleme ve yağ yıkama banyoları; PbO₂ anotlar ve çelik katotlar içeren bir düzenekte elektroliz edilmiş ve başlangıç olarak koyu kahverengi olan çözelti porselen ya da iyon değiştirici diyafram kullanılarak açık ve sarımtırak hale getirilmiştir. Elektrik enerjisi tüketimi,



eşitliklerine göre 1 kg CN için 3-5 KWh dir (Rudolf and Miloslav, 1979).

Metal kaplanmış anotlar, > 0,5 N Cl⁻ ortamında, seyreltik çözeltideki CN'ün anodik yükseltgemesinde grafit anotlardan daha iyi performans göstermektedirler. CN yükseltgeme değeri, Pt kaplanmış anotlar için Cl⁻ derişimi ve akım yoğunluğunun artırılmasıyla artmaktadır. 1 g/l KCN ve 0,1 g/l KCl içeren bir çözeltinin 30 mA/cm² akım yoğunluğunda elektroliziyle % 60-80 akım verimi sağlanmaktadır (Rowland and Steppke, 1980).

Zagursky tarafından siyanür atığının elektrolizi, açıkta yoğun hava karıştırılarak gerçekleştirilmiş, diyaframsız hücreler; grafit anotlar ve paslanmaz çelik katotlardan oluşturulmuştur. Elektrotlar arasındaki uzaklık 30-50 mm dir. Sodyum klorür

atıksuyun elektriksel iletkenliğini artırmak ve işlem süresini düşürmek için kullanılmıştır (Daubaras, 1981).

Demir karbonlaştırma prosesleri, elektrokaplama, matbaa gibi tesislerdeki Fe/CN⁻ kompleksleri içeren atıksuyun arıtımında, reçine kaplanmış grafit anot ve Ti kafes katottan oluşan bir hücre kullanılmıştır. Anotta akım yoğunluğu ve sıcaklık sabit tutulmuştur. CN⁻, HCNO'a yükseltgenmiş ve Fe, Fe(OH)_x olarak çöktürülmüştür. Elektrolitin spesifik iletkenliği $< 30 \text{ m } \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$ de tutulmuştur (Atsuyuki and Junichiro, 1979).

Siyanürün anotta yükselttiği bir diğer proseste, çözelti pH'ı ≥ 11 ve tuz içeriği $\geq \text{CN}$ derişimi sağlanması sonrası gerçekleştirilen elektroliz esnasında elektrolit 900 rev/dk hızla karıştırılmıştır. $\sim 16 \text{ V}$ ile $\sim 3 - 3,5 \text{ A/dm}^2$ lik akım yoğunluğu uygulanarak pratik olarak 10 dk sonra CN⁻'ün tamamının yükseltgenmesi sağlanmış ve anot plakası saf C tozu ile kaplanmıştır (Jouko, 1980).

Au ekstraksiyon tesisinde dışarı verilen akımın elektrokimyasal olarak işlenmesinde flow-through, poröz RuO_x-Ti, CoO_x-Ti ve grafit lifler (VV-P-66-95) kullanılmıştır. Elektrotların tamamının özellikle CN⁻ ve SCN⁻ nin anodik oksidasyon hızını artırdığı bulunmuştur. Fakat yükseltgenmenin yoğun gerçekleşmesi, grafit elektrotların ayrışmasına ve çözeltinin kirlenmesine neden olmuştur (Varentsov and Belyakova, 1983).

Endüstriyel atıksudan CN⁻ ve CNS⁻'nin elektrokimyasal olarak uzaklaştırılmasını geliştirmek için yapılan bir çalışmada akım yoğunluğu 200 A/m^2 ye ya da elektroliz süresi 5 saat'e çıkarılmıştır. Paslanmaz çelik anotlar kullanılarak, düşük enerji tüketimi ile $2,5 \text{ A/cm}^2$ akım yoğunluğunda 100 dk süren elektroliz sonunda % 94 Cu, % 99 CN⁻ ve % 85 CNS⁻ giderimi sağlanmıştır (Tyrina and Morozov, 1982).

Bir diğer çalışmada V₂A çelik katot, Ni anot içeren bir elektrokimyasal hücrede, $10^{-5} - 10^{-2} \text{ M}$ CN⁻ içeren atıksu yükseltgeme yoluyla saflaştırılmıştır. Anot-katot uzaklığı 2 cm dir, $0,15 \text{ M}$ Na₂SO₄ içeren destek elektrolitte $\text{Cu}^{2+} / \text{CN}^{-} = 1/5$ oranında bulunan Cu^{2+} katalizör olarak kullanılmıştır. Hücre 50°C de, $0,65 \text{ A/dm}^2$ de işletildiğinde enerji tüketimi 1 kg CN⁻ için 5-10 kWh olmuştur (Ionescu et.al., 1983).

Metal kaplama işlemlerindeki atıksu; ağırmetalleri ve zehirli organik maddeleri, kompleks yapıcıları ve CN⁻ içeren diğer kirleticileri uzaklaştırmak için, iletken elyaf kütlesinden oluşan katot ve poröz C, elyaf ya da metal oksitlerden oluşan anot içeren bir elektrokimyasal reaktörden geçirilmiştir. Bu yöntem ve düzenek, özellikle kaplama

tesisi atıksuyundan safsızlıkları uzaklaştırmada kullanılmaktadır (Kim and Weininger, 1981).

Siyanür (CN^-) atıksulardaki tiyosiyanat iyonundan elektrokimyasal yükseltgeme ile 24-29°C sıcaklık ve pH= 1-4 aralığında HCN olarak geri kazanılmıştır. 2930 mg SCN^-/l içeren çözelti elektrokimyasal olarak yükseltgenmektedir ve 250 dk süren işlem sonunda çıkan akımda ~ 9 mg SCN^-/l ve 892 mg CN^-/l bulunmuştur (Byerley and Enns, 1982).

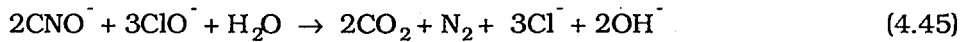
Kaplama tesisleri durulama suyu dikkate alınarak 1 g/L NaCl ve 0,8 g/L NaOH içeren 500 ml çözeltideki çalışmalar platin anot ve paslanmaz çelik katot tabakalarından oluşturulmuş elektrokimyasal hücrede gerçekleştirilmiştir. Elektroliz sırasında yavaşça karıştırma (150 rpm) yapılarak hücreye toplam 2500 coulomb'luk sabit akım uygulanmıştır.

Elektrolitik ayrışma işlemine ortalama akım yoğunluğunun ve NaCl derişiminin etkisi araştırılmıştır. Belirli bir akım yoğunluğunda (20 mA/cm^2) banyonun klorür içeriğinin artırılması CN^- 'nin ayrışma verimini artırmaktadır. Sodyum klorür derişimindeki artış belirgin olarak çözeltinin direncini düşürmekte ve böylece belli bir akım yoğunluğunda gerekli elektrik enerjisi de düşmektedir. 40 mA/cm^2 ya da daha yüksek akım yoğunluğunda serbest siyanürün ayrışma verimi düşmekte ve elektrik enerjisi tüketimi artmaktadır.

Elektroliz sırasında platin anotta oluşan klorür, alkali ile tepkime vererek siyanürün yükseltgenmesini sağlayan hipokloriti oluşturmaktadır:



Daha sonra siyanat (CNO^-) oksitlenmektedir.



Elektrokimyasal işlemde akımın belirli aralıklarda sağlanması çok etkili olduğu düşünülmektedir. Çünkü anotta oluşturulan yükseltgenlerin siyanür ile kimyasal tepkimesi için uzun süre gerekmektedir. Akım 5-15 sn arasında uygulandığında (1 g/l NaCl + 0,8 g/l NaOH + 4 g/l NaCl çözeltisi) siyanür içeriğinin

%45'i, akımın sürekli uygulanması durumunda ise; % 60'ı ayrışmaktadır. Fakat bu sürenin üzerinde siyanür ayrışma verimi düşmektedir.

Elektrolite ilave edilen farklı tuz iyonlarının siyanür ayrışmasına etkileri de çalışılmıştır. Florür ilavesinin siyanür ayrışmasını artırıcı yönde etkili olmadığı görülmüş, iyodür ve klorür ayrıştırmada aynı etkiyi göstermesine karşın bromürün çok daha etkili olduğu gözlenmiştir. Fakat bu tuzun maliyeti, sodyum klorürden daha fazla olduğundan ticari işletmelerde pratik olarak kullanılmamaktadır.

Elektrolit üzerinde köpük tabakasının bulunması anotta gaz halde oluşan ürünlerin uzaklaşmasını geciktirerek, siyanür ile daha büyük miktarın tepkimeye girmesini sağlamaktadır. Aktif karbon, tiyoüre gibi yüzeyde tutulan maddelerin de elektroliz verimine etkilerinin yüksek olmadığı saptanmıştır.

Katot materyalleri ve katotta gerçekleşen tepkimelerin, siyanürün uzaklaştırılmasında etkilerinin küçük olduğu belirtilmiş, çinko kurşun, platin ve paslanmaz çeliğin katot materyali olarak aynı etkiyi gösterdikleri açıklanmıştır. Bununla birlikte paslanmaz çelik ayrışma için daha düşük enerji gerektirmekte ve katot olarak en kullanışlı materyal durumuna gelmektedir.

Anot materyali olarak platin, platinleşmiş titanyum ya da platinlenmiş tantalyum eşit derecede etkili olmasına karşın saf palladyumun çok daha az etkili olduğu belirlenmiştir. Asitleştirilmiş $Pb(NO_3)_2$ çözeltisinde anodik işlem ile oluşturulan beta kurşun dioksit kaplamalı titanyum panel 20 mA/cm^2 akım yoğunluğunda siyanür durulama çözeltisinde platin ile aynı ayrışma derecesini göstermektedir.

Karıştırma, difüzyon ve konveksiyon yoluyla kütle aktarımını artırmaktadır. Farklı anot akım yoğunluklarında karıştırmanın etkisi incelendiğinde, 20 mA/cm^2 de yavaş karıştırmanın (150 rpm) 40 mA/cm^2 de ise şiddetli karışmanın etkili olduğu görülmüştür. Fakat 10 mA/cm^2 akım yoğunluğunda şiddetli karıştırmanın ayrışmayı büyük miktarda düşürdüğü gözlenmiştir.

Çözelti sıcaklığının 10°C den 40°C ye yükseltgenmesi, 20 ve 40 mA/cm^2 akım yoğunluklarında ayrışmayı artırırken 10 mA/cm^2 de düşürmektedir.

Yapılan diğer çalışmalarda siyanür giderimi için en uygun derişim değerlerinin 1 g/l NaCl ve 0.8 g/l NaOH olduğu belirlenmiştir. Daha yüksek ya da daha düşük derişimlerde ki ($\text{NaCl} / \text{NaOH}$ oranı sabit) çözeltilerde ayrışma veriminde düşme gözlenmiştir. Daha düşük derişimdeki siyanür-hidroksit çözeltisinde ayrışma veriminin

düşmesi yanında çözeltinin öz direnci daha yüksek olduğundan elektrik enerjisi tüketimi de artmıştır. Sabit NaCN derişiminde alkali dereşiminin artması oksijen açığa çıkma eğilimini artırdığından ayrışma verimini aşırı derecede düşürmüştür (Pearlstein, 1983).

Elektriksel olarak PbO₂ kaplanmış Ti anotta yapılan çalışmalarda akım yoğunluğu ve çözelti sıcaklığının akım verimini etkilemediği belirlenmiştir. Akım veriminin derişik NaCN çözeltilerinde yaklaşık % 100 olduğu ve 0,2 M dan daha düşük derişimlerde zamanla düştüğü belirtilmiştir. 5 A/dm² akım yoğunluğu ve 50°C sıcaklıkta test edilen çeşitli anotların performansı Çizelge 4.5'de karşılaştırılmıştır.

Siyanür oksidasyonunda metalik iyonların (Cd, Cu, Fe ve Zn) girişim etkileri araştırıldığında, Fe hariç diğerlerinin elektroliz sırasında katotda toplanması sonucu CN⁻ derişiminin artması ile akım veriminde beklenen düşüşün gerçekleşmediği gözlenmiştir.

Nafion membran ile oluşturulan iki bölümlü hücrede aynı koşullarda gerçekleştirilen elektroliz işleminde başlangıçta % 80 akım verimi sağlandığı halde zamanla bu değer aşırı düşme göstermiştir (Hine et. al., 1986).

Tan tarafından derişik bakır siyanür atık çözeltisini işlemek için paslanmaz çelik tellerden yapılmış bir çift elektrot ile oluşturulmuş kesikli elektrokimyasal hücre kullanılmıştır. Serbest, kompleks ve toplam siyanürün derişimleri farklı hücre akımlarında elektroliz süresinin fonksiyonu olarak ölçülmüştür. Atık çözeltilerdeki toplam siyanür derişimi 1200 ppm den 50 ppm'in altına düşürülmüş ve enerji tüketimi 14-34 KWh/kg CN olmuştur.

Bakırın % 90 dan fazlası metalik olarak katotta ve CuO olarak anotta toplanarak geri kazanılmıştır. Yüksek siyanür derişimlerinde paslanmaz çeliğin katalitik etkisi ile elektroliz başlangıcında kimyasal ayrışma gerçekleştiğinden % 100 den büyük akım verimi sağlanmıştır (Tan et. al., 1985).

Ağır metaller ve bir kompleks oluşturucu içeren oksitlenebilen kirleticilerin elektrolizinde derişik NH₃ gibi kompleks oluşturmayan bir belirtecin atıksuya eklendiği Kirch tarafından belirtilmiştir (Kirch, 1987).

[PO₄]³⁻ ve CN⁻ içeren atıksuya 10 g/l NaOH ve 30 g/l NaCl ilave edilerek 2 A/dm² akım yoğunluğunda anotta gerçekleştirilen 2 saat'lik elektroliz sonucunda, % 97,6 CN giderimi gözlenmiş ve 31,5 KWh/m³ enerji tüketimi hesaplanmıştır (Nicola et. al., 1987).

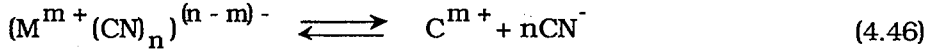
Üç farklı platin ile farklı kalınlıklarda kaplanmış Ti anotlarda, farklı NaCl

derişimlerinde siyanürün yükseltgenmesi çalışılmıştır. Bu elektrotlardan yalnızca biri düşük kaplama değerinde diğerlerine göre daha yüksek yükseltgeme ve akım verimi sağlamıştır (Gülbaş et. al., 1989).

Deneyler; nikel kaplanmış katotlar ve katalizör görevi yapan değerli metaller ile kaplanmış titanyum anotlardan oluşan bir elektrokimyasal hücrede, siyanür iyonları içeren durulama çözeltisi (Au, Cu, Cd, Ni) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmalar yanında siyanür iyonunun elektrokimyasal davranışı "cyclic voltametri" kullanılarak incelenmiştir. İncelemelerde katotta metalik iyonların indirgenmesiyle siyanür iyonlarının serbest hale geçmesine yol açan tepkimenin, anotta siyanür iyonlarının yükseltgenmesi tepkimesinden çok daha etkili olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla elektrolizin başlangıcında siyanür iyonlarının derişiminde artış gözlenmiştir. Bu durumda çözeltideki toplam siyanür derişimi zamanla çok yavaş düşme göstermiştir.

Elektroliz aynı deney koşullarında ve çözültiye sodyum klorür eklenerek tekrarlanmıştır. Metalik iyonların ayrılma hızı ve siyanür iyonları bozunma hızının önceki deneylerde elde edilen değerlerin yaklaşık iki katı olduğu görülmüştür. Bu durumda eklenen NaCl, metalik iyonların serbest hale geçmesini dolaylı olarak etkilemiştir (Wiaux and Nguyen, 1990).



Dolgulu yataklarda birim hücre hacmi başına sağlanan tepkime hızının büyük, düzenlemesinin basit, işletim ve bakım maliyetlerinin düşük olduğu bildirilmiştir. Bu özelliklerinden dolayı tercih edilen dolgulu yatak elektrot Bennion tarafından atık akımlardan ağır metal iyonlarını uzaklaştırmada kullanılmıştır (Bennion and Newman, 1972).

Bu çalışmada derişik siyanür çözeltilerinin, çelik dolgulu yatak elektrokimyasal hücrede, 45 - 350 mA/cm² arasında değişen akım yoğunluklarında bozundurulması sağlanmıştır. Yapılan çalışmalarda siyanür gideriminin 81°C elektrolit sıcaklığında, hücre akımının artışıyla arttığı belirlenmiştir. Giderim için gereken faraday sayısının siyanür derişiminin azalması ile yükseldiği ve akımın düşmesi ilede düştüğü belirlenmiştir. Böylece her faraday başına giderilen değer 0,1 - 1 mol arasında değiştiği bulunmuştur.

Siyanür derişiminin azalması ve hücre akımının artmasıyla KWh/g giderilen CN^- değerinin arttığı ve hücre akımının büyüklüğüne bağılı olarak ortalama güç tüketiminin 0,0025 - 0,05 KWh/g CN^- arasında olduğu saptanmıştır. Çizelge 4.6'da bu çalışmada yapılan belirli sayıdaki işlem için ortalama enerji tüketimi özetlenmiştir. Yükseltgenmenin 4.28-4.30 denklemlerine göre gerçekleştiği kabul edilmiştir.

Sıcaklık artışlarının elektrik tüketimini büyük oranda düşürdüğü görülmüştür. Özellikle yüksek derişim bölgesinde her bir mol CN^- 'ü gidermek için gereken faraday sayısı yalnızca 0,1-1,0 arasında değişim göstermektedir. Fakat 1 mol siyanürü uzaklaştırmak için 2 faraday gerektiği diğer araştırmacılar tarafından da hesaplanmıştır. Bu durumun yüksek elektrolit sıcaklıklarında çelik yatağın katalizör etkisi nedeniyle elektrolizin başlangıcında kimyasal ayrışmanın da yer almasından ileri geldiği düşünölmüştür (Chin and Echert, 1976).

Dolgulu sabit yatak hücrelerin farklı konfigürasyonları, atıksudan siyanür uzaklaştırılmasında karşılaştırılmıştır. Çalışmalar 200 ppm CN^- içeren atıksuya 5 g/l NaCl ilave edilerek yapılmış ve by-pass akım biçimlerinin, flow-through dan daha etkili olduğu ortaya konmuştur (Sabarathinam et. al., 1985).

Grafit ile oluşturulmuş bir "flow - through" reaktörde, kaplama - yıkama atıksularından siyanür giderimi çalışılmıştır. Elektrolit olarak NaCl çözeltisi kullanılmış ve 200 ppm CN^- içeren çözelti akış hızı 30-40 l/h olarak düzenlenmiştir. 30 V gerilim uygulandığında ortalama akım, akış hızı ≤ 180 l/h olduğunda artmaktadır, 180 l/h den büyük akış hızlarındaki artış önemsiz kabul edilmektedir. Optimum koşullarda, % 91,2 lik bir dönüşümde, akım verimi %31,08 dir. 180 l/h akış hızında, 6 saatlik elektroliz sonucunda minimum CN^- derişimi 8,2 ppm olarak saptanmıştır (Sabarathinam et. al., 1986).

Diğer bir çalışmada, elektrodu paslanmaz çelik elyaftan oluşan elektrokimyasal reaktörün uygulama olanağı araştırılmıştır. Siyanür içeriği, 5-13 KWh/kg CN^- enerji tüketiminde, 4-20 saat arasında 1400 mg/l den 20 mg/l'nin altına düşürölmüştür. Elektroliz sırasında çözelti pH'ı 11-12 arasında tutulmuştur.

Çalışmada metal iyonlarının siyanür giderimine olan etkileri incelenmiş ve özellikle bakır iyonunun siyanür oksidasyonunu hızlandırdığı belirlenmiştir. Bunun yanında reaktördeki elektrotların çok katlı anot ve katot tabakaları şeklinde düzenlenmesi ile ortalama akım yoğunluğunun, elektrodun tek tabakalı

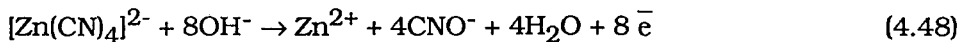
düzenlenmesine uygulanandan daha düşük voltajda sağlandığı görülmüştür. Çünkü her bir elektrot, bir zıt elektrot ile karşı karşıya konduğunda iki elektrot arasındaki elektriksel direnç düşmektedir. Bundan dolayı çok katlı elektrot düzenlemesi büyük ölçekteki reaktörler için kullanılmaktadır (Ho et. al., 1990).

Durulama suyundan kadmiyum geri kazanımı ve siyanür giderimi için geliştirilen ilk elektrokimyasal reaktörde %97 gerikazanım, %93 giderim sağlanmıştır. Elektrolitik hücre modülü, karbon elyaf katot ve nadir toprak oksidi ile kaplanmış titanyum anot içermektedir. Kadmiyum katotda toplanarak sulu fazdan uzaklaştırılırken siyanür anotta elektrokimyasal olarak yükseltgenmektedir. Sürekli 80 g/l derişimde bulunan sodyum klorür, sistemde hem Cl₂ kaynağı hem degiderimi artıran bir yükseltgen olarak davranmaktadır. Reaktör işletimi 19 saatlik çevrimi kapsamaktadır. Bunun 16 saatlik kısmı metal uzaklaştırma-siyanür giderimde kullanılmakta, 3 saatlik sürede ise metal reaktörden geri kazanılmaktadır.

Atığın tamamı, konvanسیونel teknoloji ile arıtıldığında, alkali klorlama düzeneği için yatırım maliyetinin 40000\$, kadmiyum'u çöktürmek için yapılan yatırım maliyetinin ise 50000\$ olacağı hesaplanmıştır. Bu veriler, kaplama hattından 5 l/varil çıkış içindir ve bir yıllık üretim hattı 13200 varildir. Maliyet harcamaları yıllık 25200\$ olarak 5 yılda %14 ile amorti edilebilmektedir. Eklenen kimyasal madde ve işletme maliyetleri ise 44100\$ dır. Toplam olarak yıllık maliyet 69300\$ olacaktır. Elektrokimyasal reaktör sisteminin yıllık maliyeti ise 50050\$ olarak hesaplanmıştır. Bu yöntem ile diğeri karşılaştırıldığında yıllık 20000\$ tasarruf sağlanacağı görülmektedir. Bir elektrokimyasal reaktör sistemi ile orta ölçekli bir tesiste kadmiyumun %98 nin geri kazanıldığı ve siyanürün %93'nün giderildiği saptanmıştır (Vachon et. al., 1986).

Karbon, bakır, paslanmaz ve normal çelik ile 60-82°C sıcaklık aralığında yüksek siyanür derişimlerinde (>100 mg/l) yapılan arıtma çalışmaları klorlama yönteminden daha ekonomik görünmektedir. Elektrokimyasal yöntem ile 100 mg/l CN⁻'e kadar işlem gören atıksu daha sonra klorlanabilmektedir (Zabban and Helwick, 1980).

Bir çalışmada da kompleks [Cu(CN)₂]²⁻ ve [Zn(CN)₄]²⁻ iyonları elektrokimyasal yükseltgeme ile anotta siyanat iyonlarına dönüştürülmüştür.



Anotta oluşturulan siyanat^α iyonları yavaş bir şekilde hidroliz olurken aynı zamanda yükseltgenmektedir. Aynı anda anotta aşağıdaki tepkime de oluşmaktadır:



Klorürün Cl_2 'a yükseltgenmesi anodun oksijen tarafından pasifleştirilmesi nedeniyle görece olarak yavaş yürümektedir.

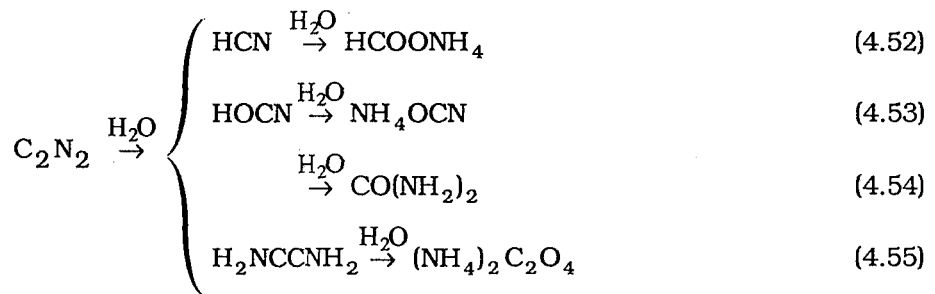
Enerji tüketiminin siyanür derişimine bağı olduğu belirtilerek 300-500 mg/l CN^- için 17-50 KWh/m³, 1000-1500 mg/l CN^- için ise 2-4 KWh/m³ tüketim olduğu belirtilmiştir. Bununla birlikte daha düşük derişimdeki çözeltilerin enerji tüketimi tuz eklenerek 2-4 KWh/m³ e düşürülebilmektedir (Daubaras, 1981).

Üçüncül su arıtımı için düşük maliyette sağlanabilen bir elektrokimyasal hücre olan damlamalı reaktörde siyanür giderimi yanında metal geri kazanımı da mümkün olmaktadır.

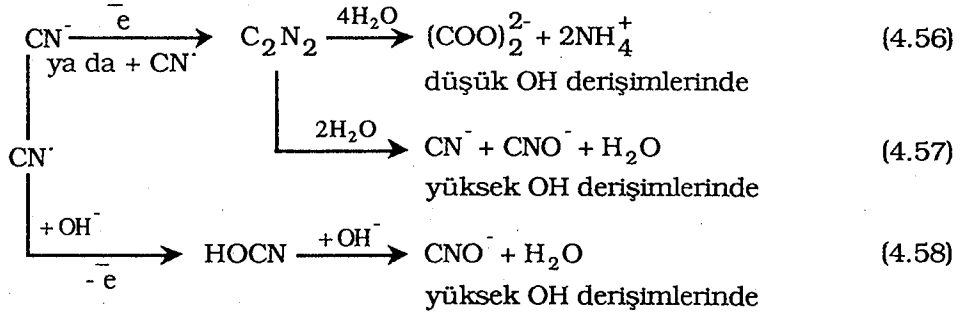
Ehdaie ve arkadaşlarının çalıştığı iki kutuplu damlamalı reaktör cam ya da plastik kolondan grafit raschig halkalar ile yarı düzensiz şekilde dizilmiş tabakalardan dolgulu biçimde oluşmuştur.

Bousoulengas'e göre çözelti reaktör içine püskürtüldüğünde tabakalar üzerinden ince bir film şeklinde akmaktadır. Reaktöre gerilim uygulandığında çözeltideki ohmik düşüşten dolayı kolonun her bir tabakasinda iki kutupluluk oluşmakta, herbir birim bir elektrokimyasal hücre olarak davranmaktadır. Boşluk hacminin görece olarak büyük olmasından dolayı, gaz çıkışı kolay olmakta, hücre hem bir elektrokimyasal reaktör ve hem de bir sorpsiyon kulesi olarak kullanılmaktadır (El-Ghaoui et. al., 1981).

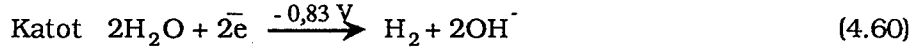
Bu çalışmada doğrudan elektrokimyasal yükseltgeme için aşağıdaki mekanizma önerilmektedir (Plane and Hester, 1965).



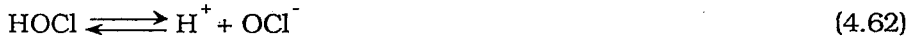
Hidroksit iyonu varlığında ise şu tepkimeler gerçekleşmektedir (Arıkado and Iwakura, 1976).



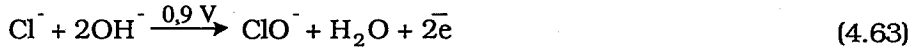
Deneysel çalışmalarda destek elektrolit olarak NaCl kullanıldığında farklı pH'larda gerçekleşebilecek tepkimeler verilmiştir:



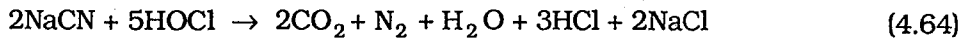
Hipoklorit, elektrolit çözeltisinde oluşmaktadır.



Kuvvetli bazik koşullarda, anodik tepkime olan hidroliz yeterli hızda gerçekleşmektedir (Kuhn, 1972).



Sonuçta her iki ortamda da aşağıdaki tepkimenin gerçekleştiği düşünülmektedir.



300 ppm CN içeren NaCN çözeltisi, farklı pH'larda (10 ve 13) ve 0,135 M NaCl derişiminde kesikli olarak çalışılmış ve dolaylı oksidasyonun daha etkin olduğu, pH'ın artmasıyla tepkime hızının arttığı gözlenmiştir.

Daha büyük boyuttaki bir reaktörde, aynı derişimde NaCN ve NaCl içeren çözelti kullanılarak kolonun tabaka sayısı, elektrolit akış hızı ve uygulanan gerilim değiştirilerek giderim ve kütle aktarımına olan etkileri incelenmiştir (El-Ghaoui, et. al., 1982).

Aynı reaktörde siyanürün bozunması ve bakır, kadmiyum, nikel, çinko ve kurşunun birlikte toplanması, hem basit çözeltilerde hem de karışımlarda, 8-49 tabakadan oluşan reaktörde incelenmiştir. Metallerin bir kısmının siyanür

kompleksleri oluşturmaları nedeniyle spesifik kimyasal etkileri gözlenmektedir. Bakır, nikel ve kadmiyum en azından başlangıçta CN^- bozunmasını hızlandırmaktadır.

Genelde katyonların (Cu, Ni, Zn, Pb, Cd) karışım halinde olduğu ortamda CN^- bozunmasının, tek katyonun bulunduğu ortama göre daha hızlı olduğu, tek katyonlu ortamda ise metal toplanma hızının daha büyük olduğu belirtilmektedir (El-Ghaoui and Jansson, 1982).

Küçük çelik parçalarından oluşturulan elektrotlarla basit bir elektroliz tekniği uygulanan bir çalışmada ise elektroliz öncesi çeşitli yüzdelerde sodyum klorür ilavesi yapılarak, düşük akımda karıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir.

Bu proste elektrokimyasal tepkime sonucunda anotta klor gazı ve oksijen çıkışı yanında Fe^{2+} iyonları oluşmaktadır. CN^- önce siyanata daha sonra da klor ve oksijen ile CO_2 ve N_2 'a dönüşmektedir. Ayrıca CN radikali mavi renkli ferrosiyanür çökeleği de oluşturmaktadır (Veeraraghavan and Dambal, 1981).

Yapılan bir çalışmada da siyanür içeren atıksu, Ag/Tha/amide elektrot ile işlem görürken, CN^- 'ü yükseltmek için atıksuya H_2O_2 çözeltisi ilave edilmiş ve elektrot gerilimi CN^- 'ün derişimine karşılık gelecek şekilde ayarlanmıştır. Derişim gerilimi ve CN^- içeren atıksuda ölçülen gerilim arasındaki fark CN^- derişiminin bir ölçüsüdür. Bu yöntem CN^- derişimleri 0,1 ile 120 mg/l arasında olduğu zaman uygulanabilmektedir. Gerilim, CN^- derişimlerinin logaritması ile doğru orantılıdır (Goedecke et. al., 1980).

Başka bir çalışmada, elektrokaplama atıksuyu arıtımı ve ağır metal geri kazanımı için iki proses ortaya konmuştur. Birinci proste raschig halkalarından oluşturulan damlamalı reaktör kullanılmıştır. Üst kısımdan gaz çıkışı sağlanmaktadır. Bu proses Pb, Cd, Cu, Zn ya da Ag'ün gerikazanımı ve aynı zamanda CN^- ve NO_3^- 'in yükseltgenerek uzaklaştırılmasında kullanılmaktadır. Diğer proses bir konvanşiyonel hücreden oluşmakta ve yalnız ya da damlamalı reaktör ile birlikte Cd, Cu, Ni, Fe - Ni alaşımı, Au ya da Ag'nın fotoğraf banyoları çözeltilerinden geri kazanımı için kullanılabilir (Silman, 1982).

Bir başka çalışmada da, düşük elektrik iletkenliği olan su ile seyreltilmiş NaCl çözeltilerinde CN^- ve NO_2^- nin yükseltgeme ile giderimi için bir elektrolitik düzenek geliştirilmiştir. Bu düzenek, sabit bir anot ve sabit bir katot arasında dönen yalıtılmış elektrotlardan oluşmuştur. Bir optimum dönme hızı, anotta sağlanan Cl^- ve ClO^- ile yükseltgeme işlemi yürütmekte ve katotta oksijenin (O) indirgenmesiyle H_2O_2 oluşturulmaktadır. Böylece 0,5 g/l CN^- ve 10 g/l NaCl içeren bir çözeltide 1 kg CN^-

giderimi için 10,1 KWh, 1,2 g/l NO_2^- ve 10 g/l NaCl içeren bir çözeltide pH=6,5 da, 1 kg NO_2^- için ise 7,2 KWh enerji tüketilmektedir (Ruml et. al., 1979).

Elektrokaplama durulama suyundan metal iyonları, granül grafitten oluşan yatakta, elektroliz yoluyla etkili olarak uzaklaştırılmıştır. Anodik ve katodik bölgeler bir poröz membran ile ayrılmış ve katodik bölgenin çapı, sıvı akımın kütle aktarım koşullarını ve dolayısıyla akım verimini artıracak yönde artırılmıştır (Müller, 1983).

Başka bir çalışmada atık akımlardan (özellikle Au ve Ag madeni ekstraksiyonu) CN^- rejenerasyonu için, SCN^- nin kontrollü elektrooksidasyonu kullanılmıştır. Bu yöntemde oluşturulan SO_4^{2-} ile SCN^- 'nin tamamen yükseltgenmesi sağlanır ve geride CN^- bırakılır. Yaklaşık 100 dk da CN^- düzeyi, maximum 0,27 kg CN^- /kg SCN^- değerine ulaşır. Geri kazanılan CN^- 'ün bu değerinin enerji fiyatlarını karşıladığı düşünülmektedir (Byerley and Enns, 1984).

Akışkanlaştırılmış yataktan oluşan bir hücrede NaCl, eklenerek yapılan çalışmalarda ise hipoklorit oluşmasıyla sağlanan dolaylı yükseltgeme yanında anodik oksidasyonunda gerçekleştiği görülmüştür. NaCl, pH= 10,5-11 de daha etkilidir ve optimum miktarı $\sim 60 \text{ g/dm}^3$ tür (Yasuda and Yasukawa, 1984).

Hareketli parçacık elektroda, grafit parçacıkların eklenmesiyle toplam etkin anodik alan ve bileşiklerin difüzyon hızı artırılmıştır. Sonuçta işlem zamanı ve enerji tüketimi düşmektedir (Yasuda and Yasukawa, 1984).

Düşük derişimlerdeki ($< 0,1 \text{ g/dm}^3$) CN^- atıkları grafit parçacıklardan oluşan akışkanlaştırılmış yatakta düşük akım yoğunluğunda muamele edilmiştir. Grafit parçacıkların kullanımı toplam etkili alanı araştırılmıştır. Dolayısıyla akım verimi yükselirken, işlem süresi ve enerji tüketimi düşme göstermiştir ((Yasuda and Saburo, 1986).

Grafit tozu ya da aktiveleştirilmiş karbon ile oluşturulan süspansiyon elektrotlar ile siyanür içeren endüstriyel atıksu muamelesi sonucu siyanatlar oluşmakta ve bunu asit hidroliz basamağı izlemektedir (Ochmann and Kastening, 1989).

Çizilge 4.5 Farklı anot materyallerinin, 5 A/dm² akım yoğunluğu ve 50°C sıcaklıkta akım verimi ve korozyon değerlerinin karşılaştırılması

Anot materyali	Akım verimi, %	Korozyon değeri, M	Belirtiler
Elektrokaplamalı PbO ₂	Ca 100	0,25 - 1,0	
Pt	44	0,79 - 1,0	
304 paslanmaz çelik	34	0,84 - 1,0	aşınır
Pb	ca 90	0,46 - 0,73	aşınır
Grafit	ca 80	0,23 - 0,46	aşınır

Çizilge 4.6 Farklı sıcaklık, akım ve işlem sürelerinde dolgu yatak elektrokimyasal hücrenin ortalama güç tüketimi.

Elektrolit sıcaklığı, °C	Hücre akımı A	İşlem süresi st	Başlangıç CN ⁻ derişimi (mol/l)	Son CN ⁻ derişimi (mol/l)	Kwh/gCN ⁻
81	0,5	140	2,5	0,004	0,0025
81	1,0	124	2,5	0,01	0,006
81	2,0	75	3,0	0,01	0,0106
95	4,0	54	2,0	0,0003	0,050
95	4,0	49	3,7	0,27	0,025

5. DENEYSEL ÇALIŞMA

5.1. Yöntem

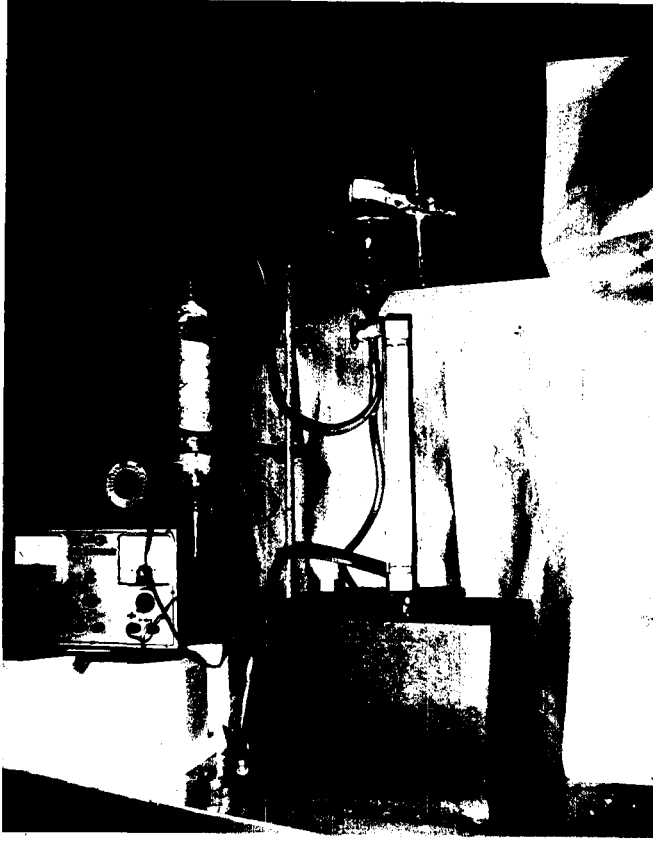
Sürekli ve kesikli-geridöngülü sistemde gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda kullanılan reaktör, çapları 4 cm ve 2,5 cm olan iç içe iki pyrex cam kolondan oluşmaktadır. Kolon içi, grafit Raschig halkaları ile dört halka bir tabaka oluşturacak şekilde doldurulmuştur. Tabakalar birbirinden yalıtkan tüller ile ayrılmıştır. Kolonun alt ve üst kısımlarından birer grafit çubukla sağlanan anot ve katot bağlantıları arasındaki dolgu boyu 22,5 cm'dir ve 32 tabakadan oluşmaktadır. Reaktöre bir gerilim uygulandığında herbir halkanın bir ucu anot, diğer ucu da katot olarak davranır. Böylece oluşan iki kutuplu elektrokimyasal reaktörde siyanürün anotta elektrokimyasal yükseltgeme ile zehirli olmayan bileşenlere dönüşümü sağlanmıştır. Bu yöntem ile ilgili bilgi 4. bölümde ayrıntılı olarak verilmiştir. Elektrokimyasal yöntemlerde kullanılan diğer reaktör tipleri ve çalışma ilkeleri ise Koparal (1991) kaynağında bulunmaktadır.

Potasyum siyanür ile hazırlanan çözeltiler ve bir metal kaplama tesisi durulama suyunda anodik yükseltgeme (doğrudan ya da dolaylı oksidasyon) ile siyanür (CN^-) giderilebilirliği araştırılmıştır. Yapılan deneylerde başlangıç siyanür derişimi, destek elektrolit (NaCl) derişimi, ortamın pH'ı, uygulanan gerilim, çözelti akış hızı ve sıcaklık değiştirilerek siyanür (CN^-) giderimine etkileri incelenmiştir.

Bu çalışmada, siyanürün uzaklaştırılması aynı reaktörde iki farklı prosesle gerçekleştirilmiştir. İlkinde, siyanürün atıksudan sürekli olarak verimli ve ekonomik bir şekilde uzaklaştırılması amaç edilirken, ikinci proseste kesikli-geridöngülü bir işlemle kütle aktarım koşulları araştırılmıştır.

5.1.1 İki kutuplu damlamalı reaktörde sürekli çalışma

Sürekli çalışmada akış, reaktörden daha yüksekte bulunan bir rezervuardan (depodan) çözeltinin yerçekimiyle akması sonucu sağlanmış ve hız, bir vana ile ayarlanarak rotametre ile ölçülmüştür. İstenen akış hızı sağlandığında reaktöre gerilim uygulanarak dengeye ulaşması beklenmiş, belirli sürelerde toplanan işlem görmüş suda, bekletilmeden CN^- tayini yapılmıştır. Deney düzeneği Şekil 5.1 de verilmiştir.



Şekil 5.1 Sürekli sistem için deney düzeneği.

5.1.2 İki kutuplu damlamalı reaktörde kesikli-geridöngülü çalışma

Bu çalışmada 500 ml'lik bir stok kabı reaktörün alt kısmına yerleştirilerek buradan alınan çözeltinin pompa ile belli bir akış hızında reaktörün üst kısmına gönderilmesi sağlanmıştır. Reaktörden çıkan çözelti yerçekimiyle stok kabına boşaltılmıştır. Reaktörde hidrodinamik denge sağlanması için çözelti belirli bir süre reaktörden geçirildikten sonra gerilim uygulanarak çalışma başlatılmıştır. Çalışma süresi ve stok kabı hacmi yapılan ön denemeler sonucunda saptanmıştır. Elektroliz başladıktan sonra her yarım saatte örnek alınarak CN^- tayini yapılmış ve toplam çalışma süresi ortalama 4 saat olmuştur. Yaklaşık % 90 giderimin gözlendiği deneylerde bu süre % 100 giderime ulaşmaya dek uzatılmıştır. Sıcaklığın etkisi de kesikli-geridöngülü sistemde incelenmiştir. Bu çalışmalar için deney düzeneği Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'de verilmiştir.

Şekil 5.2 Kesikli-geridöngülü sistem için deney düzeneği.

Şekil 5.3 Kesikli-geridöngülü sistemde sıcaklığın etkisinin incelendiği deney düzeneği.

5.1.3 kullanılan yardımcı araçlar ve kimyasal maddeler

Çalışmalarda 220 V girişli ve 0-500 volt ile 0-50 volt çıkışlı, maksimum 100 mA doğru akım veren Daym marka güç kaynağı, reaktörden geçen akım ölçmek için ise Beckman T 90 marka, dijital ampmetre kullanılmıştır. Çözelti akış hızları rota 870909-3601 rotametre ile ölçülmüştür. Kesikli sistemde çözelti aktarımı MULTIFIX constant, Type MC 1000 PEC, 220 V, ~0 ... 6500 dev/dk pompa kullanılarak sağlanmıştır. pH ölçümleri için ise CONSORT K720 pH metre kullanılmıştır.

Kesikli sistemde gerçekleştirilen farklı sıcaklıklardaki çalışmalar termostatlı ısıtıcı kullanılarak istenen sıcaklığın sağlandığı su banyosunda gerçekleştirilmiştir. Reaktör ve su banyosu ısı kayıplarını önlemek üzere cam yünü ile yalıtılmıştır.

Çalışılan çözeltiler KCN'un sulu çözeltileri şeklinde hazırlanmış ve destek elektrolit olarak NaCl, pH ayarlamak için de CH₃COOH ve NaOH kullanılmıştır.

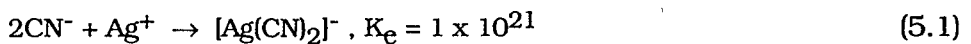
Elektrokimyasal işleminden sonra çözeltide kalan CN⁻, Liebig yöntemi ile tayin edilmiştir.

5.1.4 CN⁻ tayin yöntemi (Liebig yöntemi)

Özellikle atıksudaki siyanür derişimini saptamak amacıyla üç değişik yöntem ileri sürülmüştür. Bunlar; 1 mg/l üzerindeki siyanür derişimi için titrasyon yöntemi, 20 mg/l den daha düşük siyanür derişimleri için kolorimetrik yöntem ve 0,05-10 mg/l arasındaki derişim değerleri için iyon seçici elektrot yöntemidir (Standart Methods, 1985).

Yapılan çalışmalarda çok yüksek siyanür derişimleri (300, 1000, 1500 mg/l) ile çalışıldığından CN⁻ tayininde titrimetrik yöntem kullanılmıştır.

Ayarlı AgNO₃ çözeltisi ile siyanür tayininin (Liebig-Deniges metodu) esasını, gümüşün siyanür ile kararlı bir kompleks vermesi oluşturmaktadır. Bu kompleksin oluşmasını sülfür hariç klorür, bromür, iyodür gibi iyonlar engelleyememektedir.



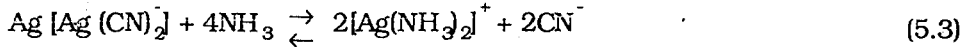
Eşdeğer noktada aşağıdaki tepkime gerçekleşmekte ve bir bulanıklık oluşmaktadır. Böylece titrasyonun dönüm noktası belirlenmektedir.



Dönüm noktasına yaklaştıkça istenilmeyen tepkimeler olabilmekte ve dönüm noktasına ulaşılmadan AgCN çökmeye başlamaktadır. Bu erken çökmeye engel olmak için ortama bir miktar amonyak (NH₃) ve potasyum iyodür ilave edilmektedir (Gündüz, 1975).

Deniges, potasyum iyodür indikatörü kullanarak amonyaklı ortamda titrasyon yapılabileceğini belirterek 100 cc titrasyon çözeltisi için 1 veya 2 cc 6N amonyak ve 0,2 g potasyum iyodür (KI) kullanıldığını açıklamıştır (Ayça, 1970).

Gümüş siyanür kompleksi [Ag(CN)₂]⁻, AgI ve [Ag(NH₃)₂]⁺ dan daha kararlı olduğundan ortamdaki siyanür iyonu derişimi aşırı miktarda düşünceye kadar siyanür kompleksi oluşmaktadır. Eşdeğer nokta yakınında amonyak derişimi aşırı olursa;



tepkimesi oluşmakta ve çökme olmamaktadır. Amonyak (NH₃) aynı zamanda ortamdaki Ag⁺ iyonunun derişimini düşürerek, AgI'ün de eşdeğer noktadan önce oluşmasına engel olmaktadır. Dönüm noktasında Ag⁺ derişiminin yükselmesiyle oluşan AgI çökeleği ise amonyakta çözünmemektedir. AgI çökeleğinin meydana gelişini eşdeğer noktayı göstermekte ve açık sarı renkten yeşilimsi sarı renge dönüşme gözlenmektedir (Gündüz, 1975).

Deneylerde CN⁻ tayini için 0,2 g potasyum iyodür ve % 25 lik amonyak çözeltisinden 0,9 ml kullanılarak 0,005 M AgNO₃ ile titrasyon yapılmıştır.

Titrasyon sonucunda elde edilen AgNO₃ sarfiyatından, ortamda mevcut siyanür (CN⁻) miktarı aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$X = S \times \text{CN} \times M \quad (5.4)$$

X = tayin edilen siyanür (CN⁻) miktarı (g)

S = ayarlı çözelti (AgNO₃) sarfiyatı (ml)

CN = ayarlı çözelti derişimi (N)

M = tayin edilen CN⁻ ' ün millesdeğer ağırlığı

5.1.5 Sürekli çalışmada verim hesaplamaları

Sürekli çalışma için örnek verim hesaplamaları Ek-C.1, C.2, C.3 ve C.4'de verilmiştir.

1. Yüzde giderim

$$\% \text{ Giderim} = \frac{(C_o - C)}{C_o} \times 100 \quad (5.5)$$

C_o : Başlangıç derişimi (mg/l)

C : Son derişim (mg/l)

2. Yüzde akım verimi

$$\% \text{ Akım verimi} = \frac{\text{Deneysel olarak giderilmesi gereken miktar (gmol)}}{\text{Teorik olarak giderilmesi gereken miktar (gmol)}} \times 100 \quad (5.7)$$

1F = 96500 A x sn = 1 eşdeğer gr madde

$$\text{Teorik olarak giderilmesi gereken miktar (gmol)} = 1 \text{ eşdeğer-gr CN}^- \quad (5.7)$$

$$\text{Deneysel olarak giderilmesi gereken miktar (gmol)} = \frac{(C_o - C)}{26} \times \frac{Q}{3600} \times 96500}{I} \quad (5.8)$$

Q : Çözelti akış hızı (m³/h)

I : Reaktörden geçen akım (Amper)

3. Hacim - zaman verimi

$$\text{Hacim zaman verimi (kg/m}^3 \text{ h)} = \frac{(C_o - C) \times Q}{V_R \times 10^3} \quad (5.9)$$

V_R : Reaktör hacmi (m³)

4. Enerji tüketimi

$$\text{Enerji tüketimi, a (KWh/g)} = \frac{I \times V}{(C_o - C) \times Q \times 10^3} \quad (5.10)$$

$$\text{Enerji tüketimi, b (KWh/m}^3 \text{)} = \frac{I \times V}{Q \times 10^3} \quad (5.11)$$

V : Reaktördeki toplam gerilim (Volt)

5.1.6 Kesikli - geridöngülü çalışmada verim hesaplamaları

Kesikli-geridöngülü çalışma için örnek verim hesaplamaları Ek-D.1, D.2, D.3 ve D.4'de verilmiştir.

1. Yüzde giderim eşitliği, 5.1.5 bölümünde verilmiştir.

2. Yüzde akım verimi

$$\% \text{ Akım verimi} = \frac{\text{Deneyssel olarak giderilmesi gereken miktar (gmol)}}{\text{Teorik olarak giderilmesi gereken miktar (gmol)}} \times 100$$

$$\text{Deneyssel olarak giderilmesi gereken miktar (gmol)} = \frac{(C_0 - C)}{26} \times V_{\phi} \times 10^{-3} \quad (5.12)$$

Teorik olarak $1F = 96500 \text{ A sn}$ $\frac{1}{2} \text{ gmol CN}^-$ giderebiliyor.

$$\text{Teorik olarak giderilmesi gereken miktar (gmol)} = \frac{I \times t \times 3600 \times \frac{1}{2}}{96500} \quad (5.13)$$

V_{ϕ} : toplam çözelti hacmi (lt)

t: elektroliz süresi (h)

3. Hacim - zaman verimi

$$\text{Hacim zaman verimi (kg/m}^3 \text{ h)} = \frac{(C_0 - C) \times V_{\phi} \times 10^{-6}}{t \times V_R} \quad (5.14)$$

4. Enerji tüketimi

$$\text{Enerji tüketimi (KWh/g)} = \frac{I \times V \times t \times 10^{-3}}{M_D} \quad (5.15)$$

$$(M_D/g) = (C_0 - C) \times V_{\phi} \times 10^{-3}$$

M_D : deneyssel olarak giderilen miktar (g)

5. Kütle aktarım katsayısı

Kütle aktarım katsayısı; $\ln(C_0/C)$ değeri, zamana (t, dakika) karşı grafiğe geçirilerek elde edilen eğrinin eğiminden hesaplanmıştır (Abdo and Rasheed, 1987).

$$-V \times \frac{dc}{dt} = K \times A \times C \quad (5.16)$$

$$\ln \frac{C_0}{C} = \frac{K \times A}{V} \times t \quad (5.17)$$

$$\text{Eğri eğimi} = \frac{K \times A}{V} \quad (5.18)$$

K: Kütle aktarım katsayısı (cm/dk)

A: Reaktördeki toplam anot alanı (cm²)

V: İşlem gören toplam çözelti hacmi (cm³)

t: İşlem süresi (dk)

5.2. Sürekli Sistemde Yapılan Deneysel Çalışmalar

Üç değişik KCN başlangıç derişiminde (300, 1000, 1500 mg/l) üç değişik NaCl derişimi ile (NaCl süz, 0,135 M, 0,270 M) farklı pH'lar (7, ~10,13) da hazırlanan çözeltiler ile çalışılmıştır. Deneyslerde çözeltili akış hızı ve uygulanan gerilimin de giderim üzerindeki etkileri incelenmiştir.

5.2.1 pH etkisi incelenen deneysel çalışmalar ve sonuçları

300 mg/l CN⁻ ve 0,135 M NaCl içeren çözeltiler ile farklı pH'larda (7,~10,13) yapılan çalışmaların sonuçları Çizelge 5.1, 5.2, 5.3 de ve uygulanan gerilim ile % giderimin değişimi Şekil 5.4 de, % akım veriminin değişimi Şekil 5.5'de, hacim zaman veriminin değişimi Şekil 5.6'da, enerji tüketiminin değişimi ise Şekil 5.7'de verilmiştir.

1000 ve 1500 mg/l CN⁻ 'ün 0,135 M NaCl derişiminde farklı pH'lardaki (7, ~10) sonuçları da, Çizelge 5.4, 5.5, 5.6, 5.7 de, uygulanan gerilim ile % giderimin dğişimi Şekil 5.8, 5.12 de, % akım veriminin değişimi şekil 5.9, 5.13 de, hacim zaman veriminin değişimi şekil 5.10, 5.14 de, enerji tüketiminin değişimi ise şekil 5.11, 5.15 de verilmiştir.

5.2.2 Başlangıç siyanür derişimi etkisi incelenen deneysel çalışmalar ve sonuçları

Farklı derişimlerde CN⁻ (300, 1000, 1500 mg/l) ve 0,135 M NaCl ile yapılan deney sonuçları Çizelge 5.1, 5.4, 5.6 da, uygulanan gerilim ile % giderimin değişimi Şekil 5.16 da, % akım veriminin değişimi Şekil 5.17 de, hacim - zaman veriminin değişimi Şekil 5.18 de, enerji tüketiminin değişimi ise Şekil 5.19 da verilmiştir. Aynı koşullarda orijinal pH (≅ 10) daki çalışmaların sonuçları Çizelge 5.2, 5.5, 5.7 de, uygulanan gerilim ile % giderim değişimi Şekil 5.20 de, % akım veriminin değişimi Şekil 5.21 de, hacim-zaman veriminin değişimi Şekil 5.22 de enerji tüketiminin değişimi ise Şekil 5.23 de gösterilmiştir.

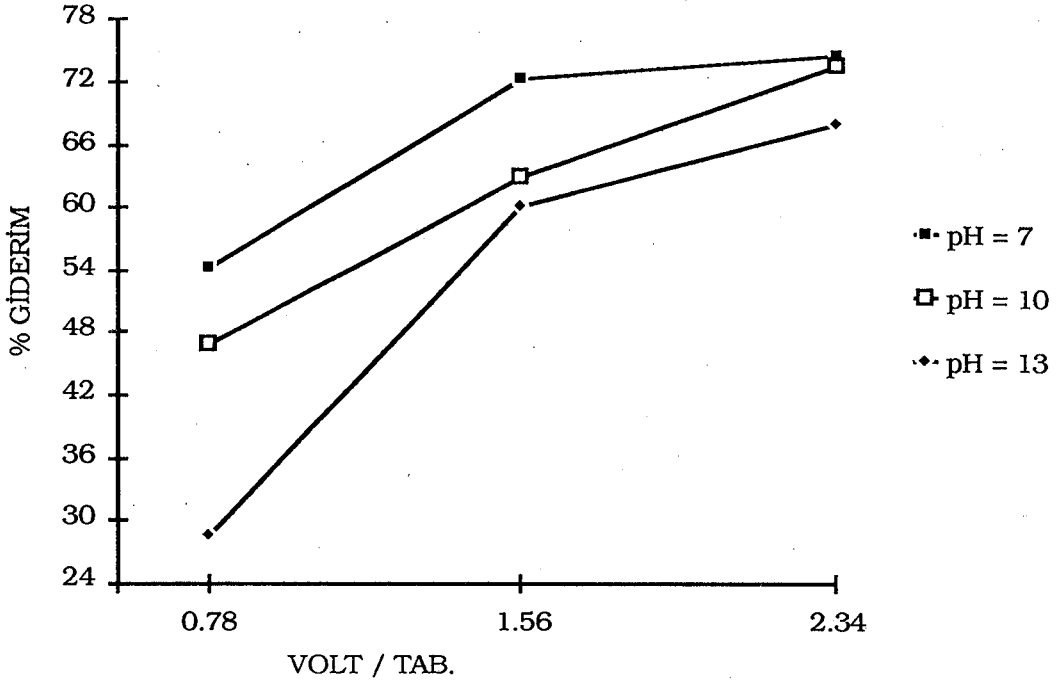
Çizelge 5.1 300 mg/l derişimdeki CN⁻ nin, 0,135 M NaCl derişimindeki deneysel sonuçları (Ortam pH'ı = 7)

	Gerilim (V)	Ger/Tab (V)	Akım (A), x 10 ⁻³	Akım Şiddeti (A/m ²)	Son Derişim (mg/l)	% Giderim	% Akım Verimi	Hac. Zam. Ver. (kg/m ³ h)	Enerji Tük. (kWh/m ³)
1,24 x 10 ⁻⁴ m ³ /h Çöz. Ak. Hız.	25	0,7812	1,45	2,1874	137,8	54,07	2860,1314	0,4184	0,2923
	50	1,5625	2,30	3,4697	83,2	72,27	2410,0973	0,5593	0,9247
	75	2,3437	5,30	7,9954	76,7	74,43	1077,2487	0,5761	3,2056
8 x 10 ⁻⁵ m ³ /h Çöz. Ak. Hız.	25	0,7812	1,25	1,8857	100,1	66,63	2637,9965	0,3327	0,3906
	50	1,5625	2,05	3,0925	81,9	72,70	1754,9843	0,3630	1,2812
	75	2,3437	4,80	7,2411	58,5	80,50	829,9412	0,4019	4,5000
4,8 x 10 ⁻⁵ m ³ /h Çöz. Ak. Hız.	25	0,7812	1,15	1,7348	72,8	75,75	1955,3890	0,2269	0,5990
	50	1,5625	1,90	2,8662	52,0	82,67	1291,8758	0,2476	1,9792
	75	2,3437	4,45	6,7131	45,5	84,83	566,0443	0,2541	6,9531
2,03 x 10 ⁻⁵ m ³ /h Çöz. Ak. Hız.	25	0,7812	1,05	1,5840	52,0	82,67	988,6438	0,1047	1,2931
	50	1,5625	1,80	2,7154	32,5	89,17	622,0549	0,1129	4,4335
	75	2,3437	4,30	6,4868	26,0	91,33	266,7224	0,1157	15,8867

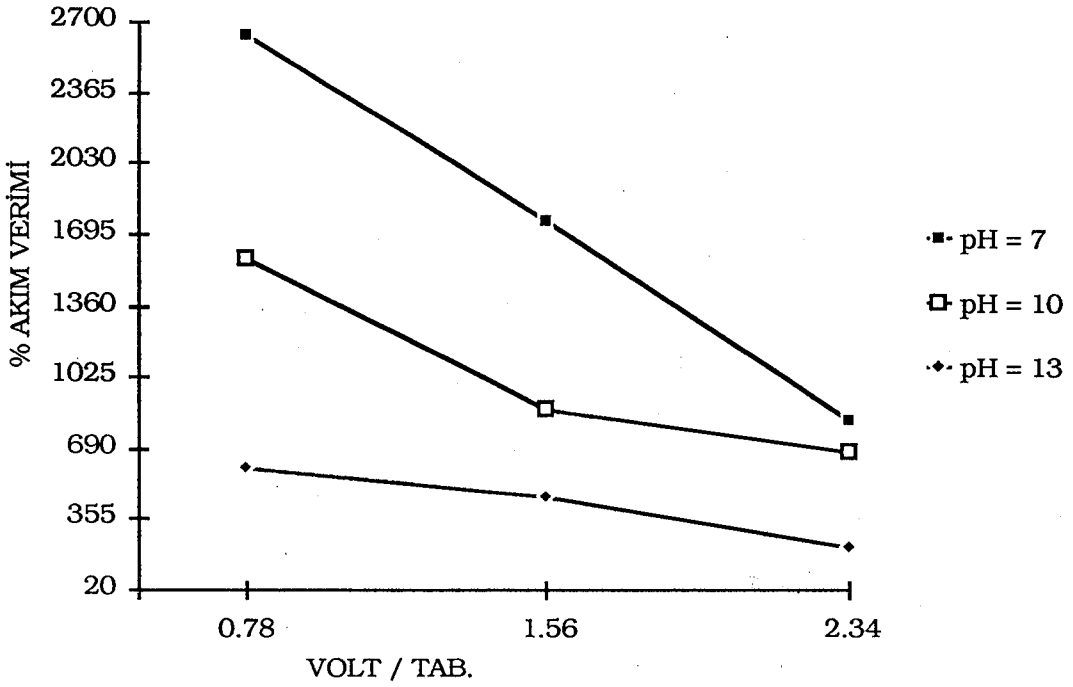
kWh/m³

Çizelge 5.2 300 mg/l derişimdeki CN⁻ nin, 0,135 M NaCl derişimindeki deneysel sonuçları (Orijinal pH \approx 10)

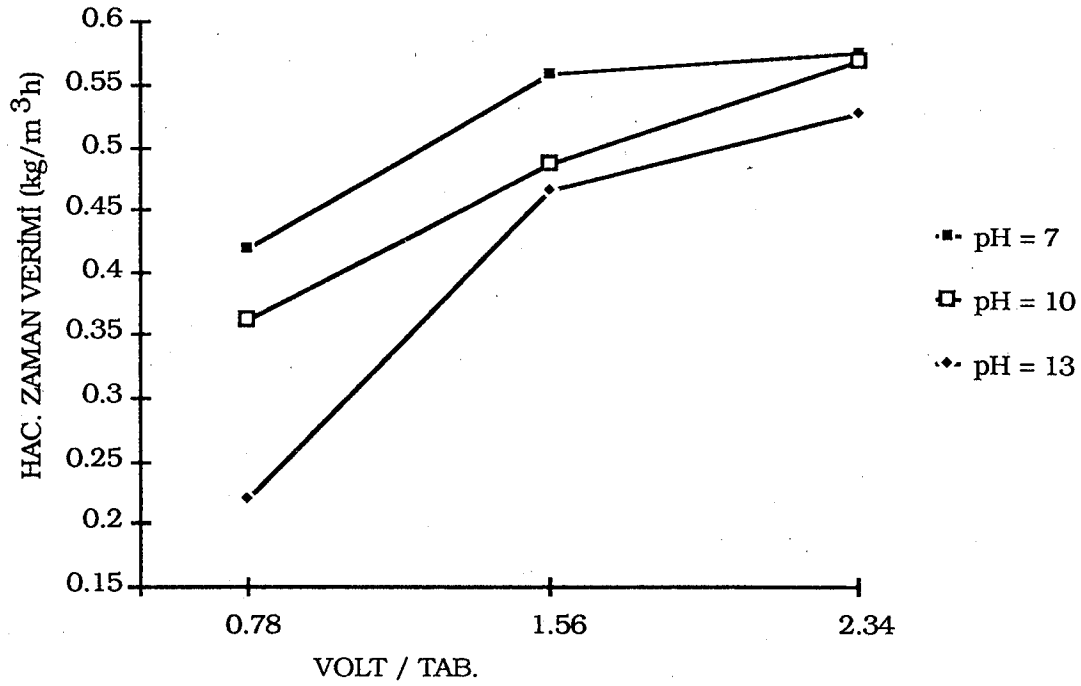
	Gerilim (V)	Ger/Tab (V)	Akım (A), x 10 ⁻³	Akım Şiddeti (A/m ²)	Son Derişim (mg/l)	% Giderim	% Akım Verimi	Hac. Zam. Ver. (kg/m ³ h)	Enerji Tük. (kWh/m ³)
1,24 x 10 ⁻⁴ m ³ /h Çöz. Ak. Hiz.	25	0,7812	1,90	2,8662	159,9	46,70	1885,3313	0,3614	0,3831
	50	1,5625	4,60	6,9394	111,8	62,73	1046,0800	0,4855	1,8548
	75	2,3437	6,50	9,8057	79,3	73,57	868,1447	0,5694	3,9315
8 x 10 ⁻⁵ m ³ /h Çöz. Ak. Hiz.	25	0,7812	1,70	2,5645	136,5	54,50	1586,5007	0,2721	0,5313
	50	1,5625	4,30	6,4868	71,5	76,17	876,5752	0,3803	2,6875
	75	2,3537	6,00	9,0514	55,9	81,37	671,1011	0,4063	5,6250
4,8 x 10 ⁻⁵ m ³ /h Çöz. Ak. Hiz.	25	0,7812	1,55	2,3382	92,3	69,23	1326,2564	0,2074	0,8073
	50	1,5625	3,80	5,7325	46,8	84,40	659,4817	0,2528	3,9583
	75	2,3437	5,50	8,2971	45,5	84,83	457,9813	0,2541	8,5938
2,03 x 10 ⁻⁵ m ³ /h Çöz. Ak. Hiz.	25	0,7812	1,40	2,1120	33,8	88,73	795,8981	0,1124	1,7241
	50	1,5625	3,40	5,1291	39,0	87,00	321,3209	0,1102	8,3744
	75	2,3437	5,10	7,6937	29,9	90,03	221,6827	0,1140	18,8424



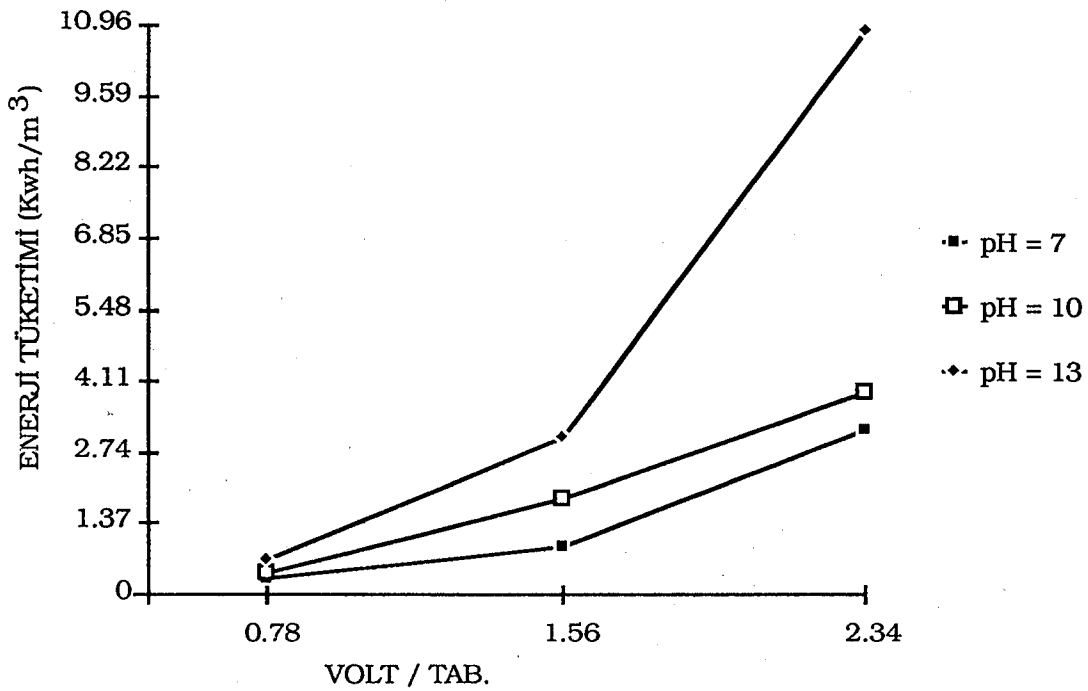
Şekil 5.4 CN⁻ için farklı pH'larda uygulanan gerilim ile % giderimin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).



Şekil 5.5 CN⁻ için farklı pH'larda uygulanan gerilim ile % akım veriminin değişimi (Akış hızı $8 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{h}$).



Şekil 5.6 CN⁻ için farklı pH'larda uygulanan gerilim ile hacim zaman veriminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).



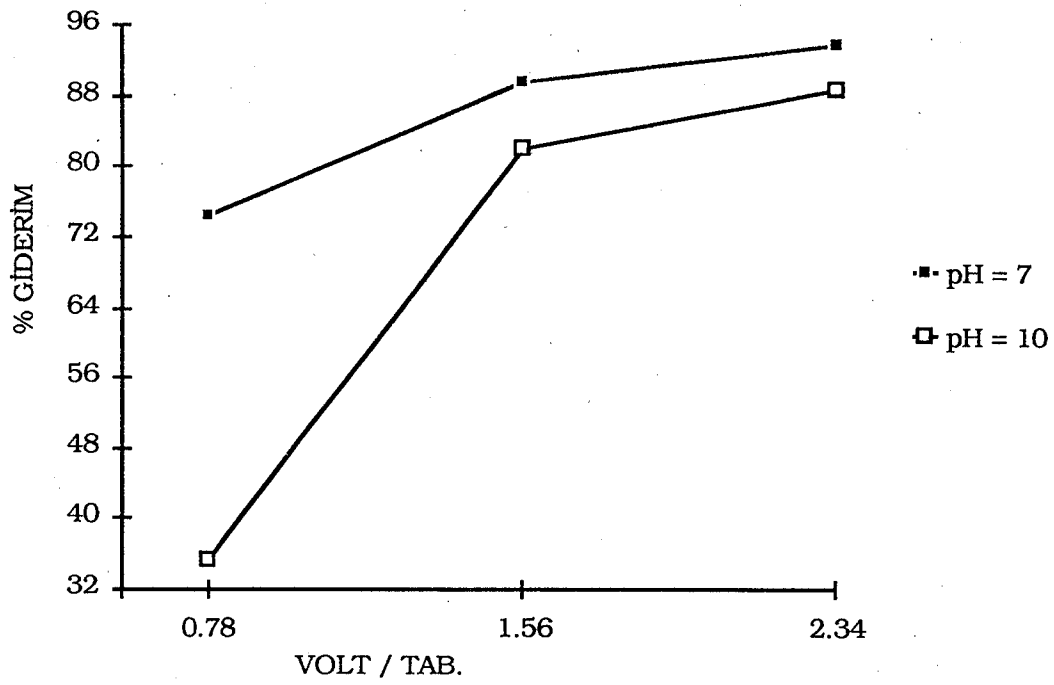
Şekil 5.7 CN⁻ için farklı pH'larda uygulanan gerilim ile enerji tüketiminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).

Çizelge 5.4 1000 mg/l derişimdeki CN⁻ nin, 0,135 M NaCl derişimindeki deneysel sonuçları (Ortam pH'ı = 7)

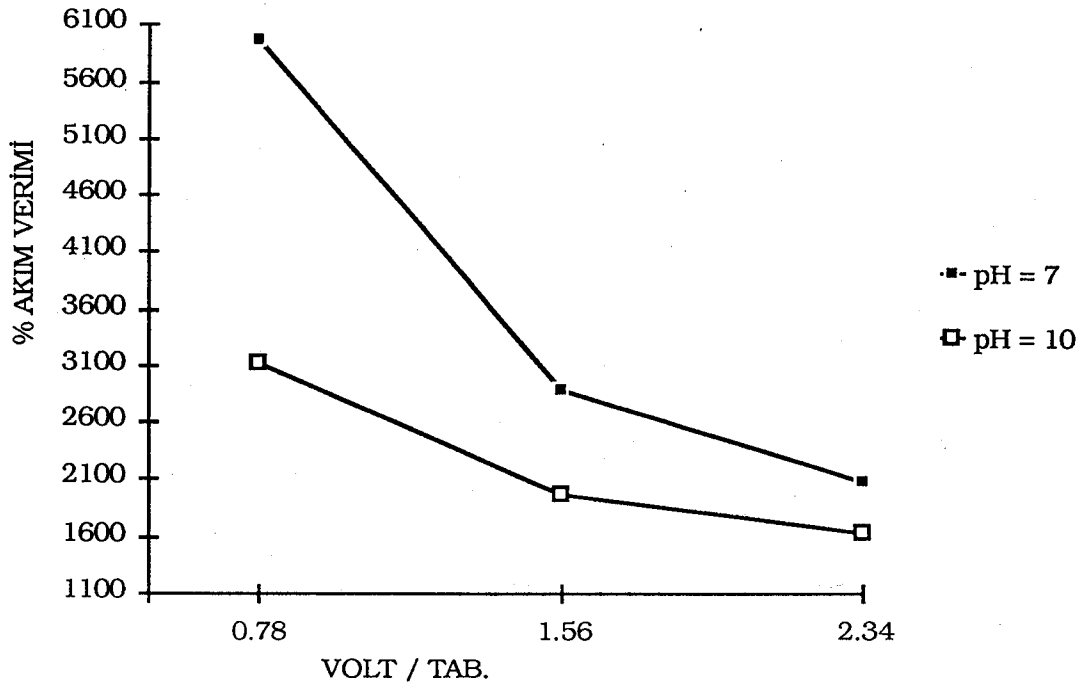
	Gerilim (V)	Ger/Tab (V)	Akım (A), x 10 ⁻³	Akım Şiddeti (A/m ²)	Son Derişim (mg/l)	% Giderim	% Akım Verimi	Hac. Zam. Ver. (kg/m ³ h)	Enerji Tük. (kWh/m ³)
1,24 x 10 ⁻⁴ m ³ /h Çöz. Ak. Hız.	25	0,7812	2,35	3,5451	452,4	54,76	5957,9756	1,4128	0,4738
	50	1,5625	6,20	9,3531	299	70,10	2890,8760	1,8086	2,5000
	75	2,3437	10,50	15,8400	143	85,70	2086,8665	2,2111	6,3508
8 x 10 ⁻⁵ m ³ /h Çöz. Ak. Hız.	25	0,7812	2,10	3,1680	387,4	61,26	4812,0390	1,0197	0,6563
	50	1,5625	5,60	8,4480	179,4	82,06	2417,2130	1,3659	3,5000
	75	2,3437	10,00	15,0857	70,2	92,98	1533,7726	1,5477	9,3750
4,8 x 10 ⁻⁵ m ³ /h Çöz. Ak. Hız.	25	0,7812	1,90	2,8662	257,4	74,26	3868,3346	0,7416	0,9896
	50	1,5625	4,95	7,4674	106,6	89,34	1786,3372	0,8922	5,1563
	75	2,3437	8,70	13,1246	62,4	93,76	1066,6478	0,9364	13,5938
2,03 x 10 ⁻⁵ m ³ /h Çöz. Ak. Hız.	25	0,7812	1,75	2,6400	148,2	85,18	2037,4036	0,3597	2,1552
	50	1,5625	4,20	6,3360	67,6	93,24	929,2455	0,3938	10,3448
	75	2,3437	8,00	12,0686	59,8	94,02	491,9350	0,3971	29,5567

Çizelge 5.5 1000 mg/l derişimdeki CN⁻ nin, 0,135 M NaCl derişimindeki deneysel sonuçları (Orijinal pH = 10)

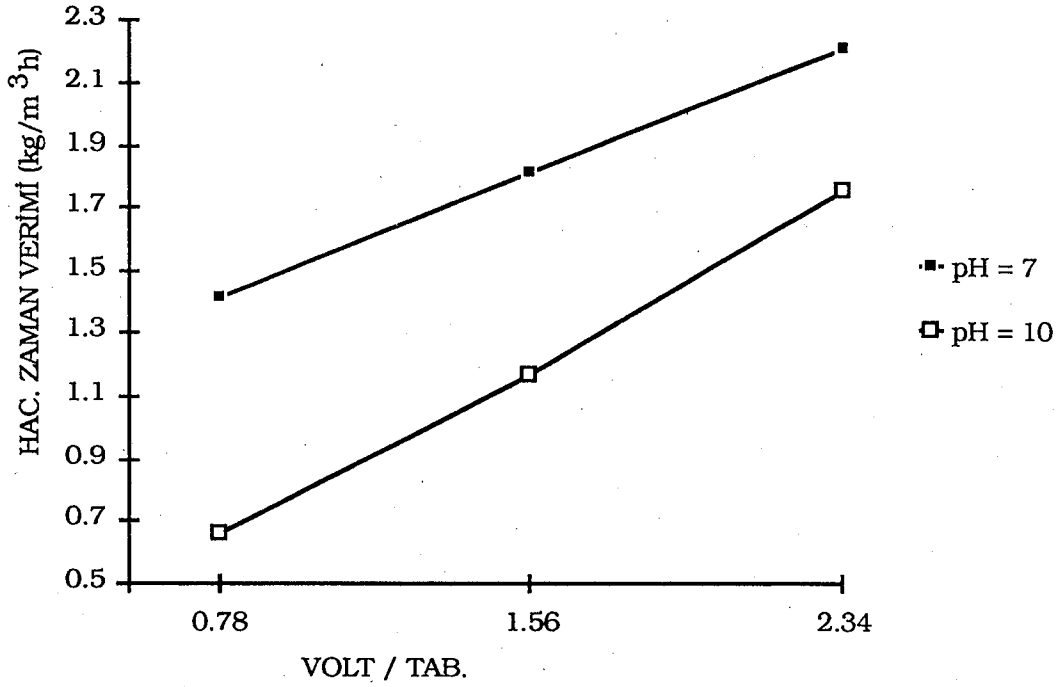
	Gerilim (V)	Ger/Tab (V)	Akım (A), x 10 ⁻³	Akım Şiddeti (A/m ²)	Son Derişim (mg/l)	% Giderim	% Akım Verimi	Hac. Zam. Ver. (kg/m ³ h)	Enerji Tük. (Kwh/m ³)
1,24 x 10 ⁻⁴ m ³ /h Çöz. Ak. Hız.	25	0,7812	2,10	3,1680	743,6	25,64	3121,7769	0,6615	0,4234
	50	1,5625	5,90	8,9006	548,6	45,14	1956,1974	1,1646	2,3790
	75	2,3437	10,70	16,1417	319,8	68,02	1625,3840	1,7549	6,4718
8 x 10 ⁻⁵ m ³ /h Çöz. Ak. Hız.	25	0,7812	1,80	2,7154	707,2	29,28	2683,3048	0,4873	0,5625
	50	1,5625	5,20	7,8446	369,2	63,08	2001,0585	1,0500	3,2500
	75	2,3437	9,50	14,3314	202,8	79,72	1384,2519	1,3270	8,9063
4,8 x 10 ⁻⁵ m ³ /h Çöz. Ak. Hız.	25	0,7812	1,70	2,5645	647,4	35,26	2052,8446	0,3521	0,8854
	50	1,5625	4,60	6,9394	182	81,80	1760,0222	0,8169	4,7917
	75	2,3437	8,00	12,0686	114,4	88,56	1095,6461	0,8844	12,5000
2,03 x 10 ⁻⁵ m ³ /h Çöz. Ak. Hız.	25	0,7812	1,60	2,4137	260	74,00	1935,9281	0,3125	1,9704
	50	1,5625	3,80	5,7325	59,8	94,02	1035,6527	0,3971	9,3596
	75	2,3437	7,00	10,5600	52	94,80	566,8756	0,4004	25,8621



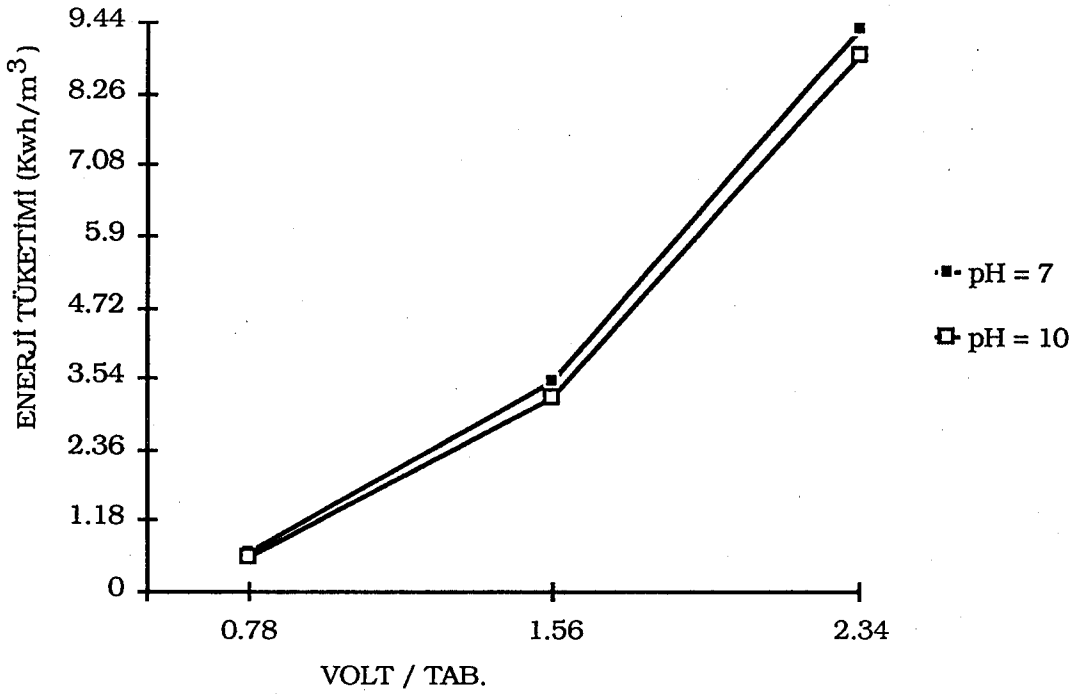
Şekil 5.8 CN⁻ için farklı pH'larda uygulanan gerilim ile % giderim değişimi (Akış hızı $4,8 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{h}$).



Şekil 5.9 CN⁻ için farklı pH'larda uygulanan gerilim ile % akım veriminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).



Şekil 5.10 CN^- için farklı pH'larda uygulanan gerilim ile hacim zaman veriminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).



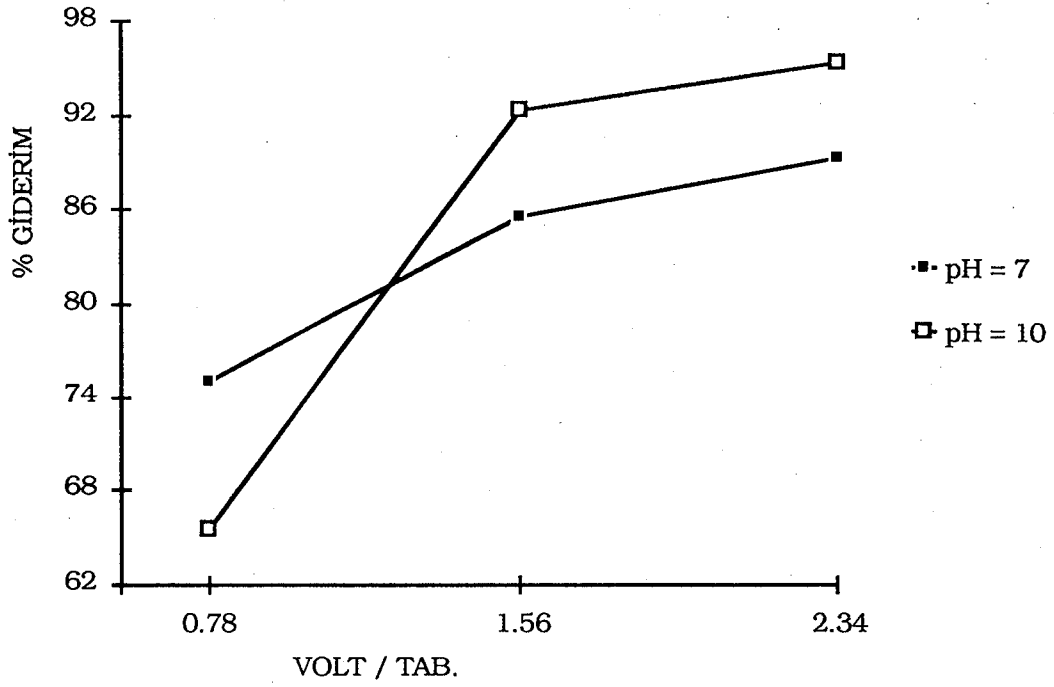
Şekil 5.11 CN^- için farklı pH'larda uygulanan gerilim ile enerji tüketiminin değişimi (Akış hızı $8 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{h}$).

Çizelge 5.7 1500 mg/l derişimdeki CN⁻ nin, 0,135 M NaCl derişimindeki deneysel sonuçları (Orijinal pH = 10)

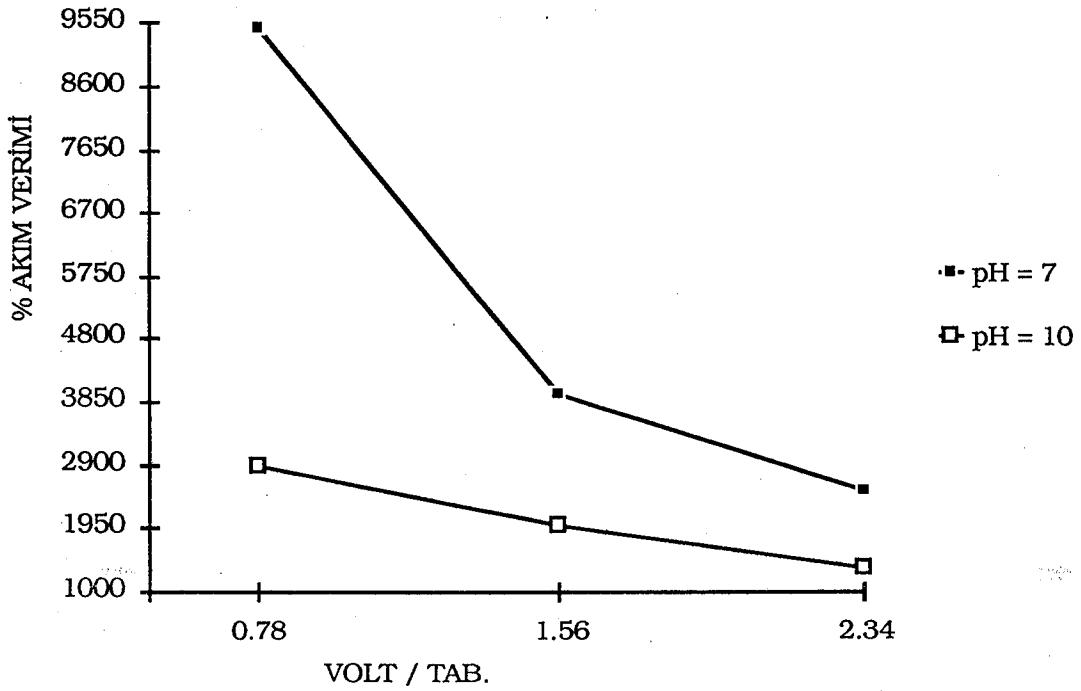
	Gerilim (V)	Ger/Tab (V)	Akım (A), x 10 ⁻³	Akım Şiddeti (A/m ²)	Son Derişim (mg/l)	% Giderim	% Akım Verimi	Hac. Zam. Ver. (kg/m ³ h)	Enerji Tük. (kWh/m ³)
1,24 x 10 ⁻⁴ m ³ /h Çöz. Ak. Hiz.	25	0,7812	3,00	4,5257	1162,2	22,52	2878,9991	0,8715	0,6048
	50	1,5625	8,00	12,0686	878,8	41,41	1985,3844	1,6027	3,2258
	75	2,3437	18,50	27,9086	533,0	64,47	1336,4659	2,4949	11,1895
8 x 10 ⁻⁵ m ³ /h Çöz. Ak. Hiz.	25	0,7812	2,70	4,0731	1144,0	23,73	2174,9920	0,5925	0,8438
	50	1,5625	7,60	11,4651	644,0	57,01	1856,2033	1,4235	4,7500
	75	2,3437	18,50	27,9086	184,6	87,69	1172,8907	2,1895	17,3438
4,8 x 10 ⁻⁵ m ³ /h Çöz. Ak. Hiz.	25	0,7812	2,40	3,6205	910,0	39,33	2433,1196	0,5892	1,2500
	50	1,5625	6,40	9,6548	335,4	77,64	1801,0240	1,1631	6,6667
	75	2,3437	17,70	26,7018	111,8	92,55	776,2497	1,3864	27,6563
2,03 x 10 ⁻⁵ m ³ /h Çöz. Ak. Hiz.	25	0,7812	2,30	3,4697	517,4	65,51	1788,2425	0,4150	2,8325
	50	1,5625	5,40	8,1463	114,4	92,37	1074,0428	0,5852	13,3005
	75	2,3437	9,00	13,5771	70,2	95,32	664,9825	0,6039	33,2512

Çizelge 5.6 1500 mg/l derişimdeki CN⁻ nin, 0,135 M NaCl derişimindeki deneysel sonuçları (Ortam pH'ı = 7)

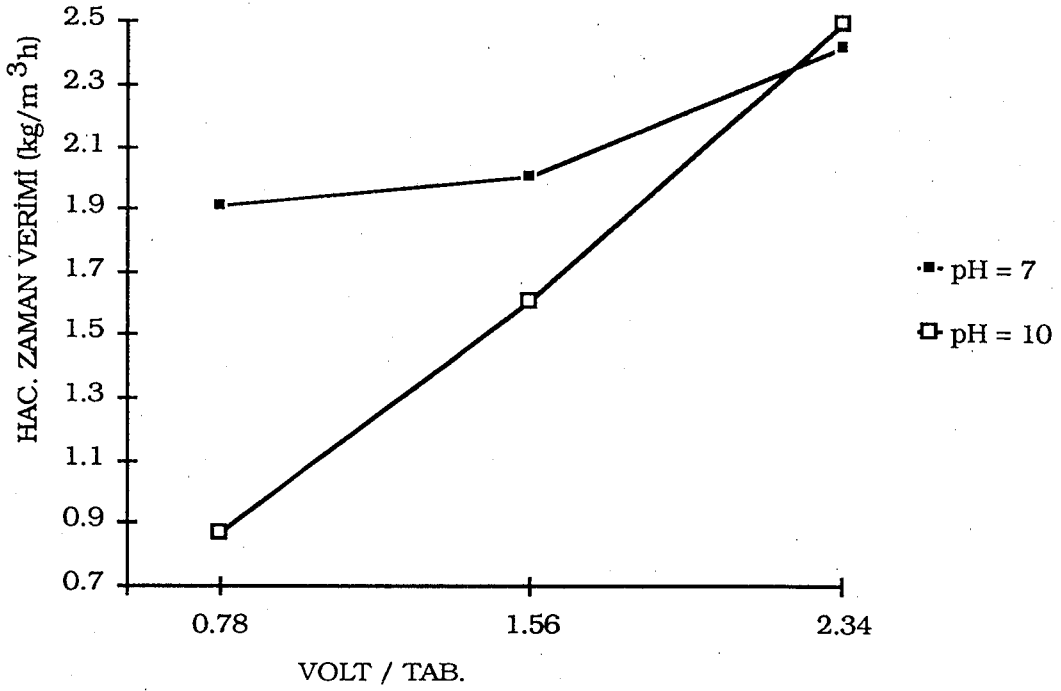
	Gerilim (V)	Ger/Tab (V)	Akım (A), x 10 ⁻³	Akım Şiddeti (A/m ²)	Son Derişim (mg/l)	% Giderim	% Akım Verimi	Hac. Zam. Ver. (kg/m ³ h)	Enerji Tük. (Kwh/m ³)
1,24 x 10 ⁻⁴ m ³ /h Çöz. Ak. Hız.	25	0,7812	2,00	3,0171	759,2	49,39	9470,5264	1,9113	0,4032
	50	1,5625	5,00	7,5428	722,8	51,81	3974,3483	2,0052	2,0161
	75	2,3437	9,50	14,3314	561,6	62,56	2525,6172	2,4211	5,7460
8 x 10 ⁻⁵ m ³ /h Çöz. Ak. Hız.	25	0,7812	1,80	2,7154	728	51,47	7074,8338	1,2850	0,5625
	50	1,5625	4,30	6,4868	551,2	63,25	3639,8012	1,5793	2,6875
	75	2,3437	8,50	12,8229	408,2	72,79	2118,8275	1,8173	7,9688
4,8 x 10 ⁻⁵ m ³ /h Çöz. Ak. Hız.	25	0,7812	1,50	2,2628	488,8	67,41	6672,1914	1,0099	0,7813
	50	1,5625	4,00	6,0343	369,2	75,39	2798,0051	1,1293	4,1667
	75	2,3437	7,40	11,1634	299	80,07	1606,3270	1,1995	11,5625
2,03 x 10 ⁻⁵ m ³ /h Çöz. Ak. Hız.	25	0,7812	1,40	2,1120	374,4	75,04	3365,3756	0,4754	1,7241
	50	1,5625	3,80	5,7325	218,4	85,44	1411,7129	0,5413	9,3596
	75	2,3437	6,80	10,2583	161,2	89,25	824,1083	0,5654	25,1232



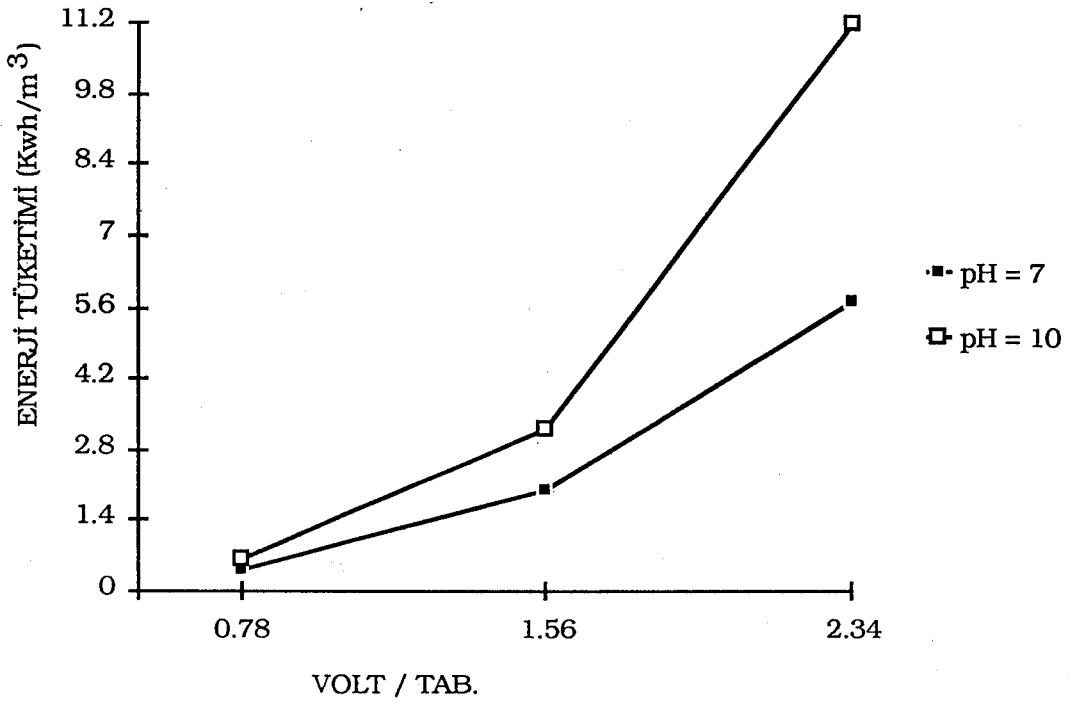
Şekil 5.12 CN⁻ için farklı pH'larda uygulanan gerilim ile % giderim değişimi (Akış hızı $2,03 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{h}$).



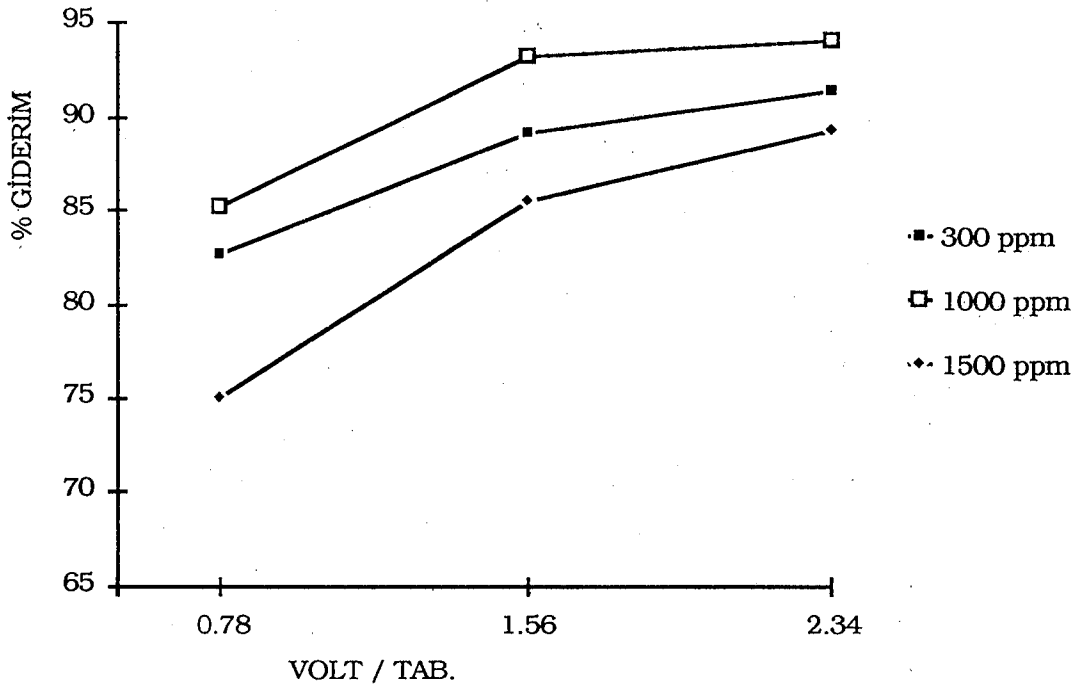
Şekil 5.13 CN⁻ için farklı pH'larda uygulanan gerilim ile % akım veriminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).



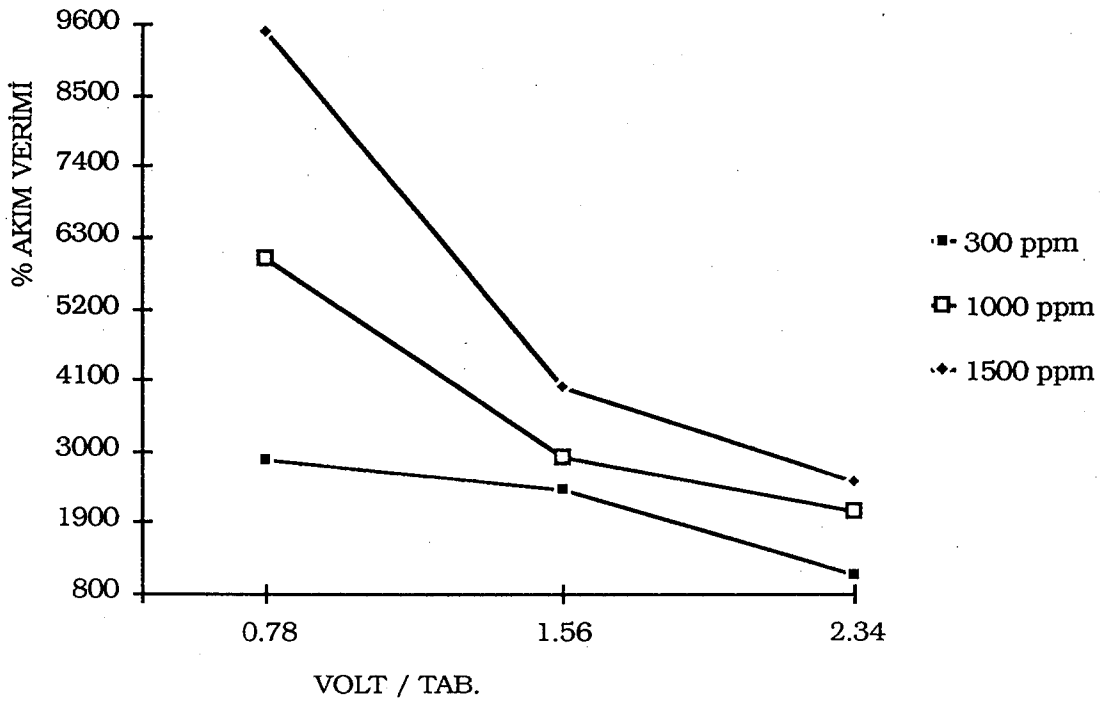
Şekil 5.14 CN^- için farklı pH'larda uygulanan gerilim ile hacim zaman veriminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).



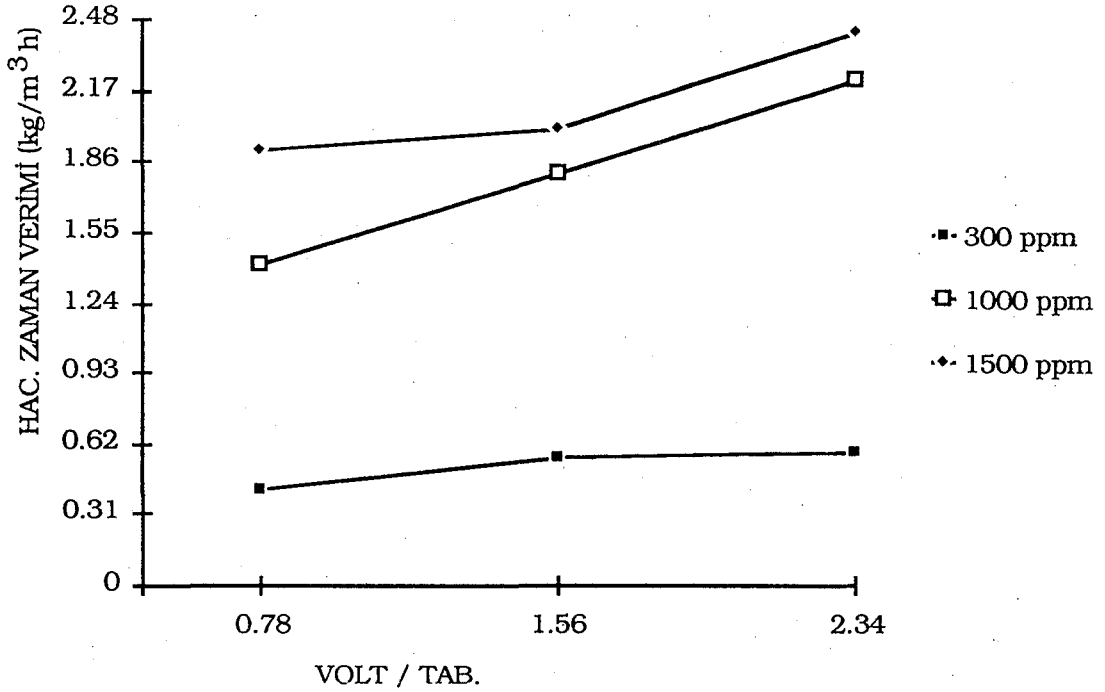
Şekil 5.15 CN^- için farklı pH'larda uygulanan gerilim ile enerji tüketiminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).



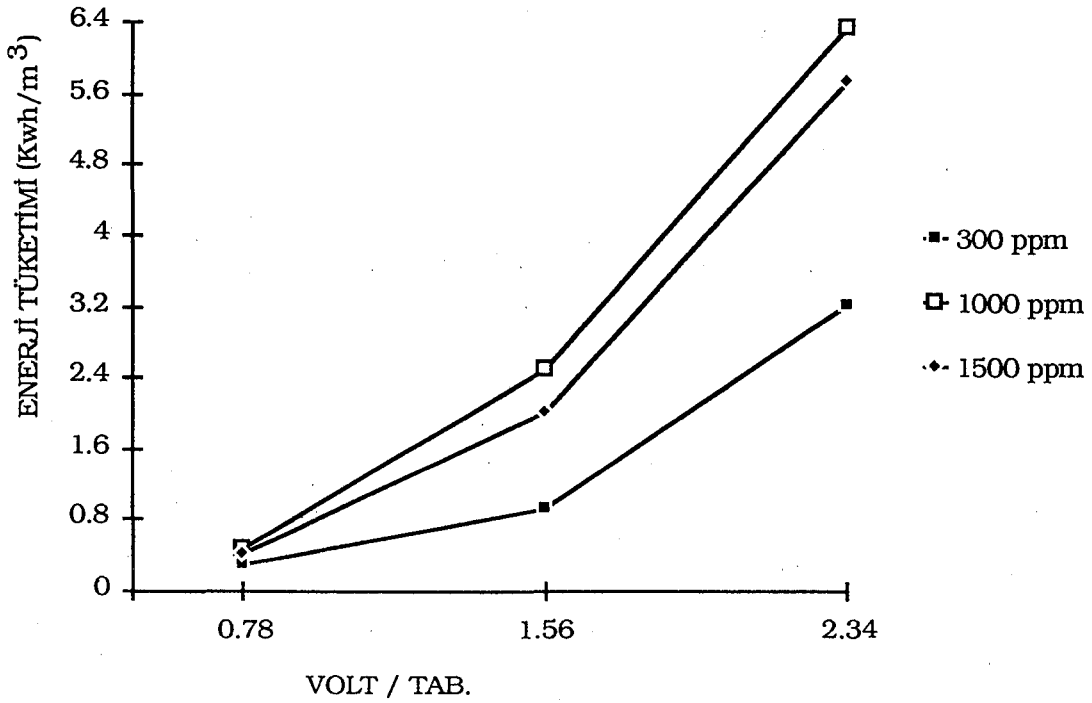
Şekil 5.16 Farklı başlangıç CN^- derişimlerinde, uygulanan gerilim ile % giderim değişimi (Akış hızı $2,03 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{h}$).



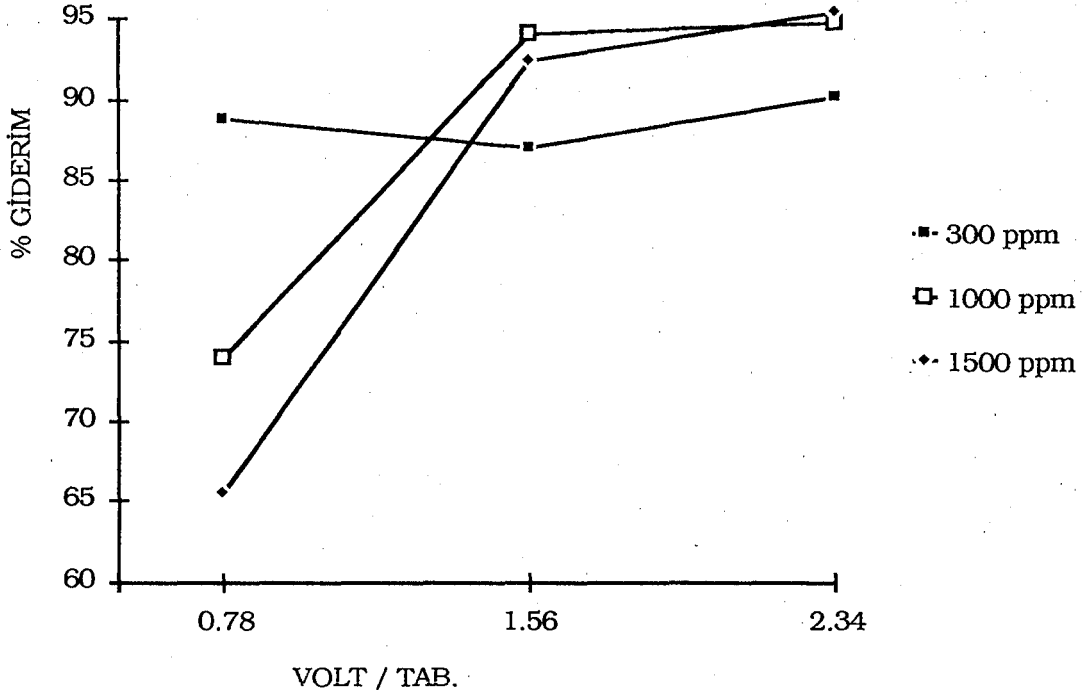
Şekil 5.17 Farklı başlangıç CN^- derişimlerinde, uygulanan gerilim ile % akım veriminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).



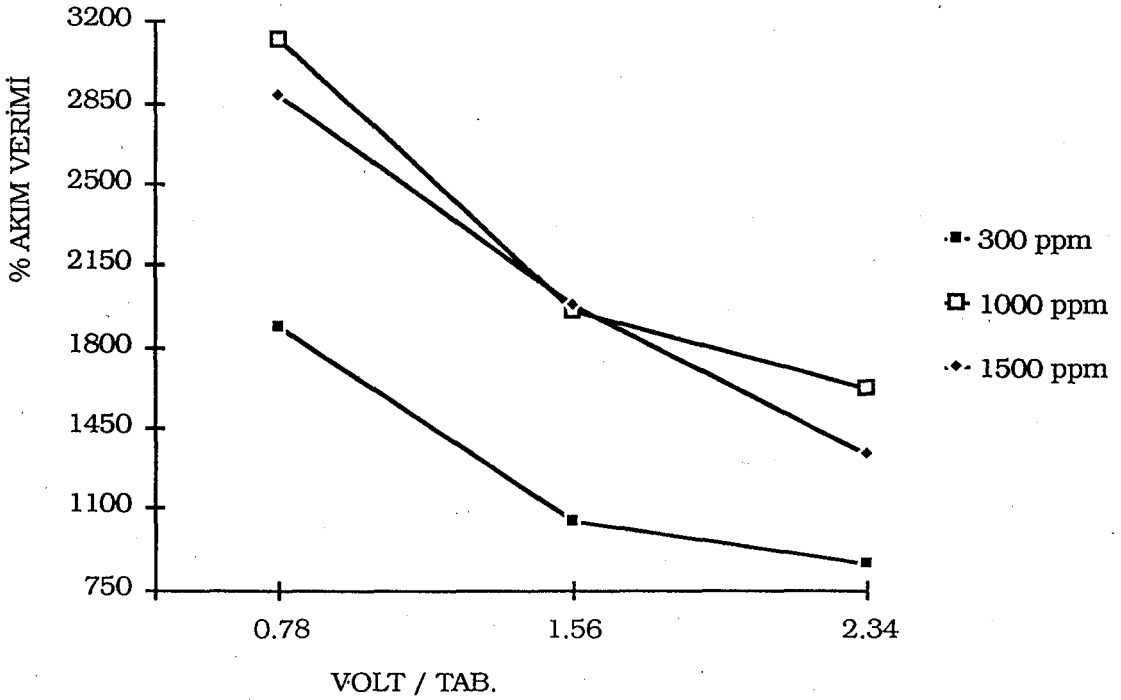
Şekil 5.18 Farklı başlangıç CN^- derişimlerinde uygulanan gerilim ile hacim zaman veriminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).



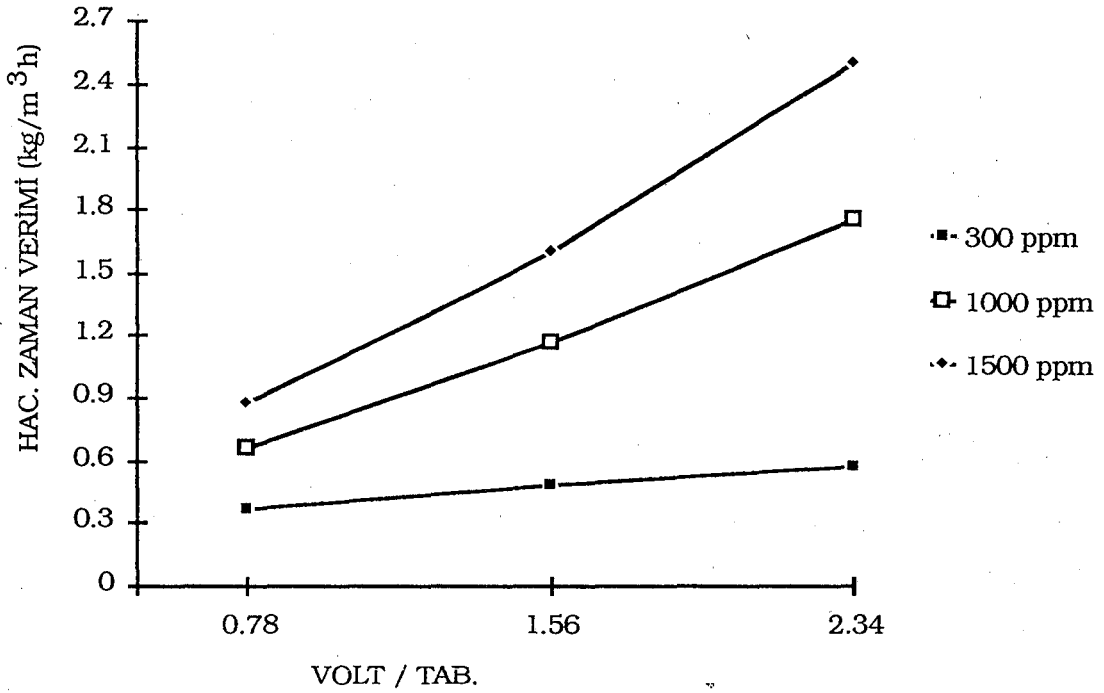
Şekil 5.19 Farklı başlangıç CN^- derişimlerinde uygulanan gerilim ile enerji tüketiminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).



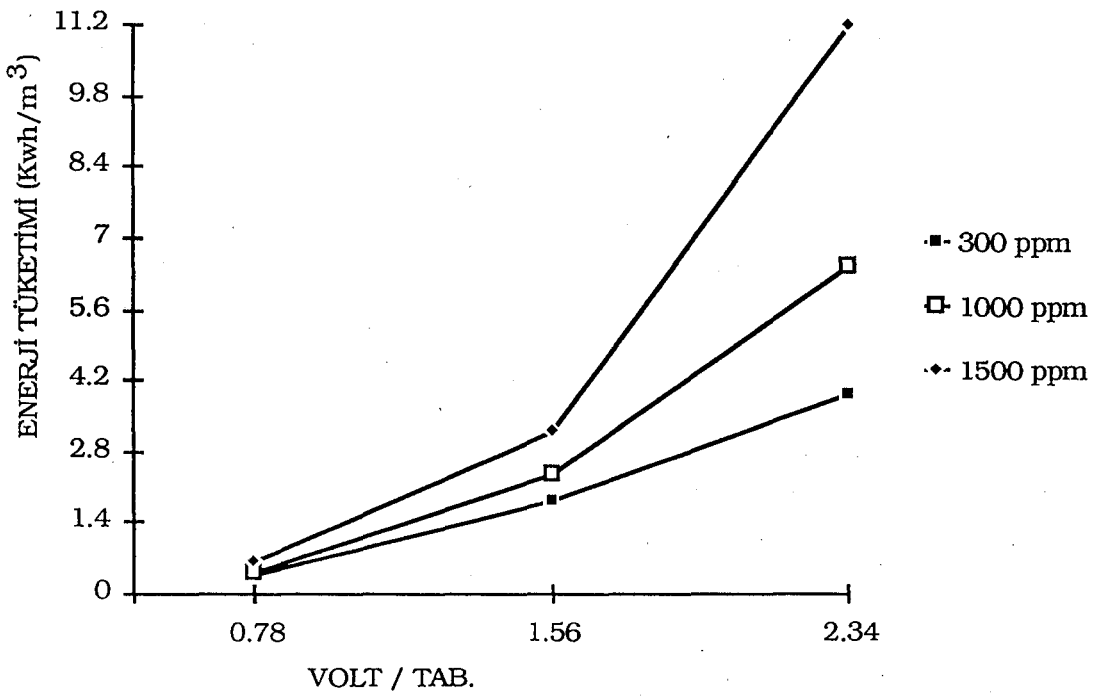
Şekil 5.20 Farklı başlangıç CN^- derişimlerinde, uygulanan gerilim ile % giderim değişimi (Akış hızı $2,03 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{h}$).



Şekil 5.21 Farklı başlangıç CN^- derişimlerinde, uygulanan gerilim ile % akım veriminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).



Şekil 5.22 Farklı başlangıç CN^- derişimlerinde uygulanan gerilim ile hacim zaman veriminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).



Şekil 5.23 Farklı başlangıç CN^- derişimlerinde uygulanan gerilim ile enerji tüketiminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).

5.2.3 Çözelti akış hızı etkisi incelenen deneysel çalışmalar ve sonuçları

Deneysel çalışmalarda incelenen parametrelerin tamamına farklı akış hızlarının ($2,03 \times 10^{-5}$, $4,8 \times 10^{-5}$, 8×10^{-5} , $1,24 \times 10^{-4}$ m³/h) etkisi araştırılmış ve elde edilen sonuçlar çizelge 5.4-5.22 de verilmiştir. Ayrıca orijinal pH ($\cong 10$) da, 0,27 M NaCl içeren üç farklı derişimdeki CN⁻ (300, 1000, 1500 mg/l) çözeltisinin farklı akış hızlarında uygulanan gerilim ile % giderimlerinin değişimi Şekil 5.36, 5.44, 5.22 de, % akım verimlerinin değişimi Şekil 5.37, 5.45, 5.53 de, hacim zaman verimlerinin değişimi Şekil 5.38, 5.46, 5.54 de ve enerji tüketimlerinin değişimi ise Şekil 5.39, 5.47, 5.55 de verilmiştir.

5.2.4 Sodyum klorür (NaCl) etkisi incelenen deneysel çalışmalar ve sonuçları

300 mg/l CN⁻ ile pH 7'de üç farklı NaCl derişiminde (NaCl'sız 0,135 M, 0,27 M) çalışılmış ve elde edilen sonuçlar çizelge 5.8, 5.1, 5.9 da verilmiştir. Uygulanan gerilim ile % giderimin değişimi Şekil 5.24 de, % akım veriminin değişimi Şekil 5.25 de, hacim zaman veriminin değişimi Şekil 5.26 da, enerji tüketiminin değişimi ise Şekil 5.27 de verilmiştir.

1000 mg/l CN⁻ için aynı koşullarda elde edilen çalışmaların sonuçları çizelge 5.10, 5.4, 5.11'de ve uygulanan gerilim ile % giderimin değişimi Şekil 5.28 de, % akım veriminin değişimi Şekil 5.29 da, hacim - zaman veriminin değişimi Şekil 5.30 da, enerji tüketiminin değişimi ise Şekil 5.31 de gösterilmiştir.

1500 mg/l CN⁻ için ise aynı koşullarda elde edilen sonuçlar çizelge 5.12, 5.6, 5.13 de, uygulanan gerilim ile % giderimin değişimi Şekil 5.32 de, % akım veriminin değişimi Şekil 5.33 de, hacim - zaman veriminin değişimi Şekil 5.34 de, enerji tüketiminin değişimi de Şekil 5.35 de verilmiştir.

300 mg/l CN^- ile orijinal pH'ta ve farklı NaCl derişimlerinde (NaCl, 0,135, 0,27 M) çalışarak saptanan sonuçlar çizelge 5.14, 5.2, 5.15 de, ayrıca aynı pH ile $4,8 \times 10^{-5}$ m³/h akış hızı ve 0,5 M NaCl derişiminde yapılan çalışmanın sonuçları da çizelge 5.17 de verilmiştir. Üç farklı derişimde CN^- (300, 1000, 1500 mg/l) ve 1,02 M NaCl içeren çözelti ile aynı koşullarda elde edilen sonuçlar ise çizelge 5.16 da gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre uygulanan gerilim ile % giderimin değişimi Şekil 5.40 da, % akım veriminin değişimi Şekil 5.41 de, hacim-zaman veriminin değişimi Şekil 5.42 de, enerji tüketiminin değişimi ise Şekil 5.43 de verilmiştir.

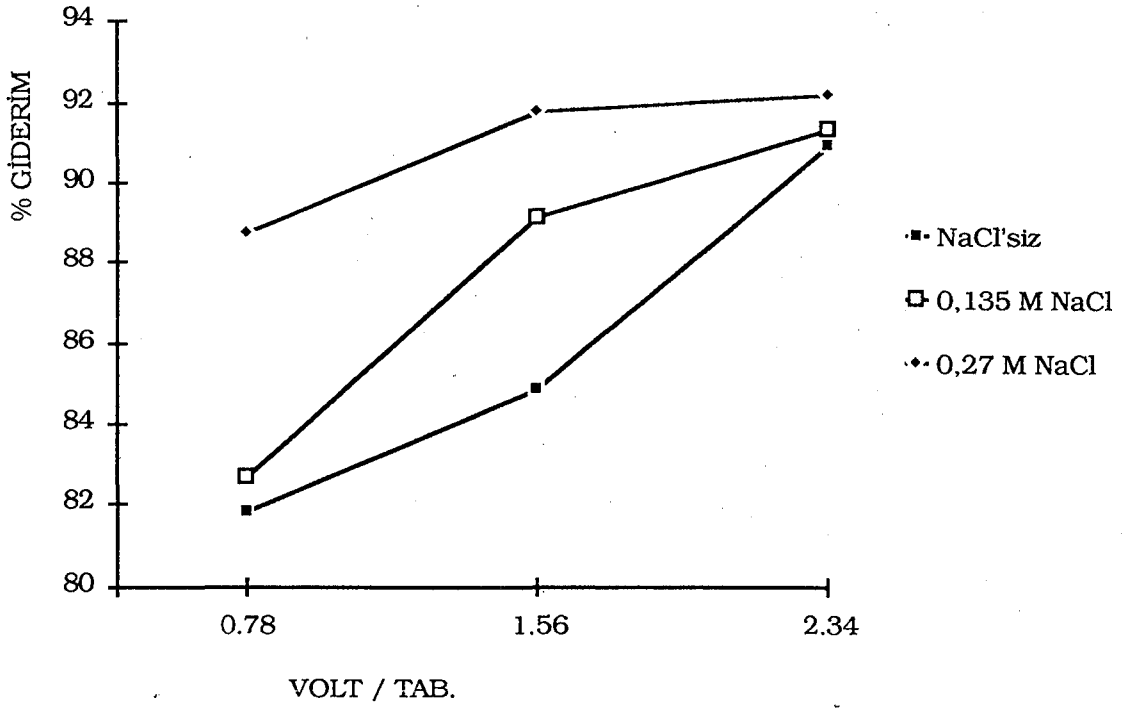
1000 ve 1500 mg/l CN^- ile orijinal pH ve üç farklı NaCl derişiminde (NaCl'süz, 0,135, 0,27 M) çalışarak elde edilen sonuçlar çizelge 5.19, 5.5, 5.20, 5.21, 5.7, 5.22 de, uygulanan gerilim ile % giderimin değişimi Şekil 5.48, 5.56 da, % akım veriminin değişimi Şekil 5.49, 5.57 de, hacim-zaman verimlerinin değişimi Şekil 5.50, 5.58 de, % enerji tüketimlerinin değişimi ise Şekil 5.51, 5.59 da, gösterilmiştir. Ayrıca 1000 mg/l CN^- ve 1,02 M NaCl içeren çözelti ile pH 12'de $4,8 \times 10^{-3}$ m³/h akış hızında yapılan çalışmada yüksek gerilim (75V)'de bir miktar grafit parçalandığı görülmüş, elde edilen sonuçlar çizelge 5.18 de verilmiştir.

Çizelge 5.8 300 mg/l derişimdeki CN⁻ nin deneysel sonuçları (Ortam pH'ı = 7)

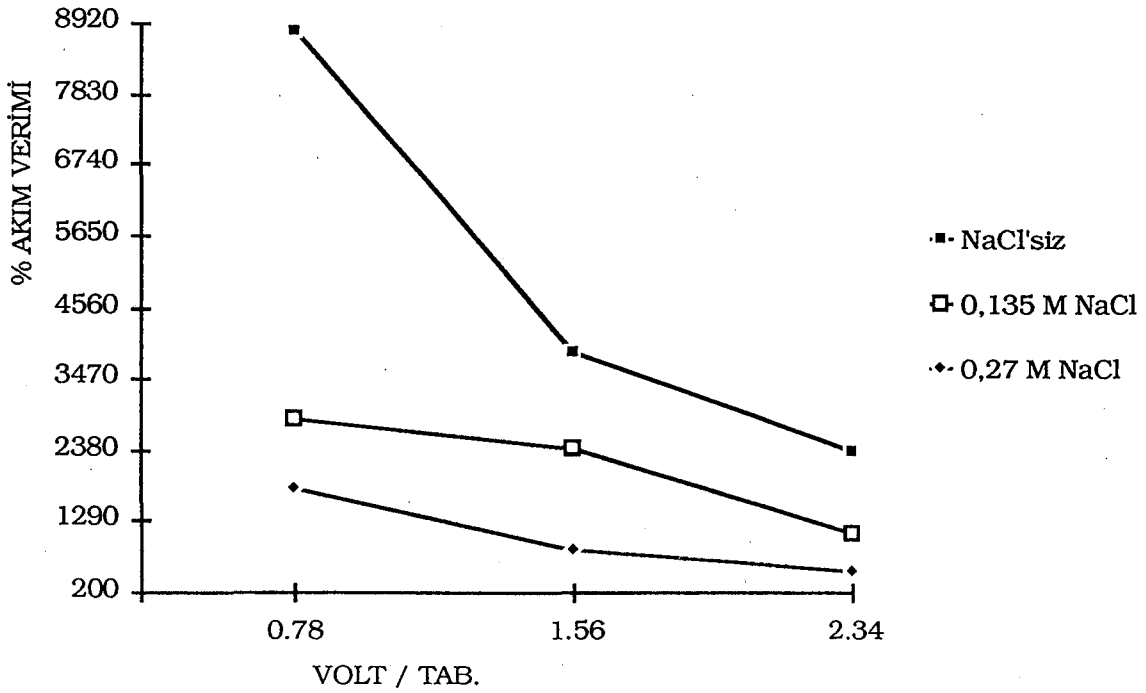
	Gerilim (V)	Ger/Tab (V)	Akım (A), x 10 ⁻³	Akım Şiddeti (A/m ²)	Son Derişim (mg/l)	% Giderim	% Akım Verimi	Hac. Zam. Ver. (kg/m ³ h)	Enerji Tük. (kWh/m ³)
1,24 x 10 ⁻⁴ m ³ /h Çöz. Ak. Hiz.	25	0,7812	0,50	0,7542	127,4	57,53	8826,2034	0,4453	0,1008
	50	1,5625	1,20	1,8102	117,0	61,00	3899,1773	0,4721	0,4839
	75	2,3437	2,10	3,1680	104,0	65,33	2386,3817	0,5057	1,2702
8 x 10 ⁻⁵ m ³ /h Çöz. Ak. Hiz.	25	0,7812	0,50	0,7542	102,7	65,77	6509,2136	0,3284	0,1563
	50	1,5625	1,05	1,5840	92,3	69,23	3263,0118	0,3457	0,6563
	75	2,3437	1,85	2,7908	83,2	72,27	1933,1208	0,3608	1,7344
4,8 x 10 ⁻⁵ m ³ /h Çöz. Ak. Hiz.	25	0,7812	0,45	0,6788	71,5	76,17	5025,6980	0,2282	0,2344
	50	1,5625	0,95	1,4331	54,6	81,80	2556,6639	0,2450	0,9896
	75	2,3437	1,85	2,7908	57,2	80,93	1298,9715	0,2424	2,8906
2,03 x 10 ⁻⁵ m ³ /h Çöz. Ak. Hiz.	25	0,7812	0,40	0,6034	54,6	81,80	2567,9825	0,1036	0,4926
	50	1,5625	0,85	1,2822	45,5	84,83	1253,2749	0,1074	2,0936
	75	2,3437	1,75	2,6400	27,3	90,90	652,2657	0,1151	6,4655

Çizelge 5.9 300 mg/l derişimdeki CN⁻ nin, 0,270 M NaCl derişimindeki deneysel sonuçları (Ortam pH₁ = 7)

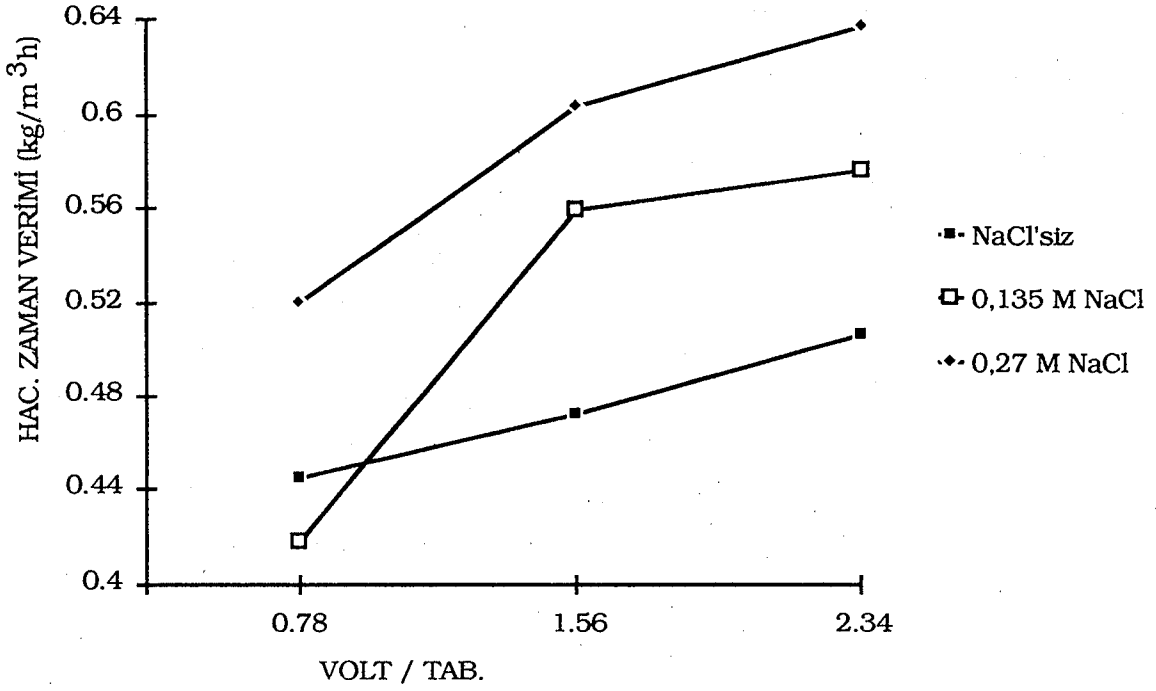
	Gerilim (V)	Ger/Tab (V)	Akım (A), x 10 ⁻³	Akım Şiddeti (A/m ²)	Son Derişim (mg/l)	% Giderim	% Akım Verimi	Hac. Zam. Ver. (kg/m ³ h)	Enerji Tük. (Kwh/m ³)
1,24 x 10 ⁻⁴ m ³ /h Çöz. Ak. Hiz.	25	0,7812	2,90	4,3748	98,8	67,07	1773,9162	0,5191	0,5847
	50	1,5625	6,90	10,4091	66,3	77,90	865,9897	0,6029	2,7823
	75	2,3437	11,80	17,8012	53,3	82,23	534,5524	0,6365	7,1371
8 x 10 ⁻⁵ m ³ /h Çöz. Ak. Hiz.	25	0,7812	2,60	3,9223	88,4	70,53	1342,4983	0,3522	0,8125
	50	1,5625	6,20	9,3531	45,5	84,83	677,1229	0,4236	3,8750
	75	2,3437	10,90	16,4434	37,7	87,43	396,9567	0,4366	10,2188
4,8 x 10 ⁻⁵ m ³ /h Çöz. Ak. Hiz.	25	0,7812	2,40	3,6205	62,4	79,20	979,8461	0,2373	1,2500
	50	1,5625	5,60	8,4480	27,3	90,90	481,9697	0,2723	5,8333
	75	2,3437	9,00	13,5771	23,4	92,20	304,1811	0,2762	14,0625
2,03 x 10 ⁻⁵ m ³ /h Çöz. Ak. Hiz.	25	0,7812	1,90	2,8662	33,8	88,73	586,4512	0,1124	2,3399
	50	1,5625	4,50	6,7885	24,7	91,77	256,0773	0,1162	11,0837
	75	2,3437	8,00	12,0686	23,4	92,20	144,7237	0,1168	29,5567



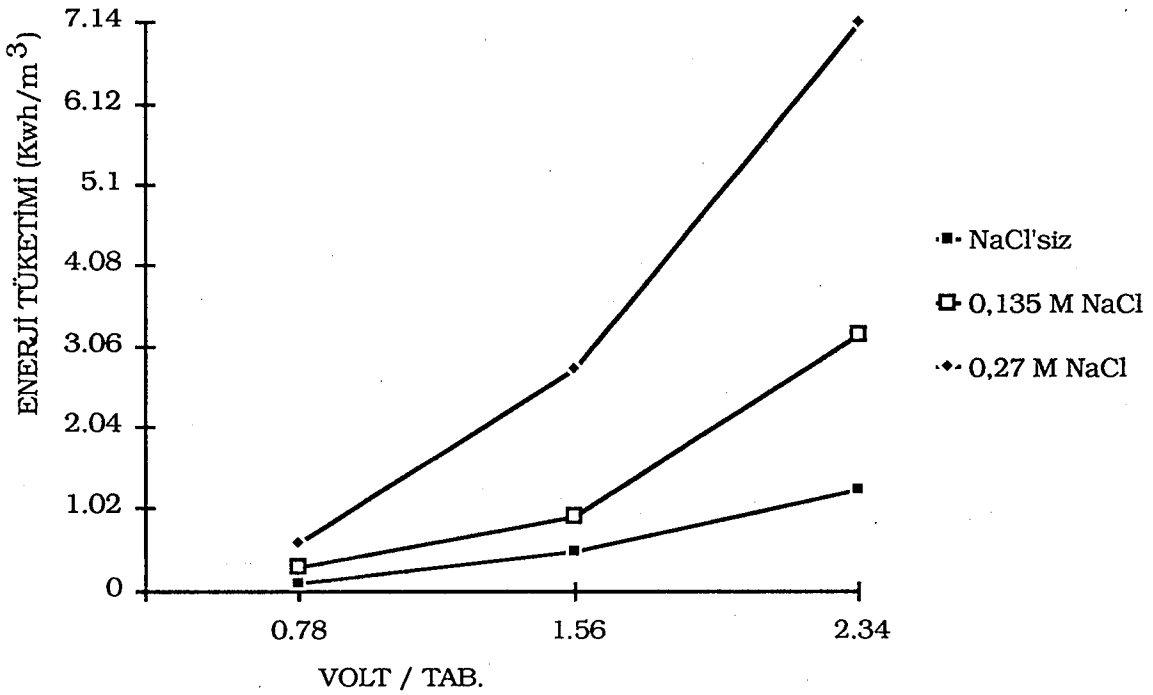
Şekil 5.24 Farklı NaCl derişimlerinde, uygulanan gerilim ile % giderim değişimi (Akış hızı $2,03 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{h}$).



Şekil 5.25 Farklı NaCl derişimlerinde, uygulanan gerilim ile % akım veriminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).



Şekil 5.26 Farklı NaCl derişimlerinde uygulanan gerilim ile hacim zaman veriminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).



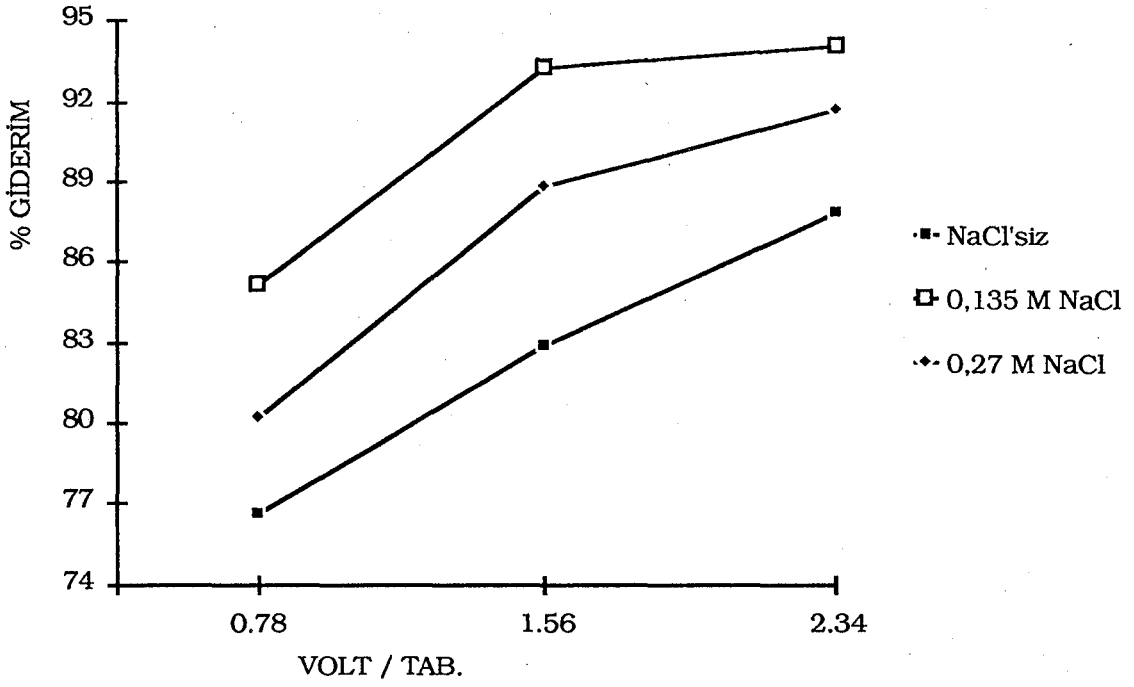
Şekil 5.27 Farklı NaCl derişimlerinde uygulanan gerilim ile enerji tüketiminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).

Çizelge 5.10 1000 mg/l derişimdeki CN⁻ nin, deneysel sonuçları (Ortam pH'ı = 7)

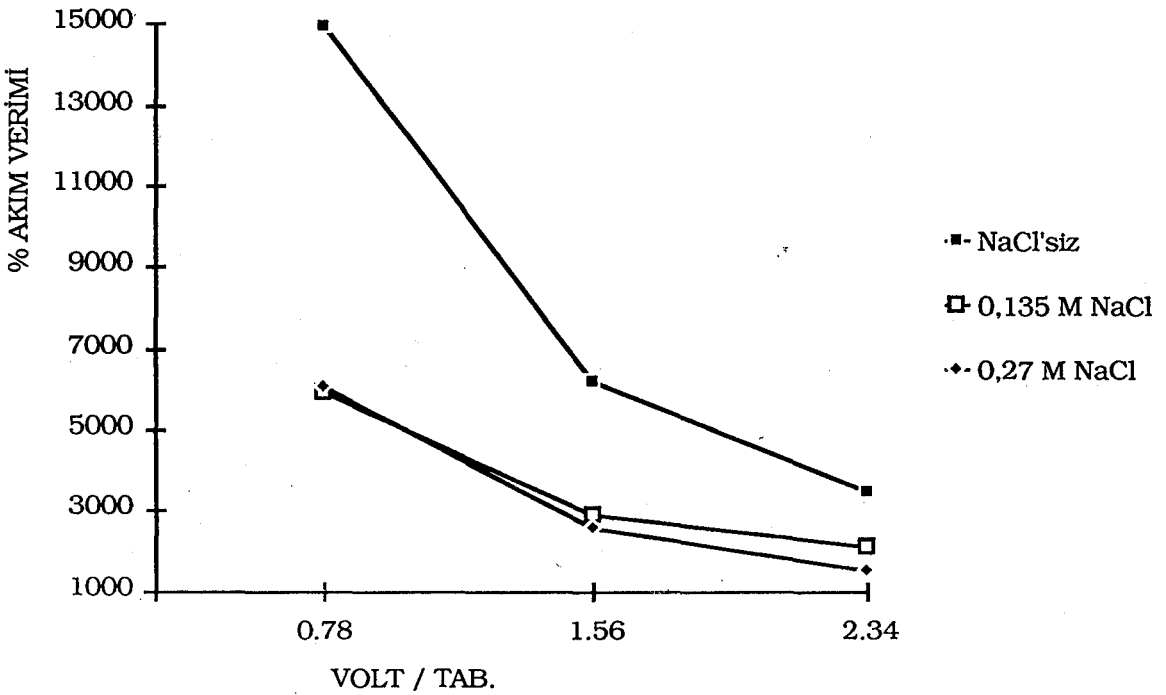
	Gerilim (V)	Ger/Tab (V)	Akım (A), x 10 ⁻³	Akım Şiddeti (A/m ²)	Son Derişim (mg/l)	% Giderim	% Akım Verimi	Hac. Zam. Ver. (kg/m ³ h)	Enerji Tük. (Kwh/m ³)
1,24 x 10 ⁻⁴ m ³ /h Çöz. Ak. Hiz.	25	0,7812	0,80	1,2068	533,0	46,70	14925,5390	1,2049	0,1613
	50	1,5625	2,10	3,1680	491,4	50,86	6192,4171	1,3122	0,8468
	75	2,3437	4,20	6,3360	431,6	56,84	3460,2535	1,4665	2,5403
8 x 10 ⁻⁵ m ³ /h Çöz. Ak. Hiz.	25	0,7812	0,70	1,0560	447,2	55,28	13026,9100	0,9201	0,2188
	50	1,5625	1,80	2,7154	395,2	60,48	5542,5641	1,0067	1,1250
	75	2,3437	3,65	5,5063	327,6	67,24	3038,8291	1,1192	3,4219
4,8 x 10 ⁻⁵ m ³ /h Çöz. Ak. Hiz.	25	0,7812	0,65	0,9805	382,2	61,78	9407,1321	0,6170	0,3385
	50	1,5625	1,70	2,5645	265,2	73,48	4278,0211	0,7338	1,7708
	75	2,3437	3,45	5,2045	231,4	76,86	2204,9765	0,7676	5,3906
2,03 x 10 ⁻⁵ m ³ /h Çöz. Ak. Hiz.	25	0,7812	0,55	0,8297	234,0	76,60	5829,6647	0,3235	0,6773
	50	1,5625	1,50	2,2628	171,6	82,84	2311,6726	0,3499	3,6946
	75	2,3437	3,20	4,8274	122,2	87,78	1148,2146	0,3707	11,8227

Çizelge 5.11 1000 mg/l derişimdeki CN⁻ nin, 0,270 M NaCl derişimindeki deneysel sonuçları (Ortam pH'ı = 7)

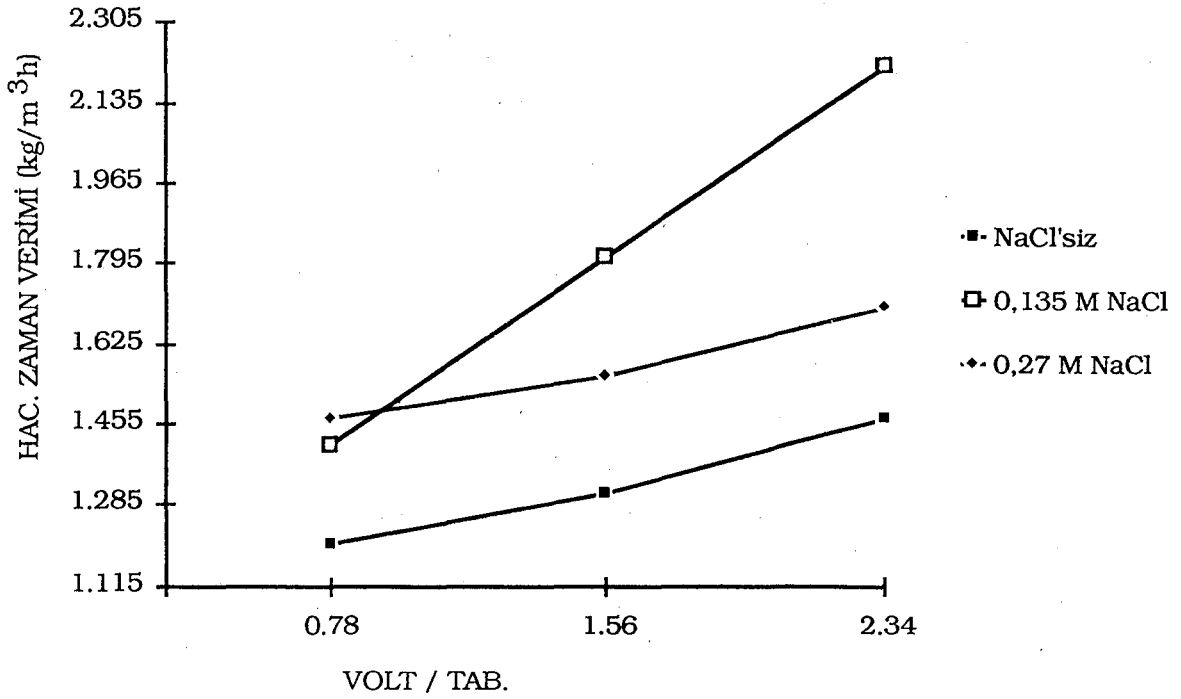
	Gerilim (V)	Ger/Tab (V)	Akım (A), x 10 ⁻³	Akım Şiddeti (A/m ²)	Son Derişim (mg/l)	% Giderim	% Akım Verimi	Hac. Zam. Ver. (kg/m ³ h)	Enerji Tük. (Kwh/m ³)
1,24 x 10 ⁻⁴ m ³ /h Çöz. Ak. Hız.	25	0,7812	2,40	3,6205	431,6	56,84	6055,4437	1,4665	0,4839
	50	1,5625	6,05	9,1268	397,8	60,22	2545,0043	1,5537	2,4395
	75	2,3437	10,90	16,4434	340,6	65,94	1546,7694	1,7013	6,5927
8 x 10 ⁻⁵ m ³ /h Çöz. Ak. Hız.	25	0,7812	2,20	3,3188	400,4	59,96	4495,8352	0,9980	0,6875
	50	1,5625	5,50	8,2971	379,6	62,04	1860,7179	1,0327	3,4375
	75	2,3437	9,80	14,7840	249,6	75,04	1263,1013	1,2491	9,1875
4,8 x 10 ⁻⁵ m ³ /h Çöz. Ak. Hız.	25	0,7812	1,90	2,8662	335,4	66,46	3462,0188	0,6637	0,9896
	50	1,5625	5,10	7,6937	252,2	74,78	1451,2357	0,7468	5,3125
	75	2,3437	9,00	13,5771	135,2	86,48	951,0336	0,8637	14,0625
2,03 x 10 ⁻⁵ m ³ /h Çöz. Ak. Hız.	25	0,7812	1,80	2,7154	197,6	80,24	1865,9324	0,3389	2,2167
	50	1,5625	4,35	6,5623	111,8	88,82	854,6710	0,3751	10,7143
	75	2,3437	8,50	12,8229	83,2	91,68	451,4744	0,3872	31,4039



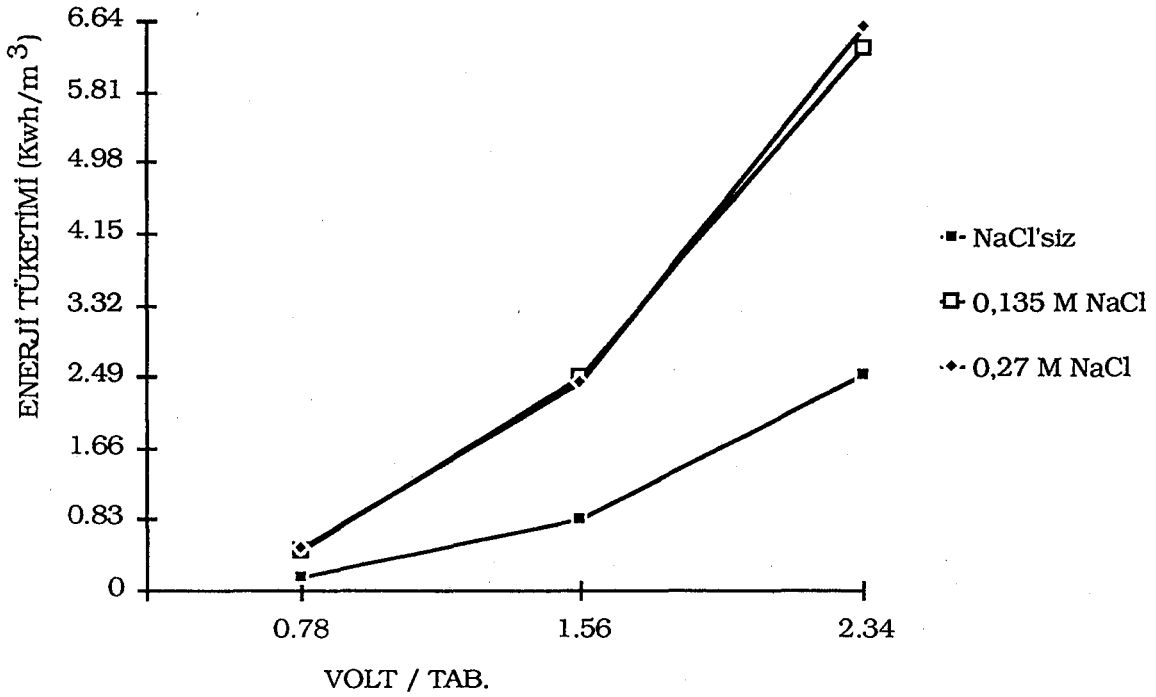
Şekil 5.28 Farklı NaCl derişimlerinde, uygulanan gerilim ile % giderim değişimi (Akış hızı $2,03 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{h}$).



Şekil 5.29 Farklı NaCl derişimlerinde, uygulanan gerilim ile % akım veriminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).



Şekil 5.30 Farklı NaCl derişimlerinde uygulanan gerilim ile hacim zaman veriminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).



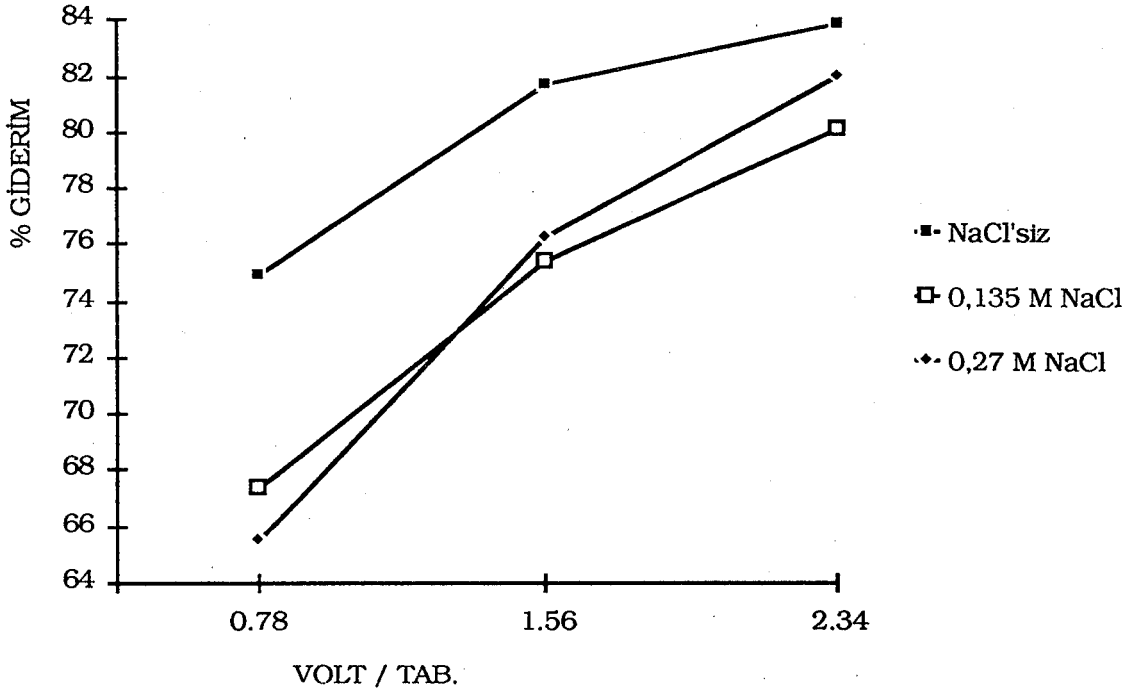
Şekil 5.31 Farklı NaCl derişimlerinde uygulanan gerilim ile enerji tüketiminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).

Çizelge 5.12 1500 mg/l derişimdeki CN⁻ nin, deneysel sonuçları (Ortam pH'ı = 7)

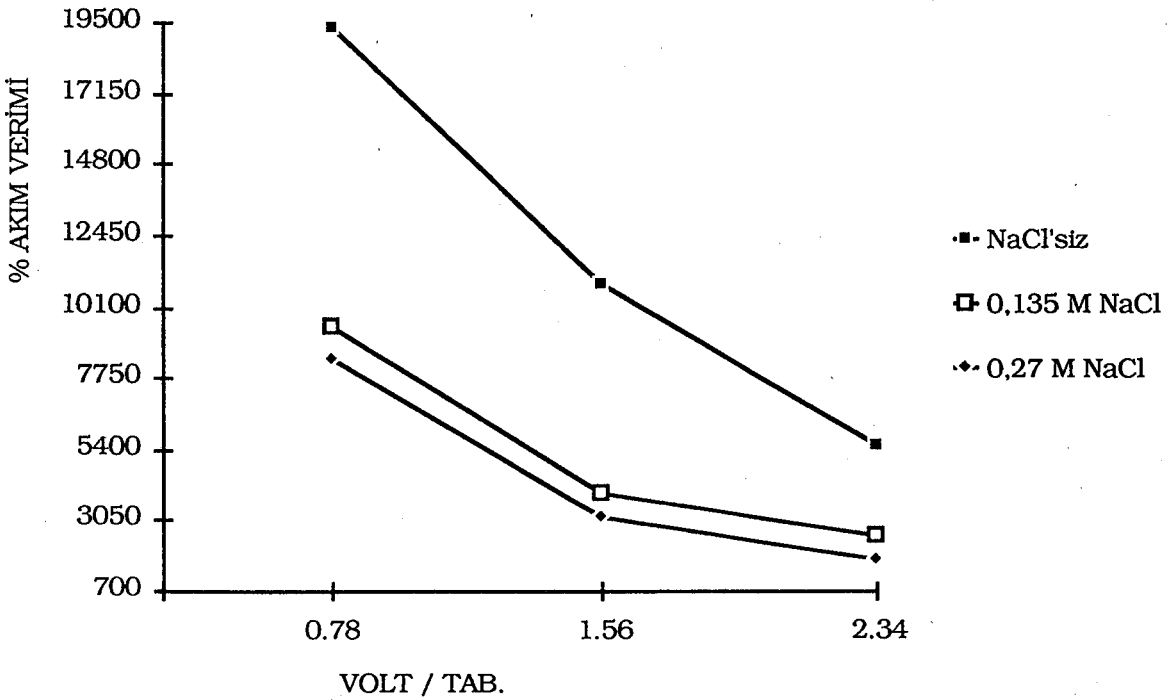
	Gerilim (V)	Ger/Tab (V)	Akım (A), x 10 ⁻³	Akım Şiddeti (A/m ²)	Son Derişim (mg/l)	% Giderim	% Akım Verimi	Hac. Zam. Ver. (kg/m ³ h)	Enerji Tük. (Kwh/m ³)
1,24 x 10 ⁻⁴ m ³ /h Çöz. Ak. Hız.	25	0,7812	1,20	1,8102	590,2	60,65	19385,0900	2,3473	0,2419
	50	1,5625	2,40	3,6205	483,6	67,76	10828,2070	2,6224	0,9677
	75	2,3437	4,90	7,3920	439,4	70,71	5534,2489	2,7364	2,9637
8 x 10 ⁻⁵ m ³ /h Çöz. Ak. Hız.	25	0,7812	1,10	1,6594	473,2	68,45	15398,0100	1,7091	0,3438
	50	1,5625	2,00	3,0171	364,0	75,73	9369,5726	1,8909	1,2500
	75	2,3437	4,60	6,9394	358,8	76,08	4092,3745	1,8996	4,3125
4,8 x 10 ⁻⁵ m ³ /h Çöz. Ak. Hız.	25	0,7812	1,00	1,5085	377,0	74,87	11114,8200	1,1215	0,5208
	50	1,5625	1,80	2,7154	275,6	81,63	6732,4558	1,2228	1,8750
	75	2,3437	4,20	6,3360	241,8	83,88	2964,9890	1,2566	6,5625
2,03 x 10 ⁻⁵ m ³ /h Çöz. Ak. Hız.	25	0,7812	0,90	1,3577	192,4	87,17	6081,4886	0,5523	1,1084
	50	1,5625	1,65	2,4891	210,6	85,96	3271,0050	0,5446	4,0640
	75	2,3437	3,30	4,9783	174,2	88,39	1681,6730	0,5600	12,1921

Çizelge 5.13 1500 mg/l derişimdeki CN⁻ nin, 0,270 M NaCl derişimindeki deneysel sonuçları (Ortam pH'ı = 7)

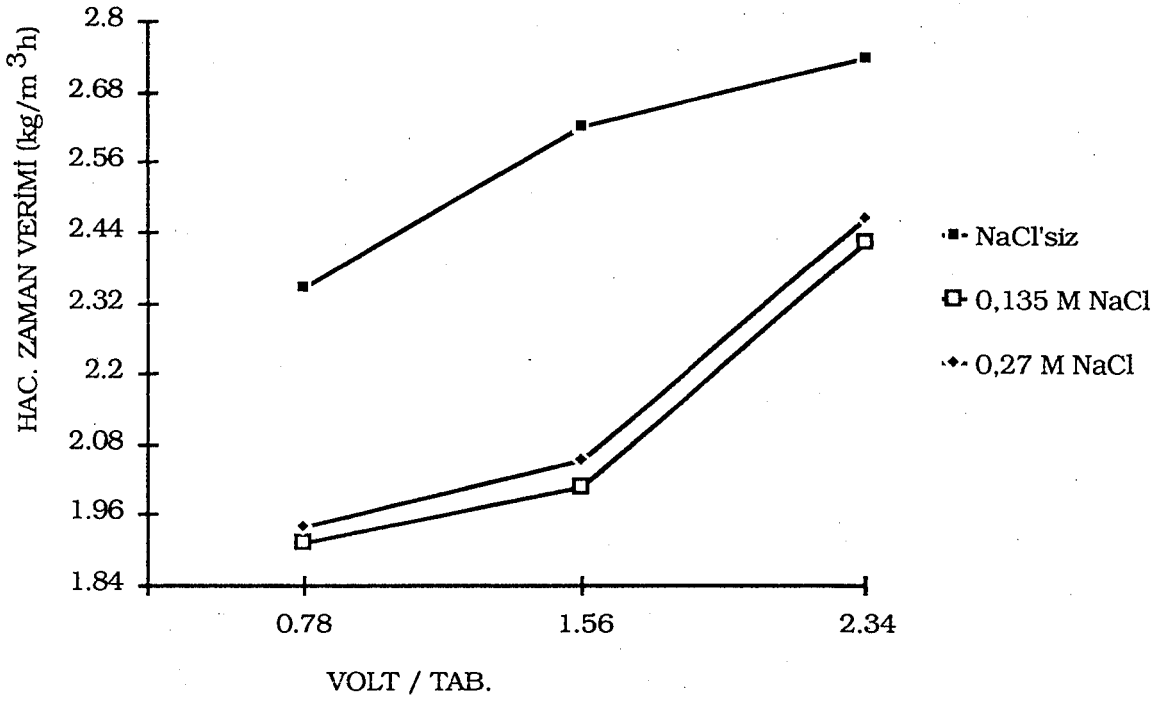
	Gerilim (V)	Ger/Tab (V)	Akım (A), x 10 ⁻³	Akım Şiddeti (A/m ²)	Son Derişim (mg/l)	% Giderim	% Akım Verimi	Hac. Zam. Ver. (kg/m ³ h)	Enerji Tük. (Kwh/m ³)
1,24 x 10 ⁻⁴ m ³ /h Çöz. Ak. Hız.	25	0,7812	2,30	3,4697	748,8	50,08	8350,8539	1,9381	0,4637
	50	1,5625	6,40	9,6548	704,6	53,03	3177,6697	2,0522	2,5806
	75	2,3437	13,70	20,6675	546,0	63,60	1780,4548	2,4614	8,2863
8 x 10 ⁻⁵ m ³ /h Çöz. Ak. Hız.	25	0,7812	2,50	3,7714	657,8	56,15	5557,0803	1,4019	0,7813
	50	1,5625	6,00	9,0514	522,6	65,16	2687,1538	1,6269	3,7500
	75	2,3437	12,50	18,8572	421,2	71,92	1423,6471	1,7957	11,7188
4,8 x 10 ⁻⁵ m ³ /h Çöz. Ak. Hız.	25	0,7812	2,10	3,1680	517,4	65,51	4631,0573	0,9813	1,0938
	50	1,5625	5,10	7,6937	356,2	76,25	2219,7425	1,1423	5,3125
	75	2,3437	10,80	16,2926	270,4	81,97	1126,8414	1,2280	16,8750
2,03 x 10 ⁻⁵ m ³ /h Çöz. Ak. Hız.	25	0,7812	1,80	2,7154	348,4	76,77	2677,9758	0,4864	2,2167
	50	1,5625	4,90	7,3920	218,4	85,44	1094,7978	0,5413	12,0690
	75	2,3437	10,70	16,1417	132,6	91,16	534,9205	0,5775	39,5320



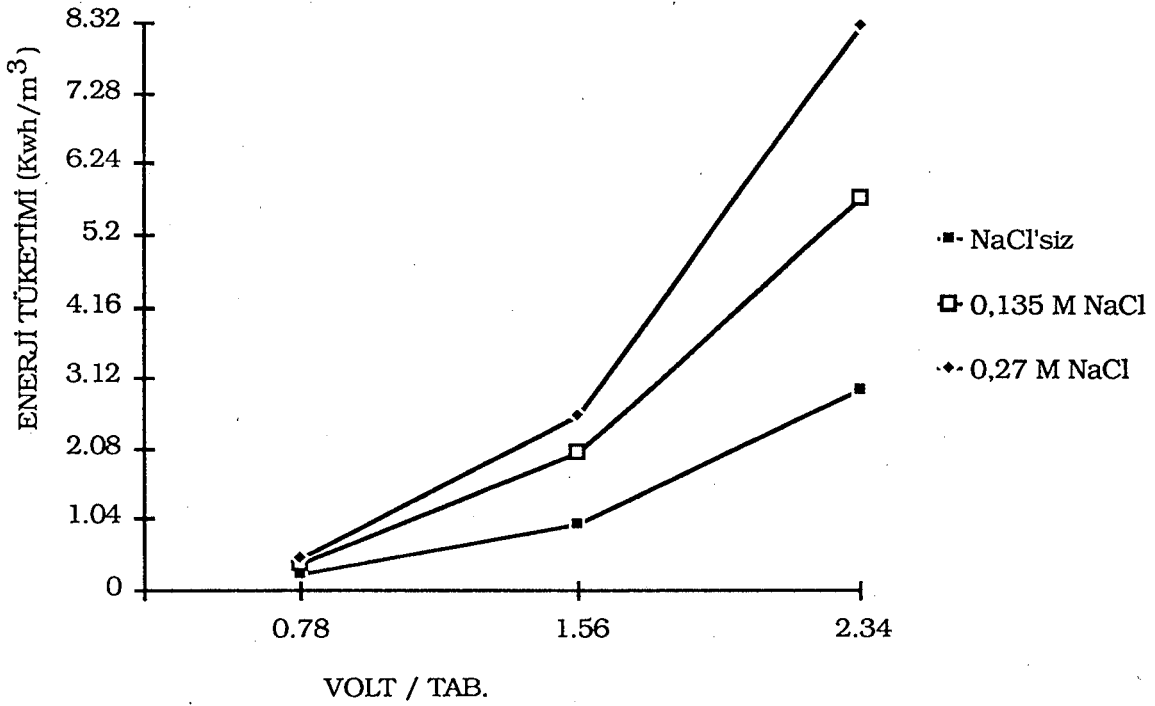
Şekil 5.32 Farklı NaCl derişimlerinde, uygulanan gerilim ile % giderim değişimi (Akış hızı $4,8 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{h}$).



Şekil 5.33 Farklı NaCl derişimlerinde, uygulanan gerilim ile % akım veriminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).



Şekil 5.34 Farklı NaCl derişimlerinde uygulanan gerilim ile hacim zaman veriminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).



Şekil 5.35 Farklı NaCl derişimlerinde uygulanan gerilim ile enerji tüketiminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).

Çizelge 5.14 300 mg/l derişimdeki CN⁻ nin deneysel sonuçları (Orijinal pH \cong 10)

	Gerilim (V)	Ger/Tab (V)	Akım (A), x 10 ⁻³	Akım Şiddeti (A/m ²)	Son Derişim (mg/l)	% Giderim	% Akım Verimi	Hac. Zam. Ver. (kg/m ³ h)	Enerji Tük. (Kwh/m ³)
1,24 x 10 ⁻⁴ m ³ /h Çöz. Ak. Hız.	25	0,7812	0,85	1,2822	191,1	36,30	3275,7601	0,2809	0,1714
	50	1,5625	1,05	1,5840	132,6	55,80	4076,3296	0,4319	0,4234
	75	2,3437	2,05	3,0925	97,5	67,50	2525,6566	0,5224	1,2399
8 x 10 ⁻⁵ m ³ /h Çöz. Ak. Hız.	25	0,7812	0,70	1,0560	174,2	41,93	2964,5177	0,2094	0,2188
	50	1,5625	0,95	1,4331	105,3	64,90	3380,7557	0,3240	0,5938
	75	2,3437	1,75	2,6400	91,0	69,67	1970,0610	0,3478	1,6406
4,8 x 10 ⁻⁵ m ³ /h Çöz. Ak. Hız.	25	0,7812	0,70	1,0560	122,2	59,27	2513,9487	0,1775	0,3646
	50	1,5625	0,85	1,2822	71,5	76,17	2660,6636	0,2282	0,8854
	75	2,3437	1,50	2,2628	66,3	77,90	1542,0205	0,2334	2,3438
2,03 x 10 ⁻⁵ m ³ /h Çöz. Ak. Hız.	25	0,7812	0,60	0,9051	54,6	81,80	1711,9883	0,1036	0,7389
	50	1,5625	0,65	0,9805	42,9	85,70	1655,6411	0,1085	1,6010
	75	2,3437	1,30	1,9611	41,6	86,13	832,0063	0,1091	4,8030

Çizelge 5.15 300 mg/l derişimdeki CN⁻ nin, 0,270 M NaCl derişimindeki deneysel sonuçları (Orjinal pH = 10)

	Gerilim (V)	Ger/Tab (V)	Akım (A), x 10 ⁻³	Akım Şiddeti (A/m ²)	Son Derişim (mg/l)	% Giderim	% Akım Verimi	Hac. Zam. Ver. (kg/m ³ h)	Enerji Tük. (Kwh/m ³)
1,24 x 10 ⁻⁴ m ³ /h Çöz. Ak. Hız.	25	0,7812	2,70	4,0731	140,4	53,20	1511,3751	0,4117	0,5444
	50	1,5625	4,80	7,2411	72,8	75,73	1210,2364	0,5862	1,9355
	75	2,3437	8,90	13,4263	33,8	88,73	764,7530	0,6868	5,3831
8 x 10 ⁻⁵ m ³ /h Çöz. Ak. Hız.	25	0,7812	2,40	3,6205	120,9	59,70	1230,9935	0,2981	0,7500
	50	1,5625	4,60	6,9394	49,4	83,53	898,6584	0,4171	2,8750
	75	2,3437	8,30	12,5211	24,7	91,77	547,1413	0,4582	7,7813
4,8 x 10 ⁻⁵ m ³ /h Çöz. Ak. Hız.	25	0,7812	2,10	3,1680	71,5	76,17	1076,9352	0,2282	1,0938
	50	1,5625	3,70	5,5817	20,8	93,07	746,8551	0,2788	3,8542
	75	2,3437	7,90	11,9177	15,6	94,80	356,3076	0,2840	12,3438
2,03 x 10 ⁻⁵ m ³ /h Çöz. Ak. Hız.	25	0,7812	1,90	2,8662	32,5	89,17	589,3152	0,1129	2,3399
	50	1,5625	3,30	4,9783	13,0	95,67	364,0369	0,1212	8,1281
	75	2,3437	7,80	11,7669	6,5	97,83	157,5037	0,1239	28,8177

Çizelge 5.16 Farklı derişimlerdeki CN⁻ nin, 1,02 M NaCl derişiminde ve 4,8 x 10⁻⁵ m³/h akış hızında deneysel sonuçları

(Orijinal pH = 10)

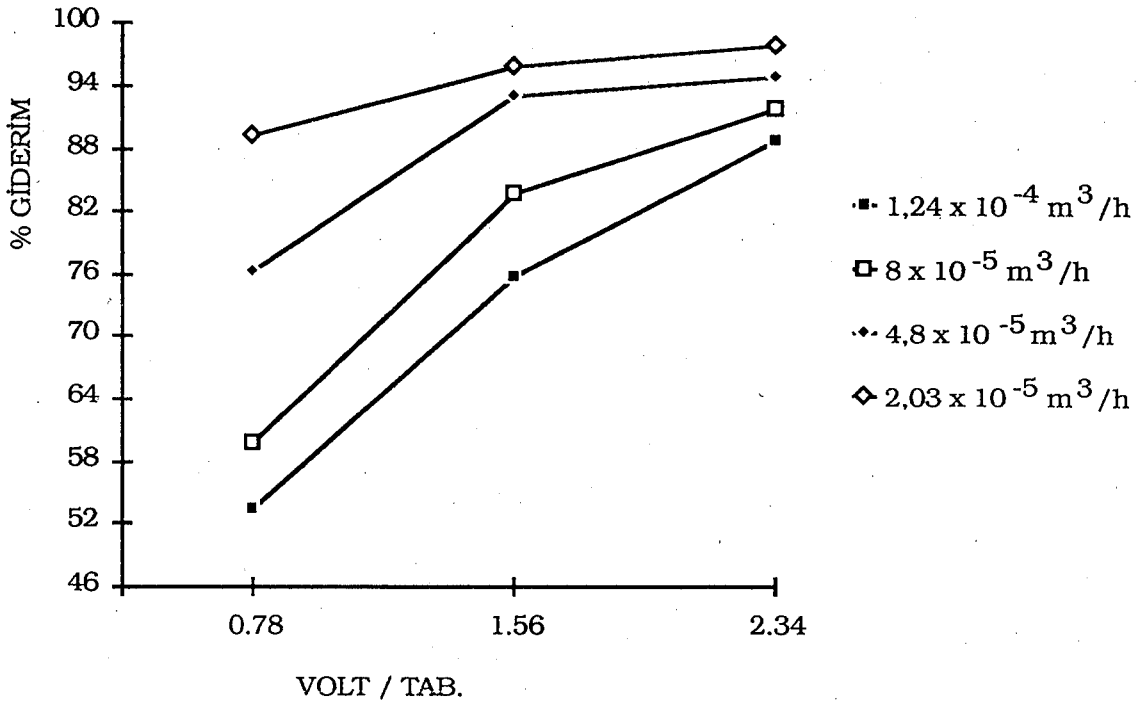
	Gerilim (V)	Ger/Tab (V)	Akım (A), x 10 ⁻³	Akım Şiddeti (A/m ²)	Son Derişim (mg/l)	% Giderim	% Akım Verimi	Hac. Zam. Ver. (kg/m ³ h)	Enerji Tük. (Kwh/m ³)
300 ppm	25	0,7812	4,00	6,0343	37,70	87,43	648,9996	0,2619	2,0833
	50	1,5625	8,00	12,0686	3,90	98,70	336,3288	0,2957	8,3333
	75	2,3437	15,00	22,6286	1,30	99,56	197,0777	0,2983	23,4375
1000 ppm	25	0,7812	5,00	7,5428	461,50	53,85	1065,9538	0,5378	2,6041
	50	1,5625	9,00	13,5771	52,00	94,80	1042,5299	0,9468	9,3750
	75	2,3437	16,00	24,1372	31,20	96,88	599,2897	0,9675	25,0000
1500 ppm	25	0,7812	5,00	7,5428	738,40	50,77	1507,4784	0,7606	2,6041
	50	1,5625	10,00	15,0857	130,00	91,33	1355,8992	1,3680	10,4166
	75	2,3437	17,00	25,6458	67,60	95,49	833,9171	1,4306	26,5625

Çizelge 5.17 300 mg/l derişimlerdeki CN⁻ nin, 0,5 M NaCl derişiminde, $4,8 \times 10^{-5}$ m³/h akış hızında deneysel sonuçları
(Orijinal pH \approx 10)

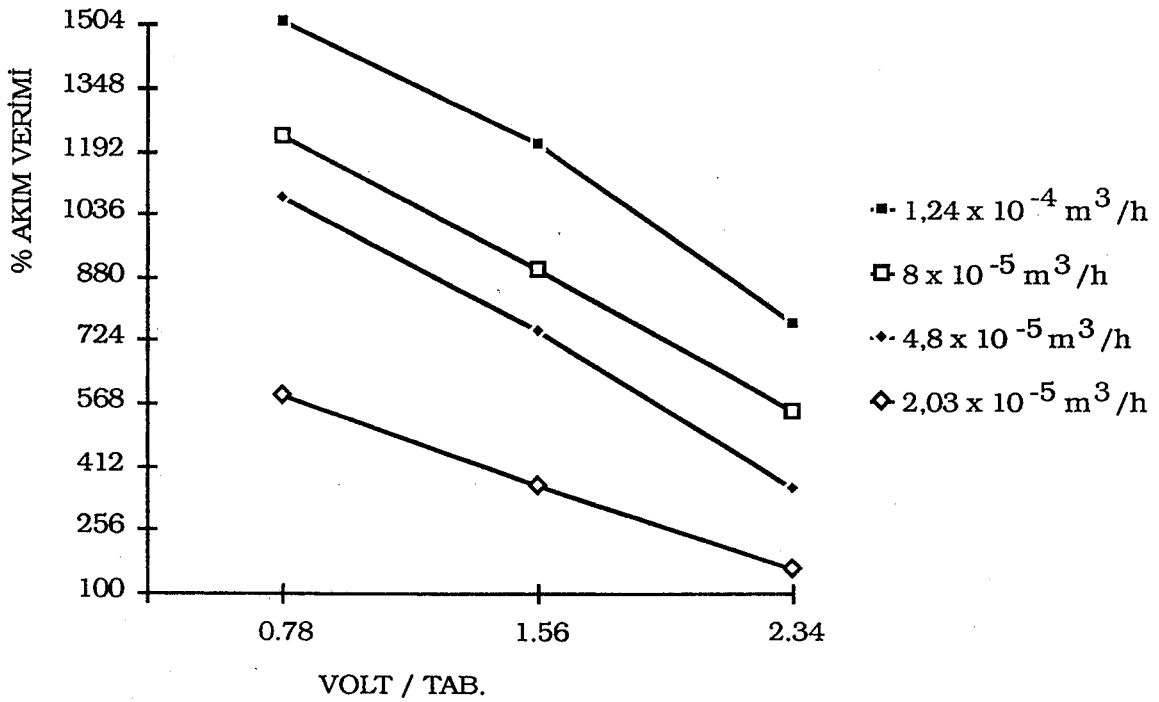
Gerilim (V)	Ger/Tab (V)	Akım (A), $\times 10^{-3}$	Akım Şiddeti (A/m ²)	Son Derişim (mg//l)	% Giderim	% Akım Verimi	Hac. Zam. Ver. (kg/m ³ h)	Enerji Tük. (Kwh/m ³)
25	0,7812	3,00	4,5257	49,40	83,53	826,7328	0,2161	1,5625
50	1,5625	4,00	6,0343	22,10	92,63	687,5996	0,2775	4,1666
75	2,3437	9,00	13,5771	15,60	94,80	703,7076	0,2840	14,0625

Çizelge 5.18 1000 mg/l derişimdeki CN⁻ nin, 1,02 M NaCl derişiminde, $4,8 \times 10^{-5}$ m³/h akış hızında deneysel sonuçları
(Ortam pH'ı = 12)

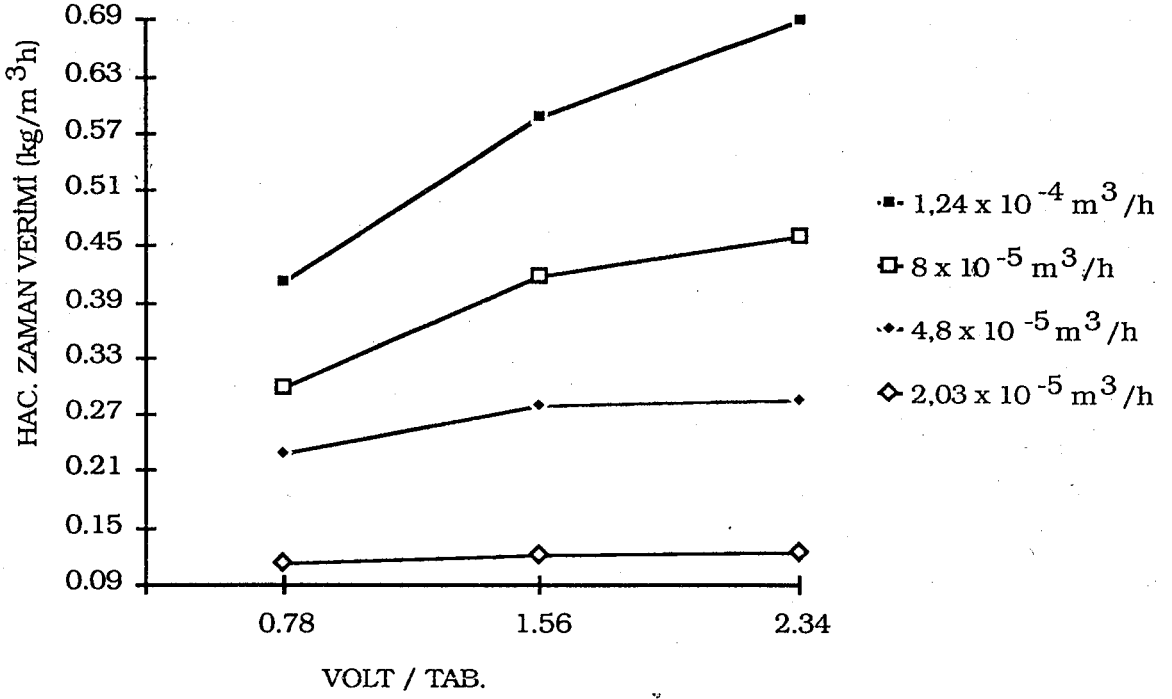
Gerilim (V)	Ger/Tab (V)	Akım (A), $\times 10^{-3}$	Akım Şiddeti (A/m ²)	Son Derişim (mg//l)	% Giderim	% Akım Verimi	Hac. Zam. Ver. (kg/m ³ h)	Enerji Tük. (Kwh/m ³)
25	0,7812	4,00	6,0343	435,50	56,45	1396,7756	0,5637	2,0833
50	1,5625	10,00	15,0857	39,00	96,10	951,1430	0,9598	10,4166
75	2,3437	17,00	25,6458	26,00	97,40	567,0640	0,9727	26,5625



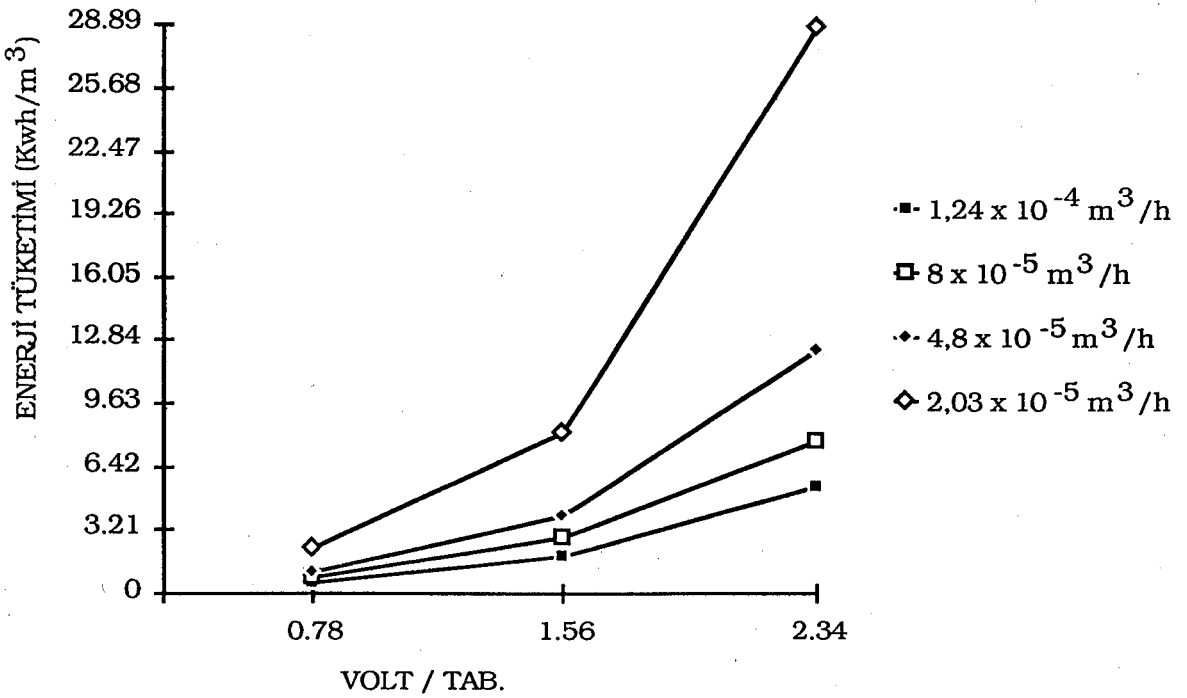
Şekil 5.36 Farklı akış hızlarında uygulanan gerilim ile % giderim değişimi.



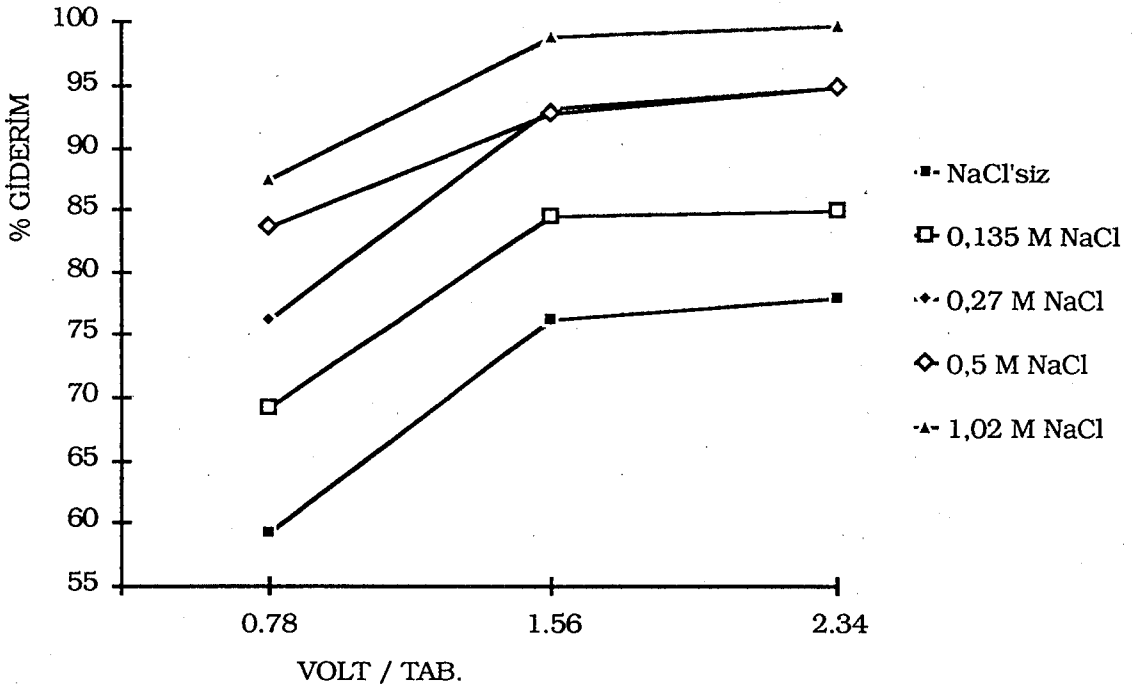
Şekil 5.37 Farklı akış hızlarında uygulanan gerilim ile % akım veriminin değişimi.



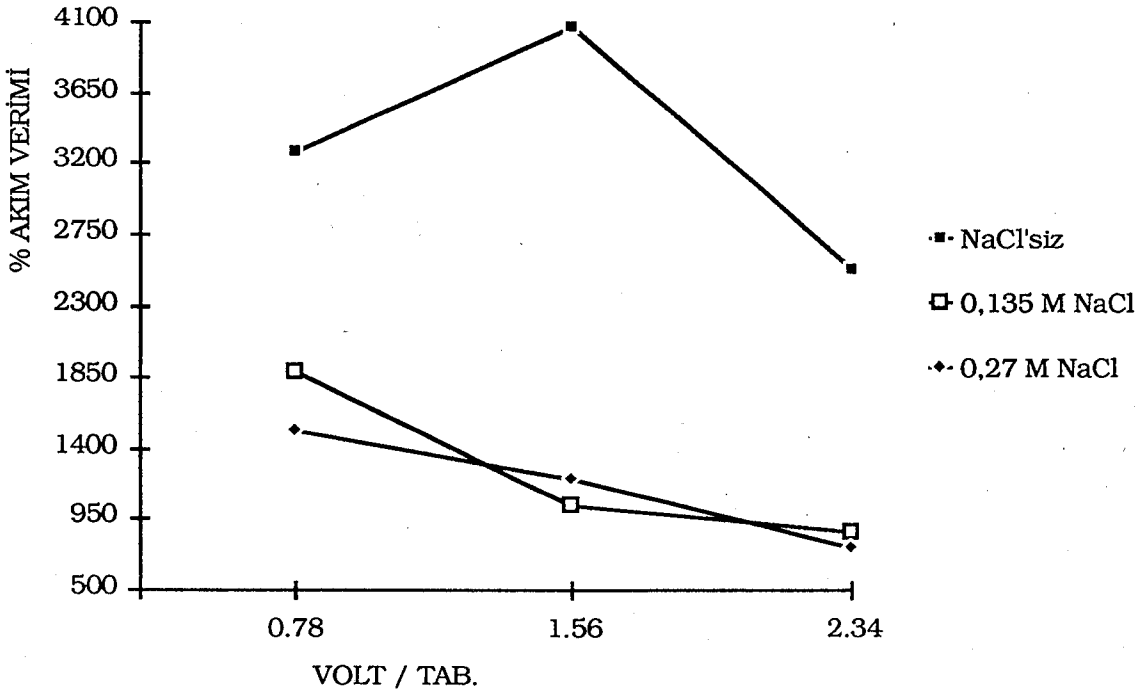
Şekil 5.38 Farklı akış hızlarında uygulanan gerilim ile hacim zaman veriminin değişimi.



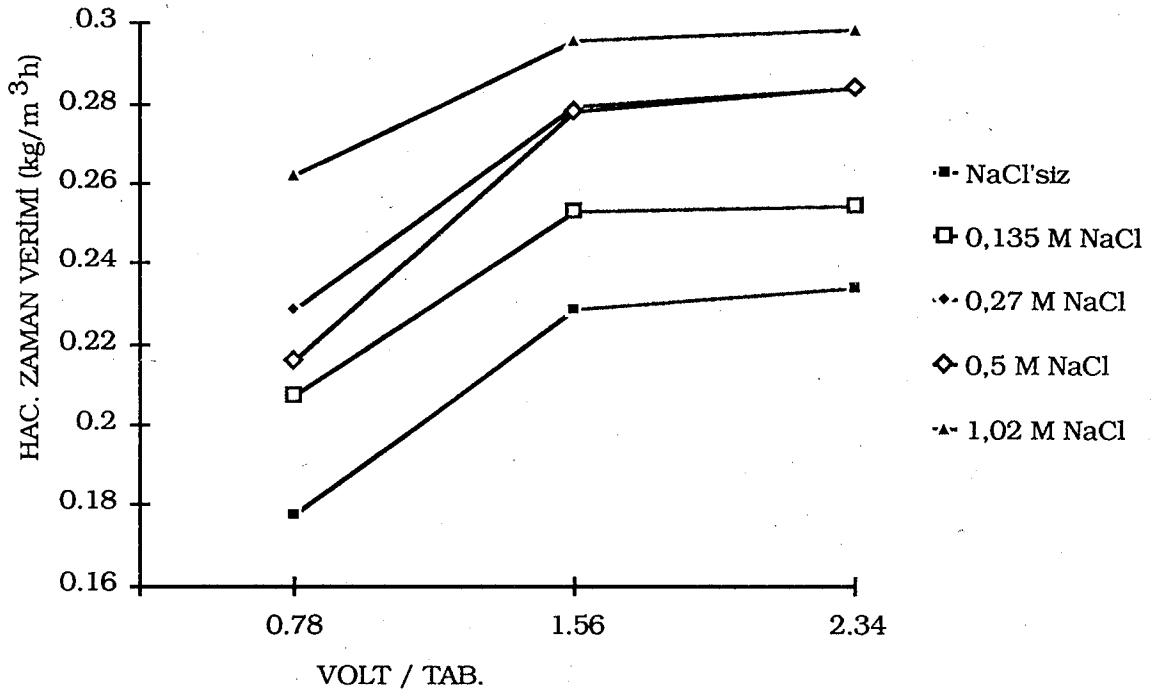
Şekil 5.39 Farklı akış hızlarında uygulanan gerilim ile enerji tüketiminin değişimi.



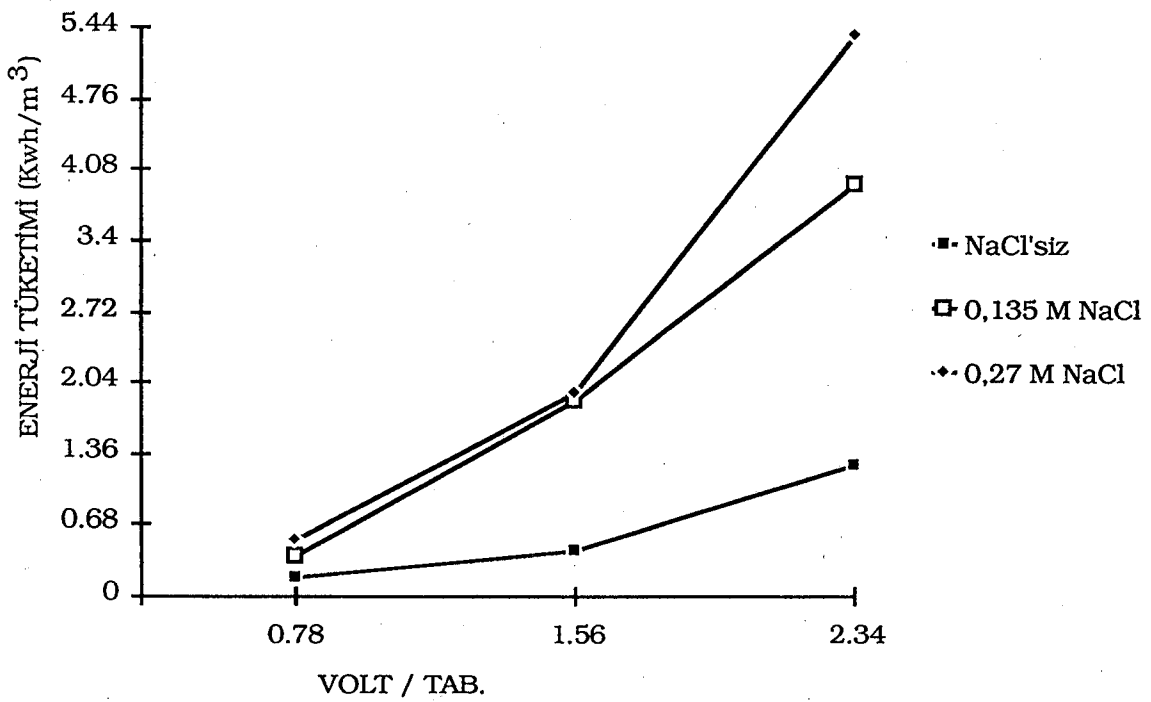
Şekil 5.40 Farklı NaCl derişimlerinde, uygulanan gerilim ile % giderim değişimi (Akış hızı $4,8 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{h}$).



Şekil 5.41 Farklı NaCl derişimlerinde, uygulanan gerilim ile % akım veriminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).



Şekil 5.42 Farklı NaCl derişimlerinde uygulanan gerilim ile hacim zaman veriminin değişimi (Akış hızı $4,8 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{h}$).



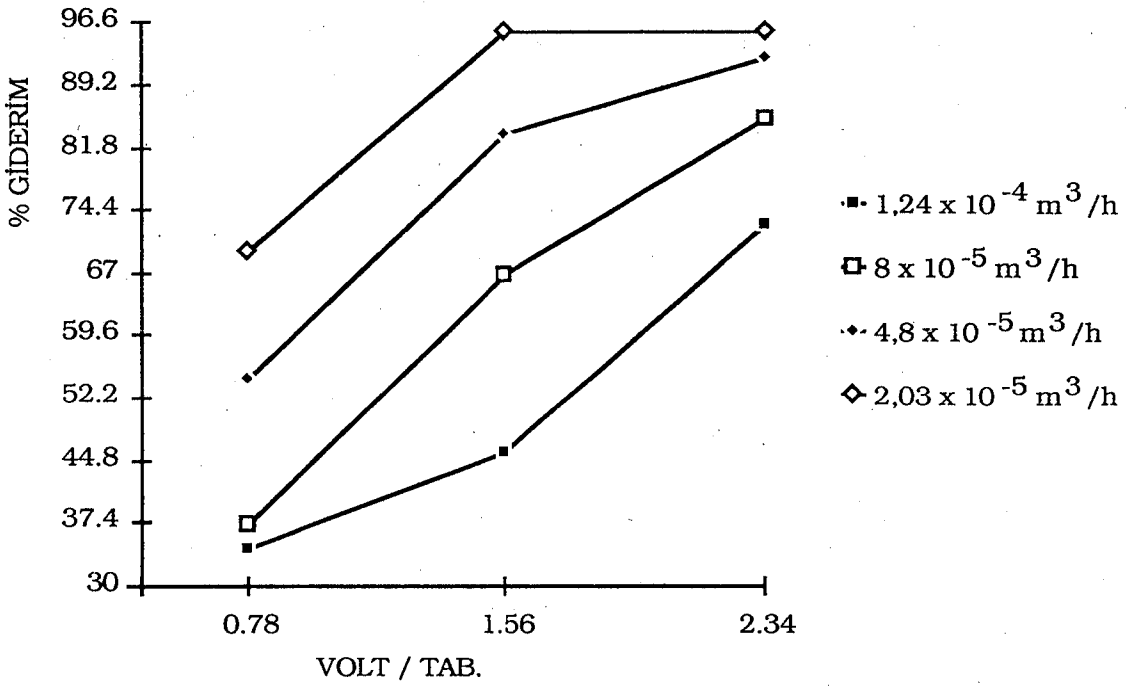
Şekil 5.43 Farklı NaCl derişimlerinde uygulanan gerilim ile enerji tüketiminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).

Çizelge 5.19 1000 mg/l derişimdeki CN⁻ nin, deneysel sonuçları (Orijinal pH' \approx 10)

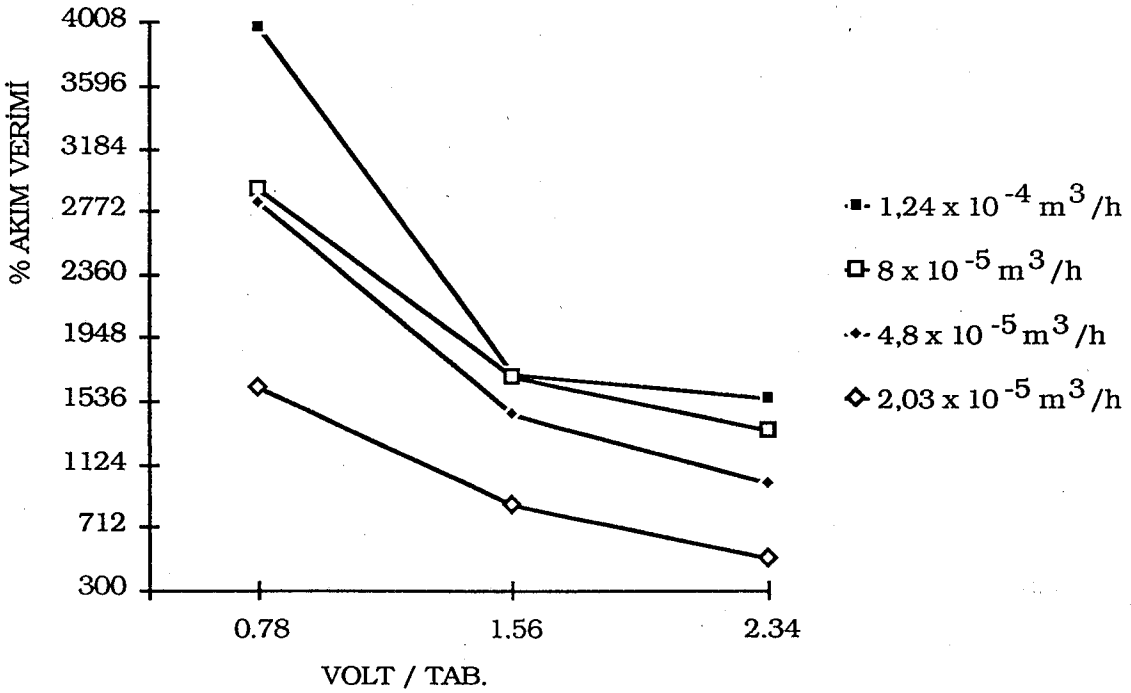
	Gerilim (V)	Ger/Tab (V)	Akım (A), $\times 10^{-3}$	Akım Şiddeti (A/m ²)	Son Derişim (mg/l)	% Giderim	% Akım Verimi	Hac. Zam. Ver. (kg/m ³ h)	Enerji Tük. (Kwh/m ³)
1,24 x 10 ⁻⁴ m ³ /h Çöz. Ak. Hiz.	25	0,7812	1,05	1,5840	777,4	22,26	5420,4957	0,5743	0,2117
	50	1,5625	3,60	5,4308	600,6	39,94	2836,6692	1,0304	1,4516
	75	2,3437	7,00	10,5600	400,4	59,96	2190,1140	1,5470	4,2339
8 x 10 ⁻⁵ m ³ /h Çöz. Ak. Hiz.	25	0,7812	1,00	1,5085	756,6	24,34	4015,0598	0,4051	0,3125
	50	1,5625	3,40	5,1291	462,8	53,72	2606,3247	0,8942	2,1250
	75	2,3437	6,30	9,5040	252,2	74,78	1958,0165	1,2447	5,9063
4,8 x 10 ⁻⁵ m ³ /h Çöz. Ak. Hiz.	25	0,7812	0,90	1,3577	582,4	41,76	4592,4102	0,4170	0,4688
	50	1,5625	3,00	4,5257	262,6	73,74	2432,7897	0,7364	3,1250
	75	2,3437	5,20	7,8446	117,0	88,30	1680,6607	0,8818	8,1250
2,03 x 10 ⁻⁵ m ³ /h Çöz. Ak. Hiz.	25	0,7812	0,90	1,3577	408,2	59,18	2752,3898	0,2499	1,1084
	50	1,5625	2,40	3,6205	106,6	89,34	1558,1605	0,3773	5,9113
	75	2,3437	4,20	6,3360	49,4	95,06	947,3839	0,4015	15,5172

Çizelge 5.20 1000 mg/l derişimdeki CN⁻ nin, 0,270 M NaCl derişimindeki deneysel sonuçları (Orijinal pH₁ = 10)

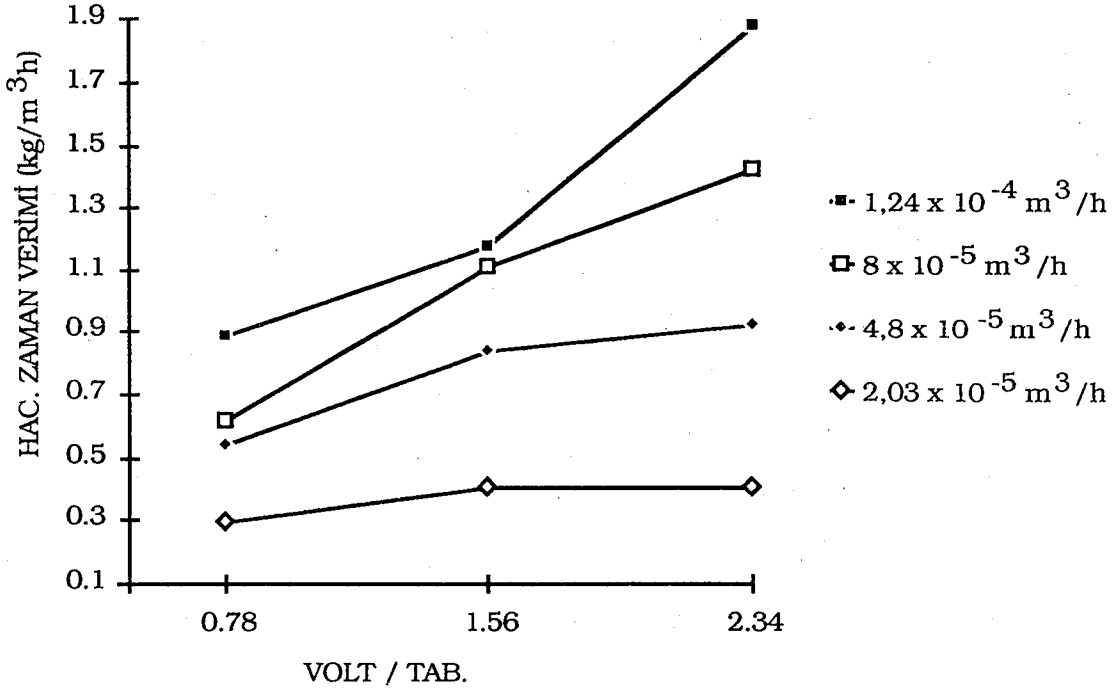
	Gerilim (V)	Ger/Tab (V)	Akım (A), x 10 ⁻³	Akım Şiddeti (A/m ²)	Son Derişim (mg/l)	% Giderim	% Akım Verimi	Hac. Zam. Ver. (kg/m ³ h)	Enerji Tük. (Kwh/m ³)
1,24 x 10 ⁻⁴ m ³ /h Çöz. Ak. Hiz.	25	0,7812	2,20	3,3188	657,8	34,22	3977,0446	0,8829	0,4435
	50	1,5625	6,80	10,2583	543,4	45,66	1716,8412	1,1780	2,7419
	75	2,3437	12,00	18,1029	273,0	72,70	1549,0174	1,8757	7,2581
8 x 10 ⁻⁵ m ³ /h Çöz. Ak. Hiz.	25	0,7812	2,10	3,1680	629,2	37,08	2912,6739	0,6172	0,6563
	50	1,5625	6,50	9,8057	335,4	66,46	1686,6245	1,1062	4,0625
	75	2,3437	10,40	15,6892	148,2	85,18	1351,0634	1,4178	9,7500
4,8 x 10 ⁻⁵ m ³ /h Çöz. Ak. Hiz.	25	0,7812	1,90	2,8662	457,6	54,24	2825,4574	0,5417	0,9896
	50	1,5625	5,70	8,5988	166,4	83,36	1447,4565	0,8325	5,9375
	75	2,3437	9,20	13,8789	78,0	92,20	991,8952	0,9208	14,3750
2,03 x 10 ⁻⁵ m ³ /h Çöz. Ak. Hiz.	25	0,7812	1,80	2,7154	304,2	69,58	1618,0406	0,2938	2,2167
	50	1,5625	4,70	7,0903	46,8	95,32	848,9139	0,4026	11,5764
	75	2,3437	7,90	11,9177	46,8	95,32	505,0500	0,4026	29,1872



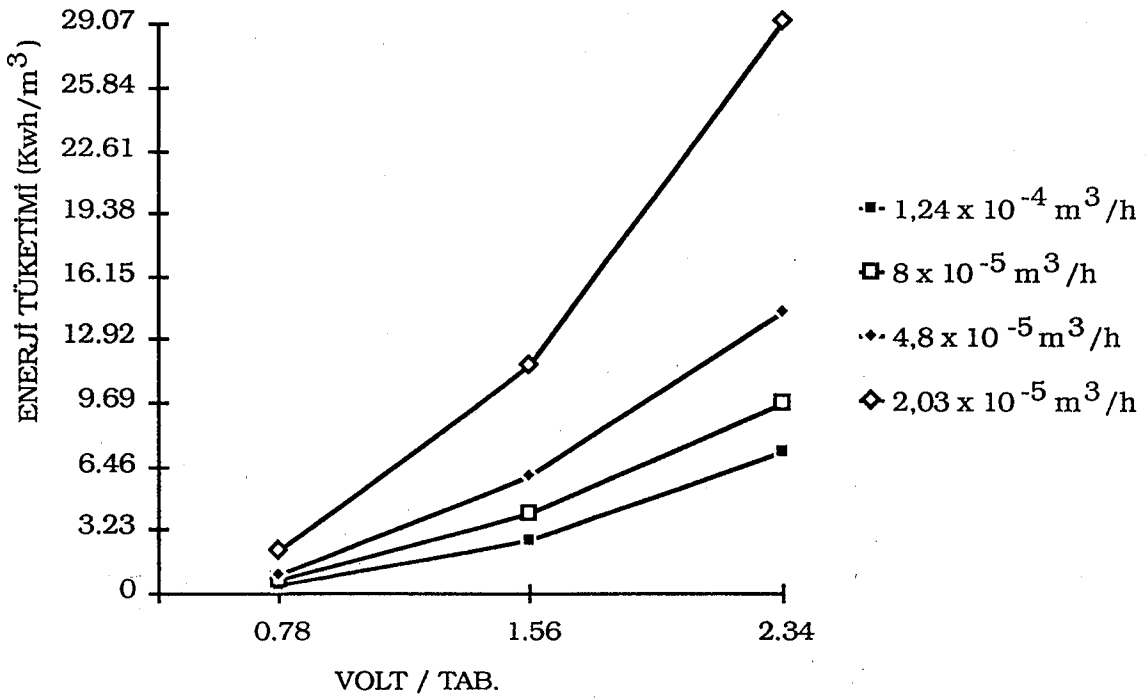
Şekil 5.44 Farklı akış hızlarında uygulanan gerilim ile % giderim değişimi.



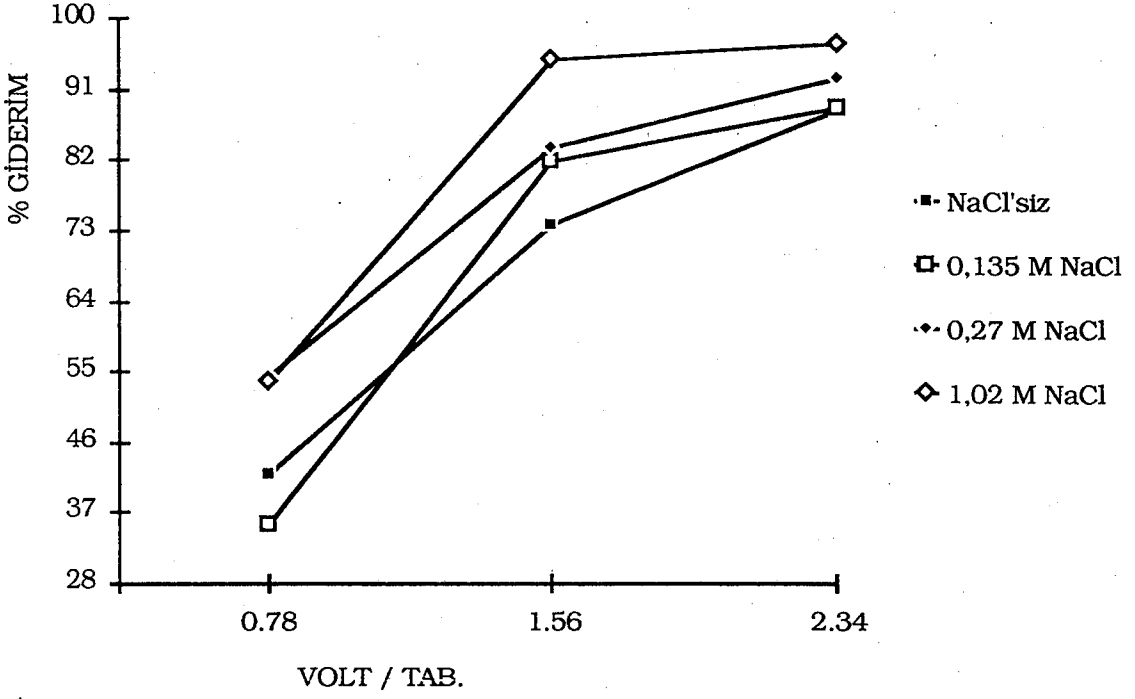
Şekil 5.45 Farklı akış hızlarında uygulanan gerilim ile % akım veriminin değişimi.



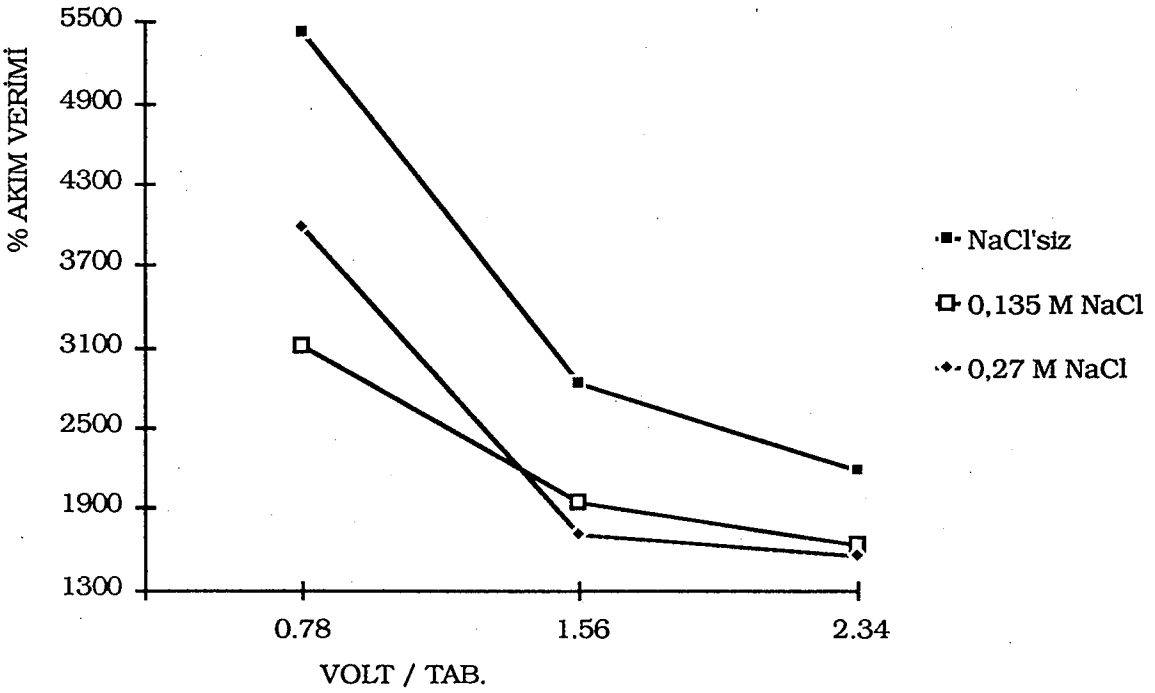
Şekil 5.46 Farklı akış hızlarında uygulanan gerilim ile hacim zaman veriminin değişimi.



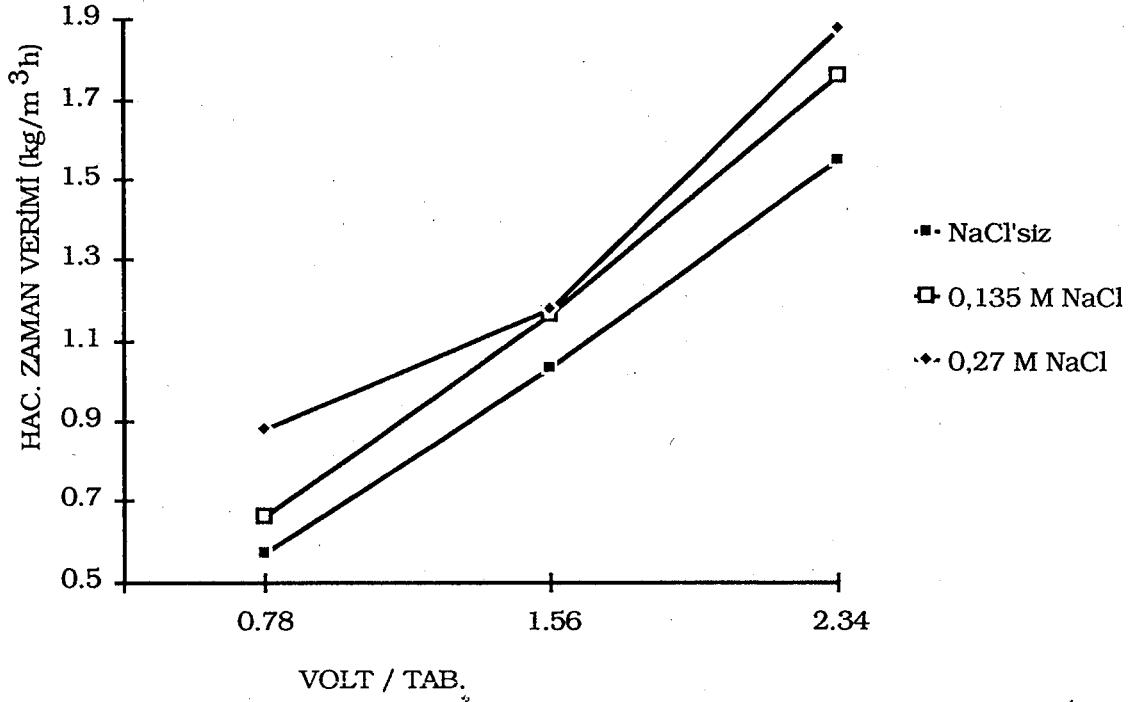
Şekil 5.47 Farklı akış hızlarında uygulanan gerilim ile enerji tüketiminin değişimi.



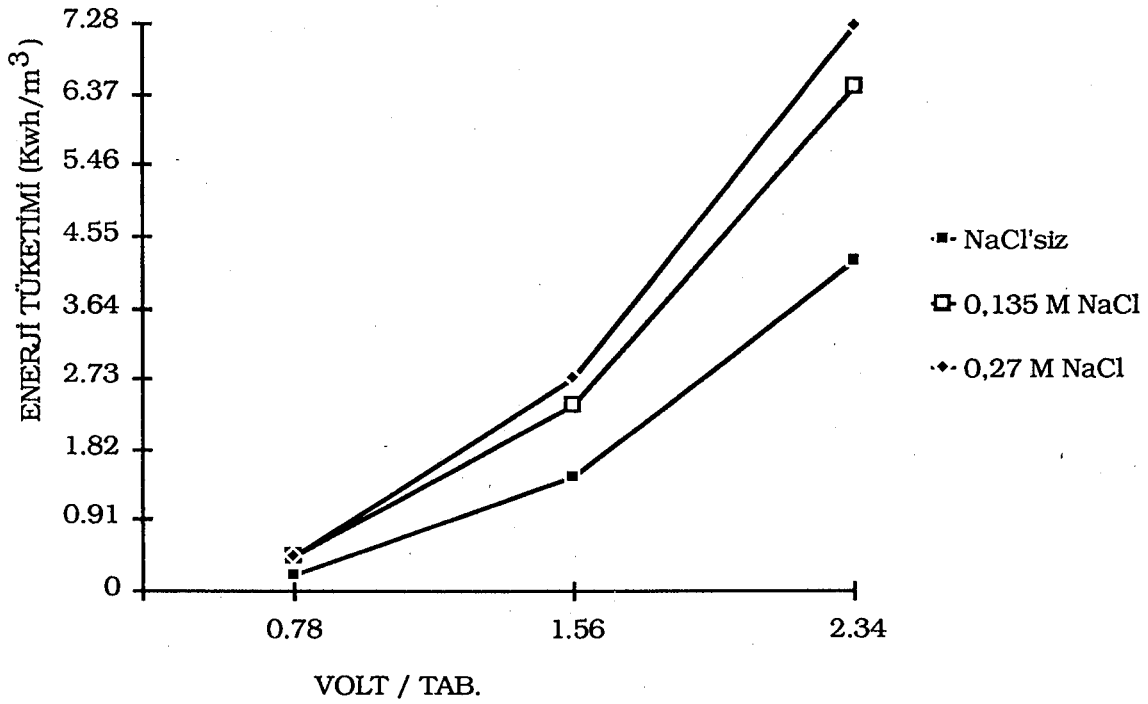
Şekil 5.48 Farklı NaCl derişimlerinde, uygulanan gerilim ile % giderim değişimi
(Akış hızı $4,8 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{h}$).



Şekil 5.49 Farklı NaCl derişimlerinde, uygulanan gerilim ile % akım veriminin değişimi
(Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).



Şekil 5.50 Farklı NaCl derişimlerinde uygulanan gerilim ile hacim zaman veriminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).



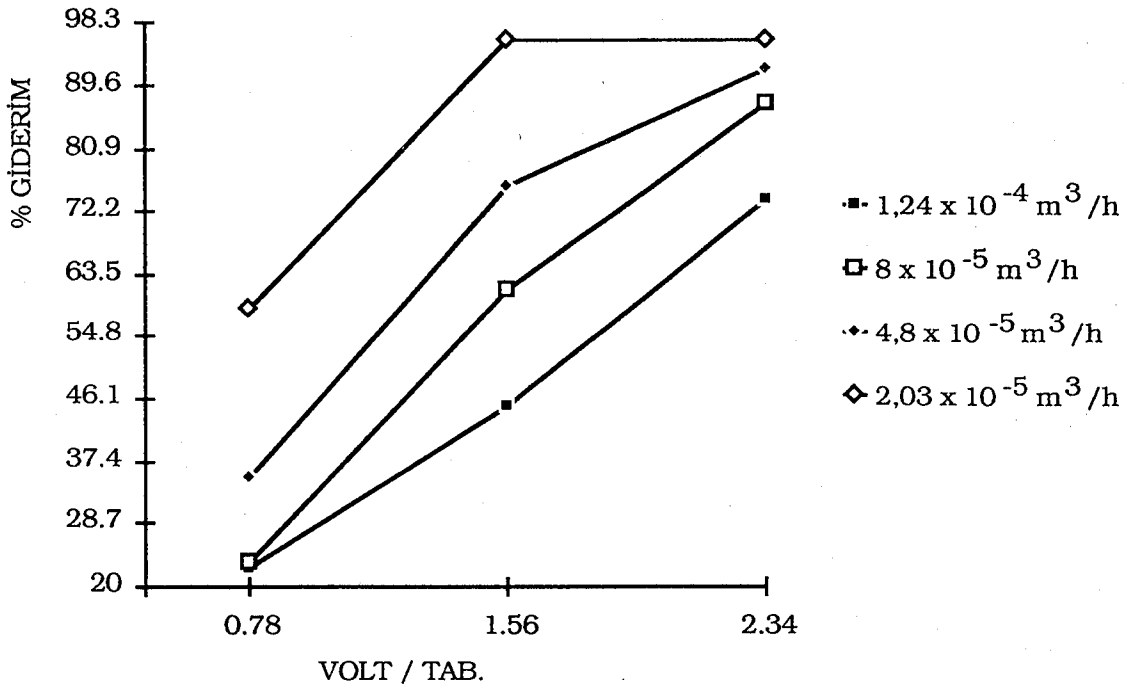
Şekil 5.51 Farklı NaCl derişimlerinde uygulanan gerilim ile enerji tüketiminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).

Çizelge 5.21 1500 mg/l derişimdeki CN⁻ nin deneysel sonuçları (Orijinal pH'ı \cong 10)

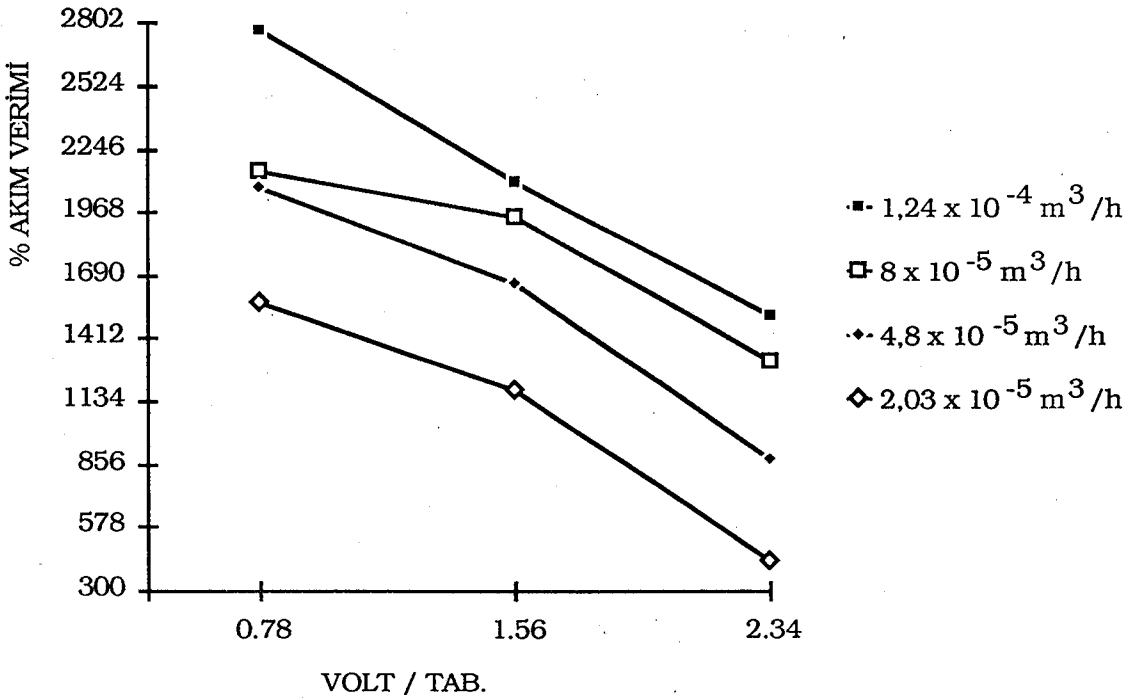
	Gerilim (V)	Ger/Tab (V)	Akım (A), $\times 10^{-3}$	Akım Şiddeti (A/m ²)	Son Derişim (mg/l)	% Giderim	% Akım Verimi	Hac. Zam. Ver. (kg/m ³ h)	Enerji Tük. (Kwh/m ³)
1,24 x 10 ⁻⁴ m ³ /h Çöz. Ak. Hiz.	25	0,7812	4,10	6,1851	936,0	37,60	3517,2107	1,4551	0,8266
	50	1,5625	5,70	8,5988	826,8	44,88	3019,7597	1,7369	2,2984
	75	2,3437	10,50	15,8400	618,8	58,75	2145,7955	2,2735	6,3508
8 x 10 ⁻⁵ m ³ /h Çöz. Ak. Hiz.	25	0,7812	3,90	5,8834	946,4	36,91	2341,5472	0,9215	1,2188
	50	1,5625	5,30	7,9954	733,2	51,12	2386,5892	1,2764	3,3125
	75	2,3437	9,30	14,0297	395,2	73,65	1959,6213	1,8390	8,7188
4,8 x 10 ⁻⁵ m ³ /h Çöz. Ak. Hiz.	25	0,7812	3,50	5,2800	631,8	57,88	2455,1296	0,8671	1,8229
	50	1,5625	4,50	6,7885	387,4	74,17	2447,0860	1,1112	4,6875
	75	2,3437	8,00	12,0686	197,6	86,83	1611,3025	1,3007	12,5000
2,03 x 10 ⁻⁵ m ³ /h Çöz. Ak. Hiz.	25	0,7812	2,90	4,3748	327,6	78,16	1692,2141	0,4952	3,5714
	50	1,5625	3,60	5,4308	200,2	86,65	1511,3029	0,5490	8,8670
	75	2,3437	6,60	9,9566	96,2	93,59	890,3049	0,5929	24,3842

Çizelge 5.22 1500 mg/l derişimdeki CN⁻ nin, 0,270 M NaCl derişimindeki deneysel sonuçları (Orijinal pH'ı \approx 10)

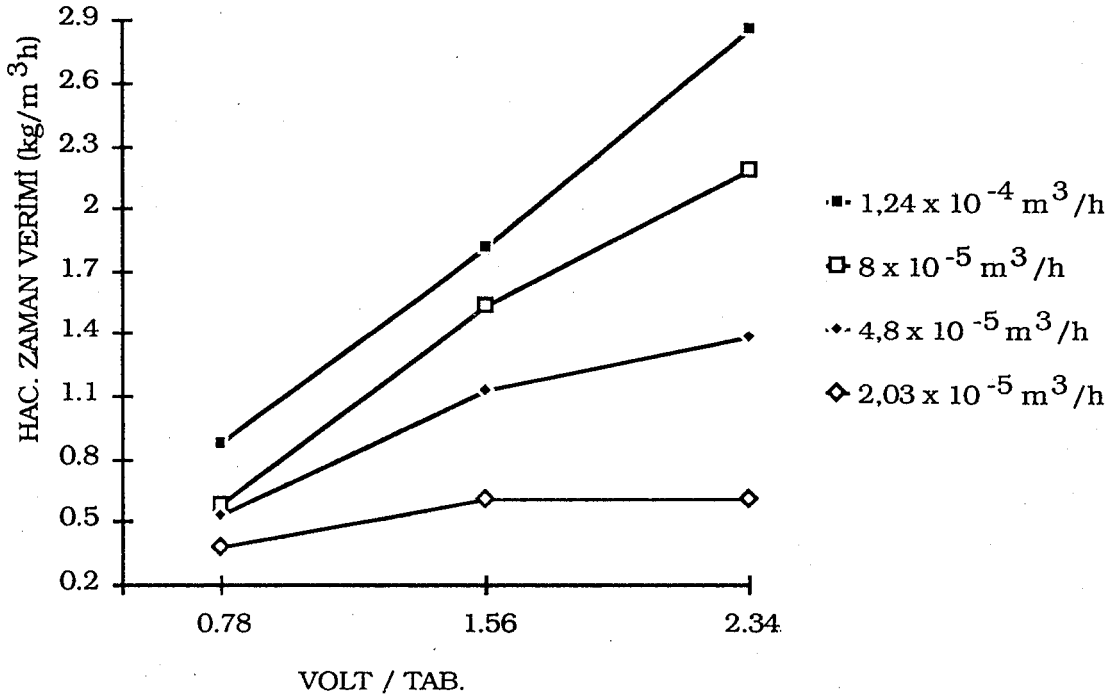
	Gerilim (V)	Ger/Tab (V)	Akım (A), x 10 ⁻³	Akım Şiddeti (A/m ²)	Son Derişim (mg/l)	% Giderim	% Akım Verimi	Hac. Zam. Ver. (kg/m ³ h)	Enerji Tük. (Kwh/m ³)
1,24 x 10 ⁻⁴ m ³ /h Çöz. Ak. Hiz.	25	0,7812	3,10	4,6765	1164,8	22,35	2764,6837	0,8648	0,6250
	50	1,5625	8,60	12,9737	795,6	46,96	2094,2283	1,8174	3,4677
	75	2,3437	18,70	28,2104	395,2	73,65	1510,5851	2,8505	11,3105
8 x 10 ⁻⁵ m ³ /h Çöz. Ak. Hiz.	25	0,7812	2,70	4,0731	1149,2	23,39	2143,2225	0,5839	0,8438
	50	1,5625	7,80	11,7669	579,8	61,35	1946,0727	1,5317	4,8750
	75	2,3437	16,50	24,8915	192,4	87,17	1307,2613	2,1766	15,4688
4,8 x 10 ⁻⁵ m ³ /h Çöz. Ak. Hiz.	25	0,7812	2,50	3,7714	975,0	35,00	2078,4615	0,5243	1,3021
	50	1,5625	6,80	10,2583	369,2	75,39	1645,8853	1,1293	7,0833
	75	2,3437	15,50	23,3829	122,2	91,85	879,7862	1,3760	24,2188
2,03 x 10 ⁻⁵ m ³ /h Çöz. Ak. Hiz.	25	0,7812	2,35	3,5451	618,8	58,75	1569,5824	0,3722	2,8941
	50	1,5625	5,10	7,6937	62,4	95,84	1179,9005	0,6072	12,5616
	75	2,3437	14,00	21,1200	59,8	96,01	430,5982	0,6083	57,7241



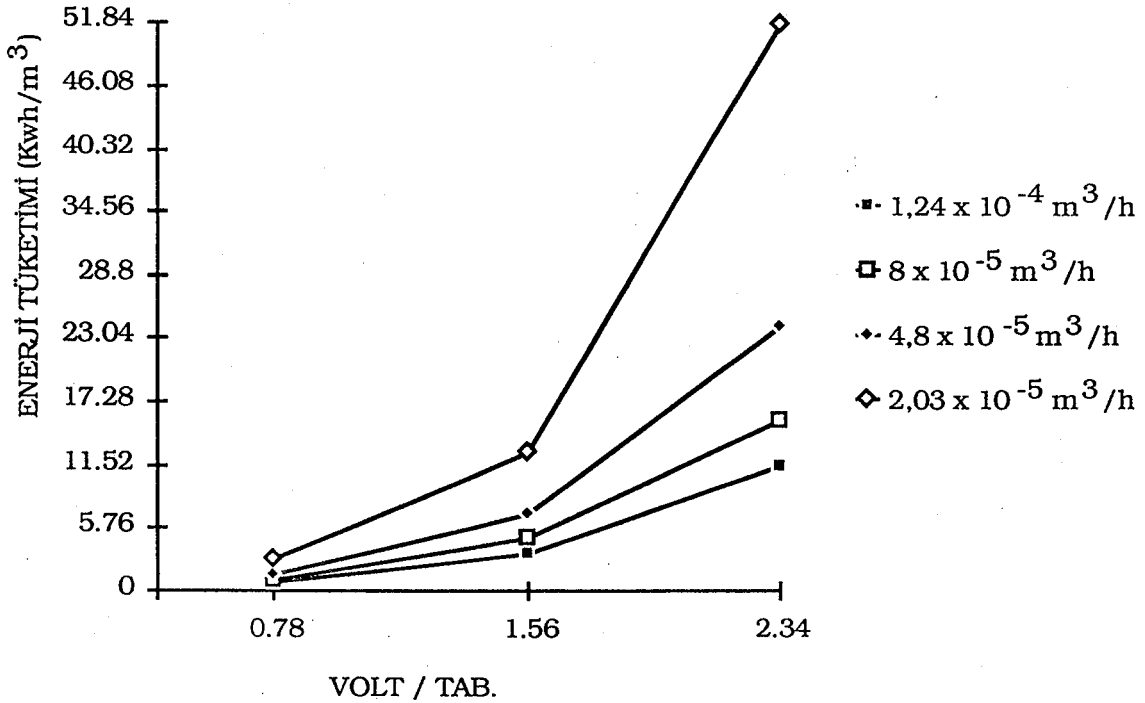
Şekil 5.52 Farklı akış hızlarında uygulanan gerilim ile % giderim değişimi.



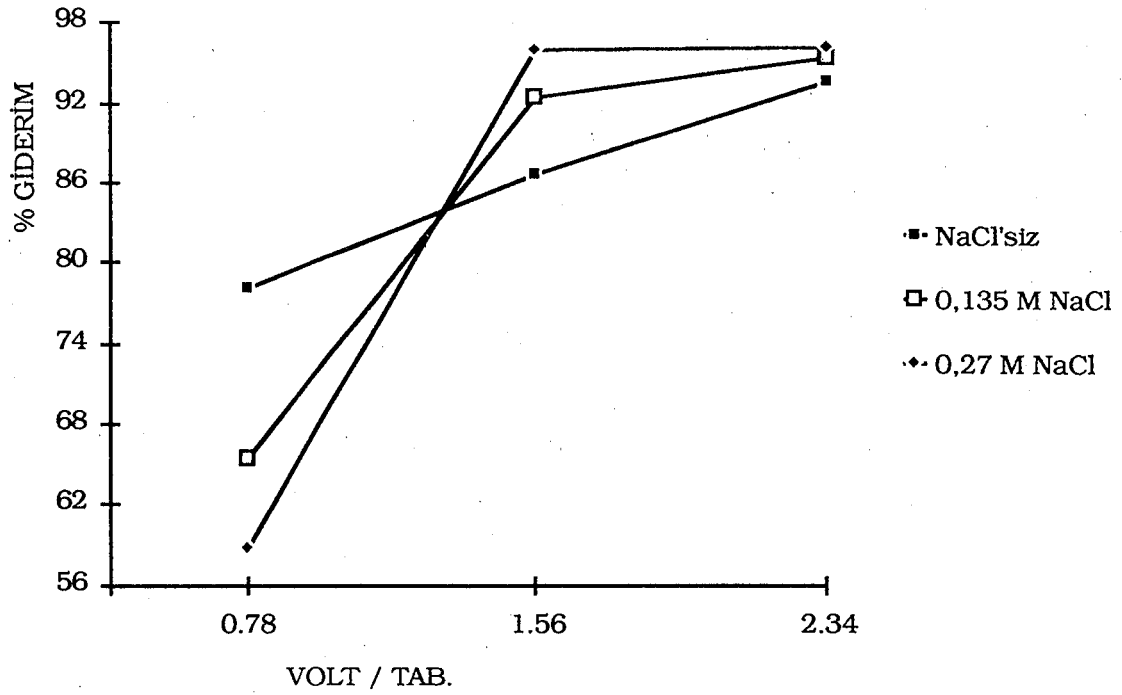
Şekil 5.53 Farklı akış hızlarında uygulanan gerilim ile % akım veriminin değişimi.



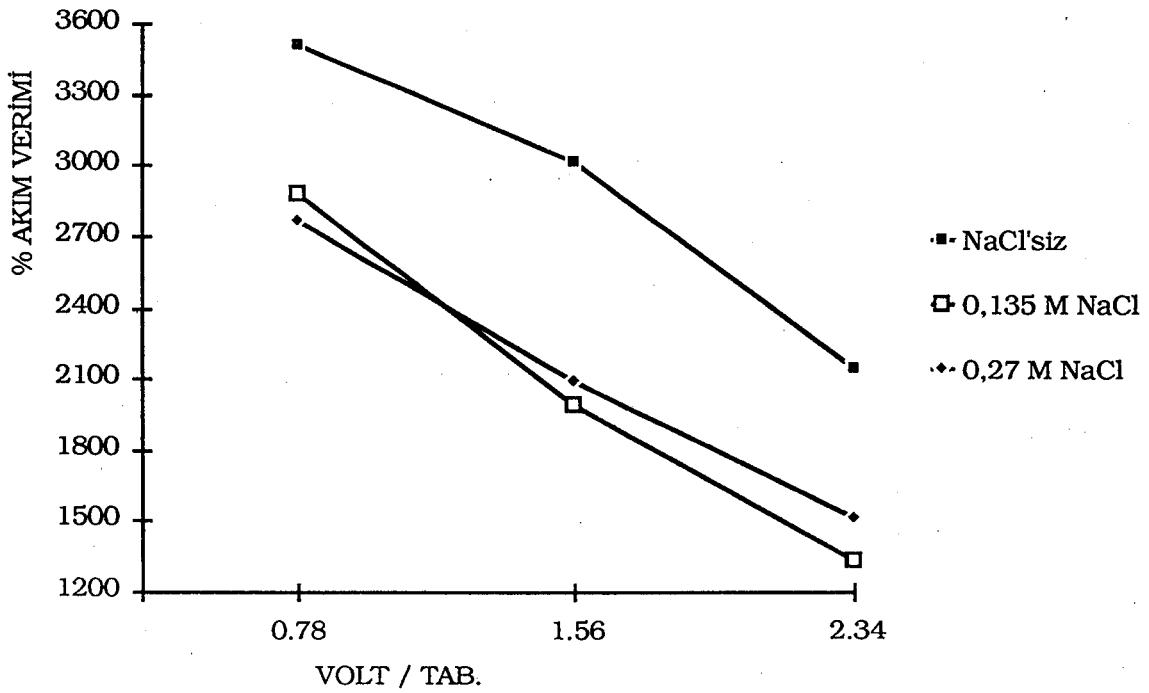
Şekil 5.54 Farklı akış hızlarında uygulanan gerilim ile hacim zaman veriminin değişimi.



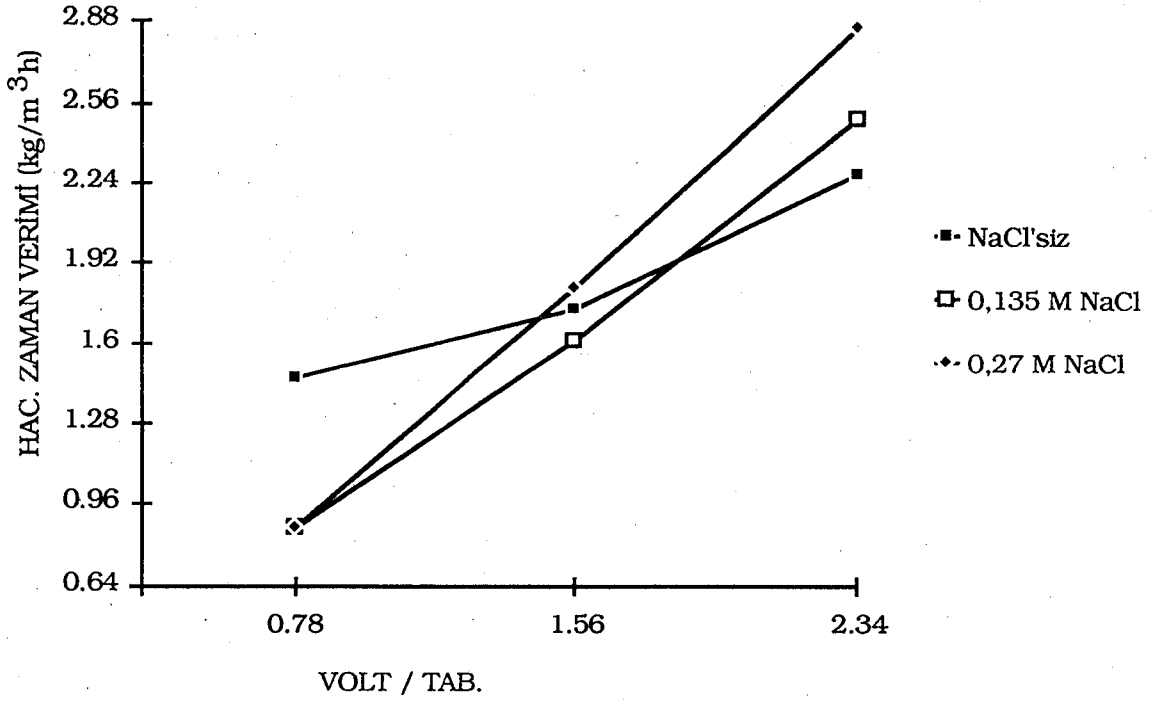
Şekil 5.55 Farklı akış hızlarında uygulanan gerilim ile enerji tüketiminin değişimi.



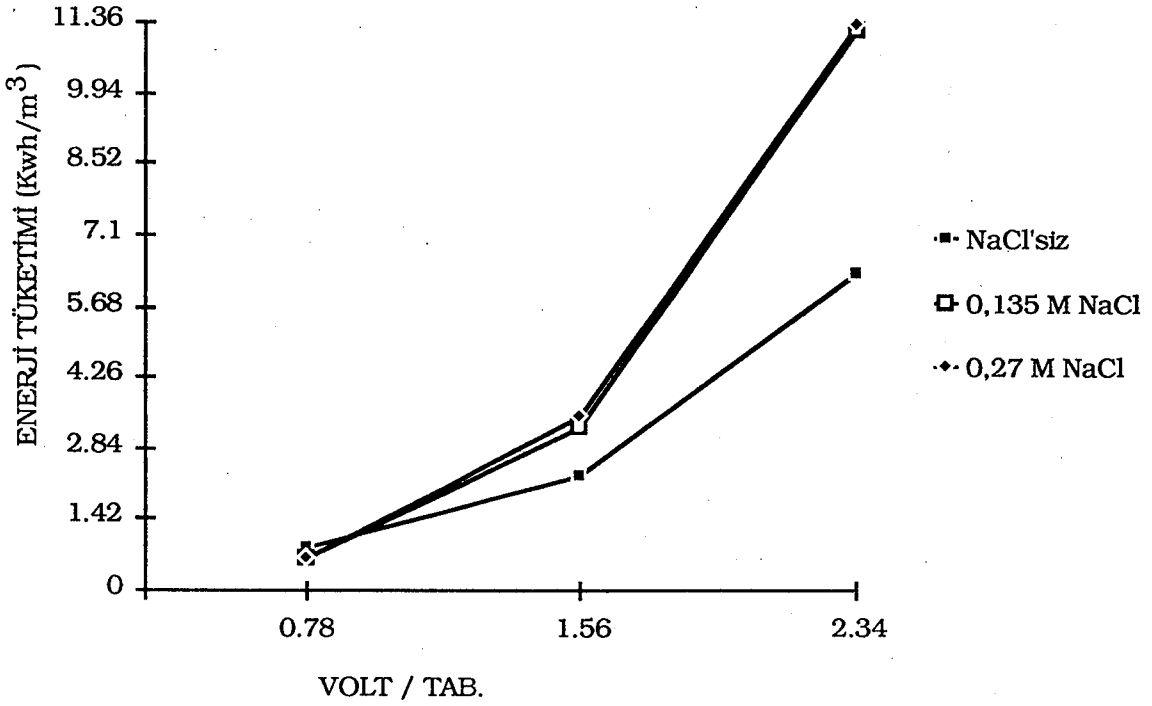
Şekil 5.56 Farklı NaCl derişimlerinde, uygulanan gerilim ile % giderim değişimi (Akış hızı $2,03 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{h}$).



Şekil 5.57 Farklı NaCl derişimlerinde, uygulanan gerilim ile % akım veriminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).



Şekil 5.58 Farklı NaCl derişimlerinde uygulanan gerilim ile hacim zaman veriminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).



Şekil 5.59 Farklı NaCl derişimlerinde uygulanan gerilim ile enerji tüketiminin değişimi (Akış hızı $1,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$).

5.3 Kesikli - geri döngülü sistemde yapılan deneysel çalışmalar ve sonuçları

300, 1000 ve 1500 mg/l CN⁻ başlangıç derişimleri ile değişik tuz derişimlerinde (NaCl süz, 0,135, 0,27, 1,02 M) çalışılmış ve elde edilen sonuçlar çizelge 5.23 - 5.32 de verilmiştir. Giderime NaCl derişiminin etkisi Şekil 5.60, 5.61 ve 5.62 de gösterilmiştir. 300 mg/l CN⁻ ve 0,135 M NaCl ile yapılan deney sonuçları farklı gerilimler için (40, 50, 60, 70V) çizelge 5.33, 5.34, 5.35, 5.24'de ve farklı akış hızları için ($1,06 \times 10^{-3}$, $1,56 \times 10^{-3}$, $2,17 \times 10^{-3}$ m³/h) çizelge 5.36, 5.37, 5.24 de verilmiştir. Bu parametrelerin etkileri Şekil 5.63 ve 5.64 de görülebilir. Ayrıca aynı derişimdeki siyanürün 1,02 M NaCl ile farklı gerilim (60, 70V) ve akış hızında ($1,56 \times 10^{-3}$, $2,17 \times 10^{-3}$ m³/h) elde edilen sonuçları çizelge 5.38, 5.26, 5.39 da ve Şekil 5.65, 5.66 da gösterilmiştir. CN⁻ giderimine NaCl'süz ortam ve değişik NaCl derişimlerinde pH'nın etkisi de araştırılmıştır. Sonuçlar Çizelge 5.40, 5.41, 5.42, 5.43 de, şekiller ise 5.67, 5.72, 5.73 ve 5.74 de verilmiştir. Farklı NaCl derişimleri (NaCl'süz, 0,135, 1,02 M) ve farklı pH'larda (~10, 7), farklı başlangıç siyanür derişiminin giderim üzerindeki etkisi Şekil 5.68, 5.69, 5.70 ve 5.71 de gösterilmiştir.

Sıcaklığın CN⁻ giderimine etkisi de 300 mg/l CN⁻ ve 1,02 M NaCl içeren çözeltide incelenmiştir. Bunun için oda sıcaklığından farklı iki sıcaklıkta daha çalışılmış, sonuçlar çizelge 5.44, 5.45 ve Şekil 5.75'de verilmiştir.

Yapılan çalışmalarda reaktörde belirli koşullarda kütle aktarımını belirlemek amacıyla farklı siyanür ve NaCl derişimi, farklı gerilim ve akış hızları için kütle aktarım katsayıları hesaplanmış ve sonuçlar çizelge 5.46-5.52 de verilmiştir. Ayrıca kütle aktarım katsayısına bu parametrelerin etkileri Şekil 5.77-5.83 de gösterilmiştir. Kütle aktarım katsayılarının bu tür reaktörler için beklenen ~~en iyi~~ değerlerde olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 5. 23 300 mg/l derişimdeki CN⁻ 'nin, pH \approx 10'da, $2,17 \times 10^{-3}$ m³/h akış hızında, 70 V gerilim (1,90 mA) de deneysel sonuçları

ZAMAN (DK)	SON DERİŞİM (mg/l)	GİDERİM (%)	AKIM VERİMİ (%)	HAC. ZAM. VERİMİ (kg/m ³ h)	ENERJİ TÜK. (Kwh/g) $\times 10^{-3}$
30	236,60	21,13	6880,4543	1,3191	2,0977
60	204,10	31,96	5203,7505	0,9977	2,7737
90	178,10	40,63	4409,7128	0,8454	3,2731
120	158,60	47,13	3836,3416	0,7355	3,7623
150	143,00	52,33	3407,6698	0,6533	4,2356
180	115,70	61,43	2857,2954	0,6391	4,3298
210	105,30	64,90	2641,2154	0,5787	4,7817
240	93,60	68,80	702,0400	0,5368	5,1550

Çizelge 5. 24 300 mg/l derişimdeki CN⁻ 'nin, 0.135 M NaCl derişiminde, pH \approx 10'da, $2,17 \times 10^{-3}$ m³/h akış hızında, 70 V gerilim (7,60 mA) de deneysel sonuçları

ZAMAN (DK)	SON DERİŞİM (mg/l)	GİDERİM (%)	AKIM VERİMİ (%)	HAC. ZAM. VERİMİ (kg/m ³ h)	ENERJİ TÜK. (Kwh/g) $\times 10^{-3}$
30	206,70	31,10	2531,3343	1,9413	5,7020
60	158,60	47,13	1918,1708	1,4710	7,5247
90	123,50	58,83	1596,2147	1,2241	9,0424
120	89,70	70,10	1426,4191	1,0939	10,1188
150	69,90	77,03	1254,0007	0,9617	11,5101
180	49,40	83,53	1133,1768	0,8690	12,7374
210	32,50	89,16	1036,7967	0,7951	13,9214
240	18,20	93,93	955,6940	0,7329	15,1029

Çizelge 5. 25 300 mg/l. derişimdeki CN⁻ 'nin, 0,270 M NaCl derişiminde, pH \approx 10'da, $2,17 \times 10^{-3}$ m³/h akış hızında, 70 V gerilim (12,80 mA) de deneysel sonuçları

ZAMAN (DK)	SON DERİŞİM (mg/lt)	GİDERİM (%)	AKIM VERİMİ (%)	HAC. ZAM. VERİMİ (kg/m ³ h)	ENERJİ TÜK. (Kwh/g) $\times 10^{-3}$
30	221,00	26,33	1272,6195	1,6437	11,3417
60	144,30	51,90	1254,0940	1,6198	11,5093
90	106,60	64,46	1038,5004	1,3413	13,8986
120	79,30	73,56	888,8200	1,1480	16,2392
150	55,90	81,36	786,4466	1,0158	18,3531
180	39,00	87,00	700,7461	0,9051	20,5977
210	27,30	90,90	627,5648	0,8105	22,9996
240	14,30	95,23	575,2965	0,7430	25,0892

Çizelge 5. 26 300 mg/l. derişimdeki CN⁻ 'nin, 1,02 M NaCl derişiminde, pH \approx 10'da, $2,17 \times 10^{-3}$ m³/h akış hızında, 70 V gerilim (37,00 mA) de deneysel sonuçları

ZAMAN (DK)	SON DERİŞİM (mg/lt)	GİDERİM (%)	AKIM VERİMİ (%)	HAC. ZAM. VERİMİ (kg/m ³ h)	ENERJİ TÜK. (Kwh/g) $\times 10^{-3}$
30	183,30	38,90	650,3551	2,4282	22,1936
60	126,10	57,96	484,5619	1,8091	29,7872
90	85,80	71,40	397,9036	1,4856	36,2745
120	46,80	84,40	352,7633	1,3171	40,9162
150	23,40	92,20	308,2917	1,1510	46,8185
180	11,70	96,10	267,7769	0,9997	53,9021
210	1,30	99,56	237,8027	0,8878	60,6960
240	0,00	100,00	208,9830	0,7802	69,0666

Çizelge 5. 27 1000 mg/l. derişimdeki CN⁻ ' nin, pH ≈10'da, 2,17 x 10⁻³ m³/h akış hızında, 70 V gerilim (5,00 mA) de deneysel sonuçları

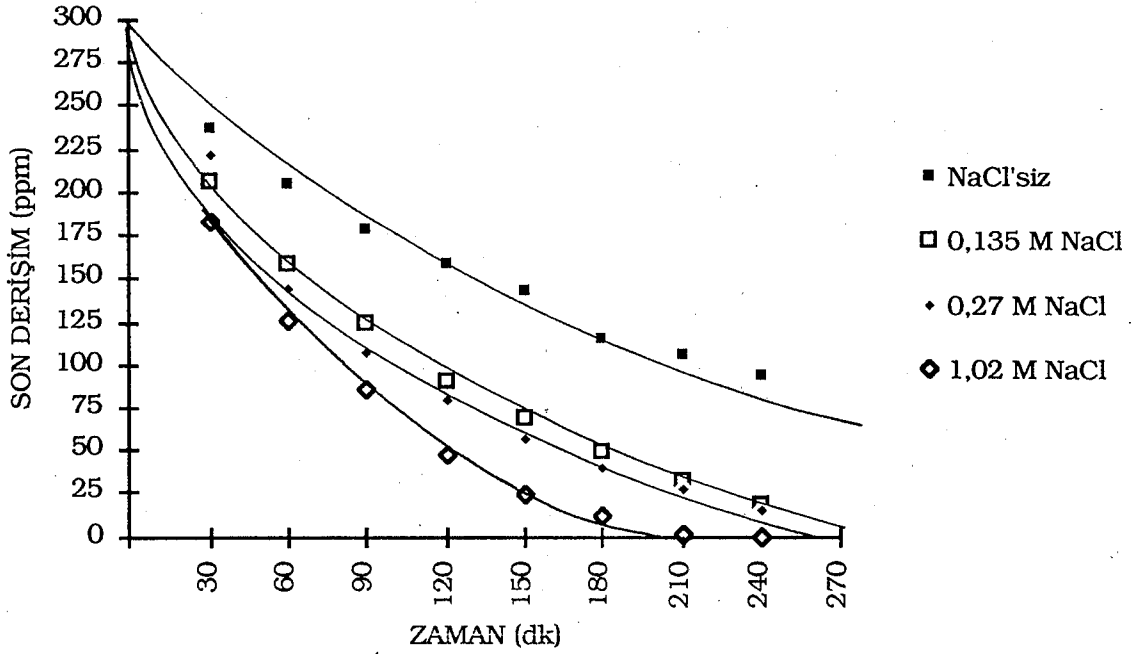
ZAMAN (DK)	SON DERİŞİM (mg/l)	GİDERİM (%)	AKIM VERİMİ (%)	HAC. ZAM. VERİMİ (kg/m ³ h)	ENERJİ TÜK. (Kwh/g) x 10 ⁻³
30	819,00	18,10	7464,3162	3,7661	1,9337
60	759,20	24,08	4965,2136	2,5052	2,9069
90	694,20	30,58	4203,6609	2,1209	3,4336
120	639,60	36,04	3715,6623	1,8747	3,8845
150	590,20	40,98	3379,9743	1,7053	4,2703
180	540,80	45,92	3156,1823	1,5924	4,5731
210	486,20	51,38	3026,9658	1,5272	4,7683
240	455,00	54,50	2809,4284	1,4147	5,1376

Çizelge 5. 28 1000 mg/l derişimdeki CN⁻ ' nin, 0,135 M NaCl derişiminde, pH ≈10'da, 2,17 x 10⁻³ m³/h akış hızında, 70 V gerilim (10,60 mA) de deneysel sonuçları

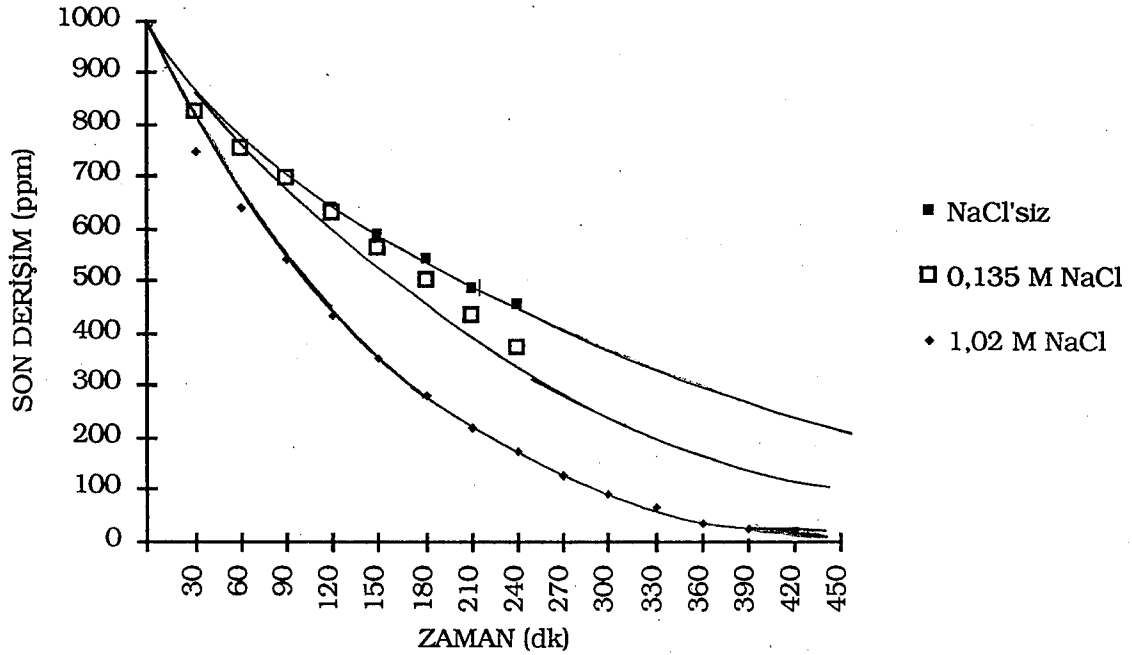
ZAMAN (DK)	SON DERİŞİM (mg/l)	GİDERİM (%)	AKIM VERİMİ (%)	HAC. ZAM. VERİMİ (kg/m ³ h)	ENERJİ TÜK. (Kwh/g) x 10 ⁻³
30	824,20	17,58	3419,7508	3,6579	4,2207
60	754,00	24,60	2392,6584	2,5593	6,0325
90	696,80	30,32	1966,0001	2,1029	7,3416
120	631,80	36,82	1790,6033	1,9153	8,0608
150	564,20	43,58	1695,4805	1,8135	8,5130
180	501,80	49,82	1615,2065	1,7277	8,9361
210	436,80	56,32	1565,0931	1,6740	9,2223
240	374,40	62,56	1521,1860	1,6271	9,4884

Çizelge 5. 29 1000 mg/l CN derişimdeki CN⁻ 'nin, 1,02 M NaCl derişiminde, pH \approx 10'da, $2,17 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h}$ akış hızında, 70 V gerilim (38,00 mA) de deneysel sonuçları

ZAMAN (DK)	SON DERİŞİM (mg/l)	GİDERİM (%)	AKIM VERİMİ (%)	HAC. ZAM. VERİMİ (kg/m ³ h)	ENERJİ TÜK. (Kwh/g) $\times 10^{-3}$
30	746,20	25,38	1377,1761	5,2808	10,4806
60	639,60	36,04	977,8058	3,7494	14,7613
90	540,80	45,92	830,5742	3,1849	17,3780
120	434,20	56,58	767,5396	2,9431	18,8052
150	351,00	64,90	704,3241	2,7007	20,4930
180	280,80	71,92	650,4236	2,4941	22,1913
210	221,00	77,90	603,8614	2,3155	23,9024
240	171,60	82,84	561,8856	2,1545	25,6880
270	124,80	87,52	527,6703	2,0233	27,3537
300	91,00	90,90	493,2439	1,8913	29,2629
330	65,00	93,50	461,2290	1,7686	31,2941
360	36,40	96,36	435,7259	1,6708	33,1257
390	26,00	97,40	406,5495	1,5589	35,5030
420	18,20	98,18	380,5334	1,4591	37,9303



Şekil 5.60 300 mg/l. derişimdeki CN'ün, $\text{pH} \approx 10$ 'da, $2,17 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h}$ akış hızında, 70 V gerilimde, farklı NaCl derişimlerinde zaman ile değişimi.



Şekil 5.61 1000 mg/l derişimdeki CN'ün, $\text{pH} \approx 10$ 'da, $2,17 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h}$ akış hızında, 70 V gerilimde, farklı NaCl derişimlerinde zaman ile değişimi.

Çizelge 5. 30 1500 mg/l. derişimdeki CN^- 'nin, $\text{pH} \approx 10$ 'da, $2,17 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h}$ akış hızında, 70 V gerilim (7,40 mA) de deneysel sonuçları

ZAMAN (DK)	SON DERİŞİM (mg/l)	GİDERİM (%)	AKIM VERİMİ (%)	HAC. ZAM. VERİMİ (kg/m ³ h)	ENERJİ TÜK. (Kwh/g) $\times 10^{-3}$
30	1263,60	15,76	6587,1448	4,9188	2,1912
60	1224,60	18,36	3836,9282	2,8651	3,7618
90	1151,80	23,21	3234,1283	2,4150	4,4629
120	1097,20	26,85	2805,9453	2,0952	5,1439
150	1027,00	31,53	2635,9725	1,9683	5,4756
180	977,60	34,82	2426,0606	1,8116	5,9494
210	917,80	38,81	2317,5221	1,7305	6,2281
240	842,40	43,84	2290,4539	1,7103	6,3017

Çizelge 5. 31 1500 mg/l. derişimdeki CN^- 'nin, 0,135 M NaCl derişiminde, $\text{pH} \approx 10$ 'da, $2,17 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h}$ akış hızında, 70 V gerilim (14,00 mA) de deneysel sonuçları

ZAMAN (DK)	SON DERİŞİM (mg/l)	GİDERİM (%)	AKIM VERİMİ (%)	HAC. ZAM. VERİMİ (kg/m ³ h)	ENERJİ TÜK. (Kwh/g) $\times 10^{-3}$
30	1245,40	16,97	3749,8321	5,2975	3,8491
60	1164,80	22,34	2468,4676	3,4873	5,8472
90	1058,20	29,45	2168,9916	3,0642	6,6545
120	962,00	35,86	1980,9600	2,7985	7,2862
150	873,60	41,76	1845,1648	2,6067	7,8224
180	785,20	47,65	1754,6347	2,4788	8,2260
210	704,60	53,02	1673,5587	2,3643	8,6245
240	644,80	57,01	1574,4581	2,2243	9,1674

Çizelge 5. 32 1500 mg/l derişimdeki CN⁻ ' nin, 1,02 M NaCl derişiminde, pH \cong 10'da, $2,17 \times 10^{-3}$ m³/h akış hızında, 70 V gerilim (39,00 mA) de deneysel sonuçları

ZAMAN (DK)	SON DERİŞİM (mg/l)	GİDERİM (%)	AKIM VERİMİ (%)	HAC. ZAM. VERİMİ (kg/m ³ h)	ENERJİ TÜK. (Kwh/g) x 10 ⁻³
30	1214,20	19,05	1511,0508	5,9467	9,5524
60	1055,60	29,62	1174,7918	4,6233	12,2862
90	925,60	38,29	1012,3018	3,9839	14,2583
120	808,60	46,09	913,8738	3,5965	15,7940
150	681,20	54,58	865,8141	3,4074	16,6707
180	564,20	62,38	824,6100	3,2452	17,5037
210	478,40	68,10	771,6132	3,0366	18,7059
240	377,00	74,86	742,1755	2,9208	19,4479
270	304,20	79,72	702,4780	2,7645	20,5469
300	231,40	84,57	670,7204	2,6396	21,5197
330	179,40	88,04	634,7394	2,4980	22,7396
360	137,80	90,81	600,1730	2,3619	24,0493
390	91,00	93,93	573,0394	2,2551	25,1880
420	57,20	96,18	544,8725	2,1443	26,4901

Çizelge 5. 33 300 mg/l derişimdeki CN⁻ 'nin, 0,135 M NaCl derişiminde, pH \approx 10'da, $2,17 \times 10^{-3}$ m³/h akış hızında, 40 V gerilim (3,80 mA) de deneysel sonuçları

ZAMAN (DK)	SON DERİŞİM (mg/l)	GİDERİM (%)	AKIM VERİMİ (%)	HAC. ZAM. VERİMİ (kg/m ³ h)	ENERJİ TÜK. (Kwh/g) x 10 ⁻³
30	236,60	21,13	3440,2271	1,3191	2,3947
60	213,20	28,93	2354,9820	0,9030	3,5023
90	193,70	35,43	1922,6926	0,7372	4,2897
120	175,50	41,50	1688,9127	0,6476	4,8835
150	158,60	47,13	1534,5366	0,5884	5,3748
180	146,90	51,03	1384,5919	0,5309	5,9568
210	130,00	56,66	1317,7977	0,5053	6,2588
240	120,90	59,70	1214,7963	0,4658	6,7895

Çizelge 5. 34 300 mg/l derişimdeki CN⁻ 'nin, 0,135 M NaCl derişiminde pH \approx 10'da, $2,17 \times 10^{-3}$ m³/h akış hızında, 50 V gerilim (5,00 mA) de deneysel sonuçları

ZAMAN (DK)	SON DERİŞİM (mg/l)	GİDERİM (%)	AKIM VERİMİ (%)	HAC. ZAM. VERİMİ (kg/m ³ h)	ENERJİ TÜK. (Kwh/g) x 10 ⁻³
30	224,90	25,03	3097,0726	1,5626	3,3288
60	200,20	33,26	2057,8418	1,0382	5,0100
90	171,60	42,80	1765,0427	0,8905	5,8411
120	149,50	50,16	1551,6292	0,7828	6,6445
150	131,30	56,23	1391,4145	0,7020	7,4096
180	113,10	62,30	1284,6047	0,6481	8,0256
210	102,70	65,76	1162,3595	0,5864	8,8697
240	93,60	68,80	1063,9743	0,9368	9,6899

Çizelge 5. 35 300 mg/l derişimdeki CN^- 'nin, 0,135 M NaCl derişiminde, $pH \approx 10$ 'da, $2,17 \times 10^{-3} m^3/h$ akış hızında, 60 V gerilim (6,20 mA) de deneysel sonuçları

ZAMAN (DK)	SON DERİŞİM (mg/l)	GİDERİM (%)	AKIM VERİMİ (%)	HAC. ZAM. VERİMİ (kg/m ³ h)	ENERJİ TÜK. (Kwh/g) $\times 10^{-3}$
30	213,20	28,93	2886,7521	1,8060	4,2857
60	175,50	41,50	2070,2801	1,2952	5,9759
90	143,00	52,33	1740,4765	1,0889	7,1082
120	111,80	62,73	1564,7659	0,9789	7,9064
150	87,10	70,96	1416,1049	0,8855	8,7406
180	63,70	78,76	1309,7917	0,8194	9,4456
210	45,50	84,83	1209,1481	0,7564	10,2318
240	26,00	91,33	1139,0698	0,7126	10,8613

Çizelge 5. 36 300 mg/l derişimdeki CN^- 'nin, 0,135 M NaCl derişiminde, $pH \approx 10$ 'da, $1,06 \times 10^{-3} m^3/h$ akış hızında, 70 V gerilim (6,00 mA) de deneysel sonuçları

ZAMAN (DK)	SON DERİŞİM (mg/l)	GİDERİM (%)	AKIM VERİMİ (%)	HAC. ZAM. VERİMİ (kg/m ³ h)	ENERJİ TÜK. (Kwh/g) $\times 10^{-3}$
30	204,10	31,96	3295,7086	1,9954	4,3795
60	170,30	43,23	2228,6413	1,3493	6,4764
90	143,00	52,33	1798,4924	1,0889	8,0294
120	126,10	57,96	1494,0660	0,9045	9,6607
150	100,10	66,63	1373,9565	0,8318	10,5052
180	79,30	73,56	1264,0995	0,7653	11,4182
210	66,30	77,90	1147,3366	0,6946	12,5802
240	54,60	81,80	1054,1800	0,6382	13,6319

Çizelge 5. 37 300 mg/l derişimdeki CN^- 'nin, 0,135 M NaCl derişiminde, $pH \approx 10$ 'da, $1,56 \times 10^{-3} m^3/h$ akış hızında, 70 V gerilim (6,50 mA) de deneysel sonuçları

ZAMAN (DK)	SON DERİŞİM (mg/lit)	GİDERİM (%)	AKIM VERİMİ (%)	HAC. ZAM. VERİMİ (kg/m ³ h)	ENERJİ TÜK. (Kwh/g) x 10 ⁻³
30	205,40	31,53	3000,9533	1,9683	4,8097
60	165,10	44,96	2139,6860	1,4034	6,7457
90	127,40	57,73	1825,1040	1,1971	7,9084
120	101,40	66,20	1575,0246	1,0330	9,1641
150	75,40	74,86	1424,9769	0,9346	10,1291
180	53,30	82,23	1304,3255	0,8555	11,0660
210	39,00	87,00	1102,7979	0,7758	12,2030
240	26,00	91,33	1086,4973	0,7126	13,2846

Çizelge 5. 38 300 mg/l derişimdeki CN^- 'nin, 1,02 M NaCl derişiminde, $pH \approx 10$ 'da, $2,17 \times 10^{-3} m^3/h$ akış hızında, 60 V gerilim (28,00 mA) de deneysel sonuçları

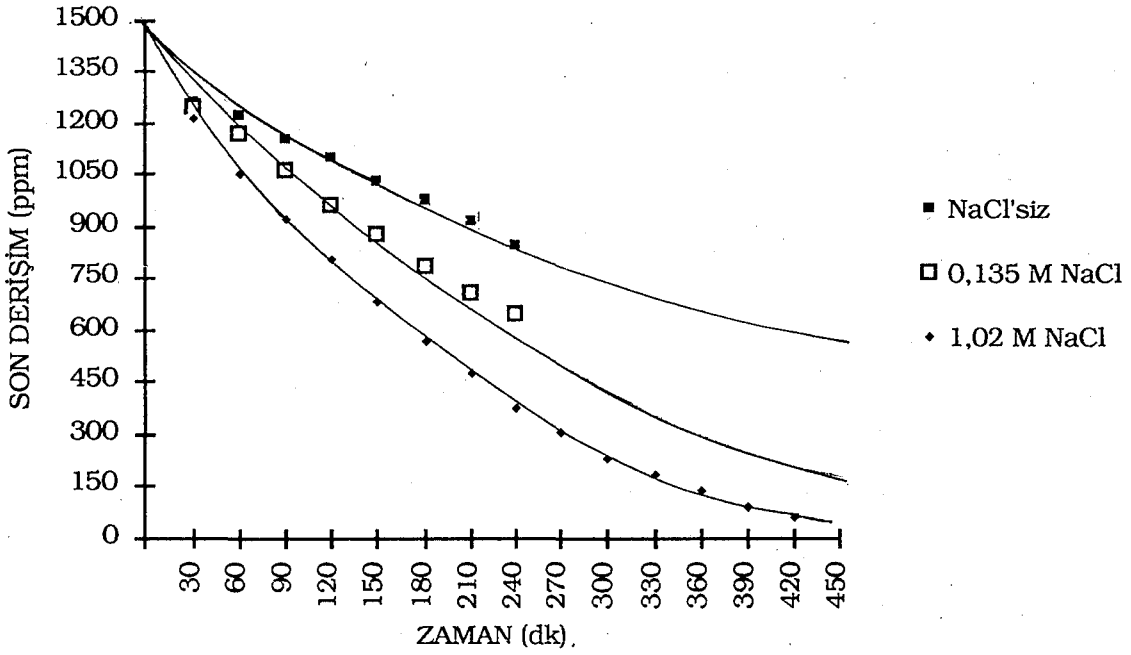
ZAMAN (DK)	SON DERİŞİM (mg/lit)	GİDERİM (%)	AKIM VERİMİ (%)	HAC. ZAM. VERİMİ (kg/m ³ h)	ENERJİ TÜK. (Kwh/g) x 10 ⁻³
30	193,70	35,43	782,8105	2,2118	15,8043
60	149,50	50,16	554,1533	1,5657	22,3255
90	107,90	64,03	471,5519	1,3323	26,2363
120	72,80	75,73	418,2844	1,1818	29,5774
150	49,40	83,53	369,0918	1,0428	33,5195
180	32,50	89,16	328,3189	0,9276	37,6822
210	22,10	92,63	292,3572	0,8260	42,3173
240	7,80	97,40	268,9760	0,7599	45,9958

Çizelge 5. 39 300 mg/l derişimdeki CN⁻ ' nin, 1,02 M NaCl derişiminde, pH = 10'da, $1,56 \times 10^{-3}$ m³/h akış hızında, 70 V gerilim (30 mA) de deneysel sonuçları

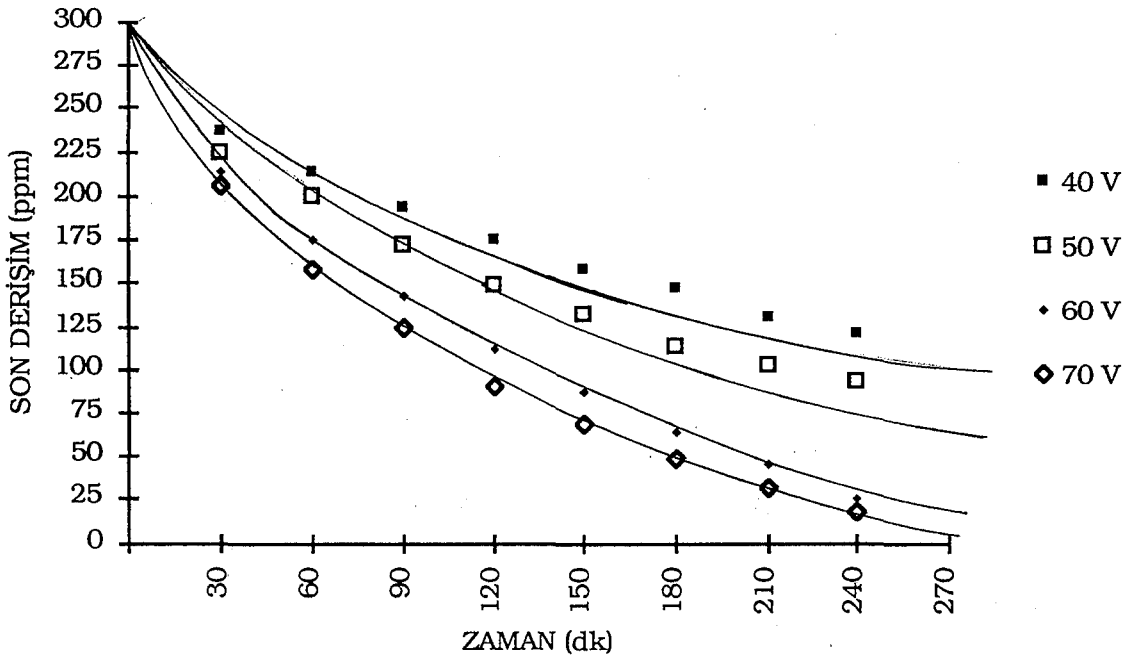
ZAMAN (DK)	SON DERİŞİM (mg/l)	GİDERİM (%)	AKIM VERİMİ (%)	HAC. ZAM. VERİMİ (kg/m ³ h)	ENERJİ TÜK. (Kwh/g) x 10 ⁻³
30	185,90	38,03	784,2343	2,3741	18,4049
60	139,10	53,63	552,9504	1,6739	26,1031
90	98,80	67,06	460,9639	1,3954	31,3120
120	65,00	78,33	403,8016	1,2224	35,7446
150	39,00	87,00	358,7820	1,0861	40,2298
180	18,20	93,93	322,8122	0,9772	44,7125
210	11,70	96,10	283,0784	0,8569	50,9885
240	6,50	97,83	252,1612	0,7633	57,2402

Çizelge 5. 40 300 mg/l derişimdeki CN⁻ ' nin, 0,135 M NaCl derişiminde, pH = 7'de, $2,17 \times 10^{-3}$ m³/h akış hızında, 70 V gerilim (7,10 mA) de deneysel sonuçları

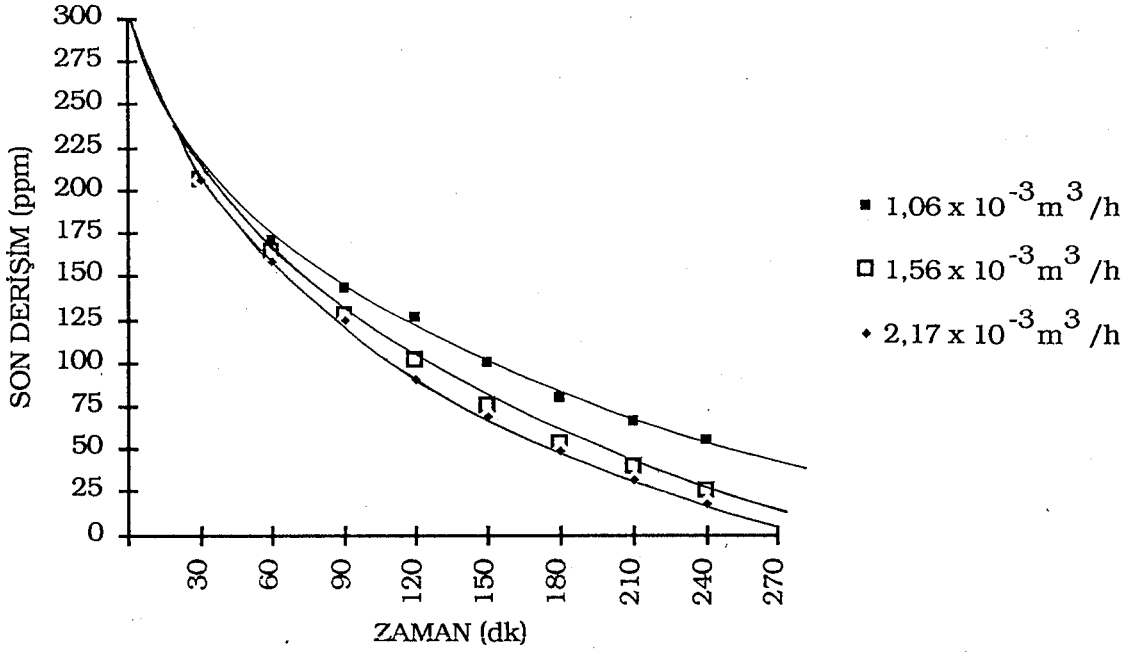
ZAMAN (DK)	SON DERİŞİM (mg/l)	GİDERİM (%)	AKIM VERİMİ (%)	HAC. ZAM. VERİMİ (kg/m ³ h)	ENERJİ TÜK. (Kwh/g) x 10 ⁻³
30	210,60	29,80	2596,3344	1,8601	5,5592
60	191,10	36,30	1581,3244	1,1329	9,1276
90	170,30	43,23	1255,5726	0,8995	11,4957
120	149,50	50,16	1092,6966	0,7828	13,2093
150	137,80	54,06	942,1150	0,6749	15,3205
180	118,30	60,56	879,4816	0,6301	16,4116
210	105,30	64,90	807,7761	0,5787	17,8685
240	93,60	68,80	749,2777	0,5368	19,2635



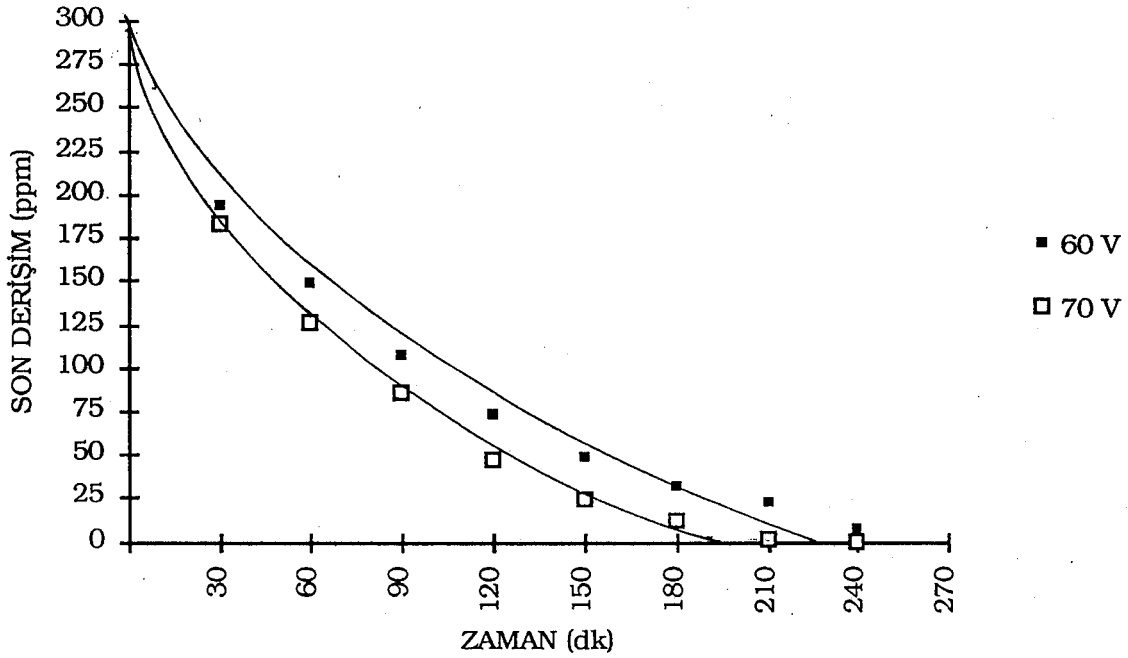
Şekil 5.62 1500 mg/l derişimdeki CN^- nin, $\text{pH} \approx 10$ 'da, $2,17 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h}$ akış hızında, 70 V gerilimde, farklı NaCl derişimlerinde zaman ile değışimi.



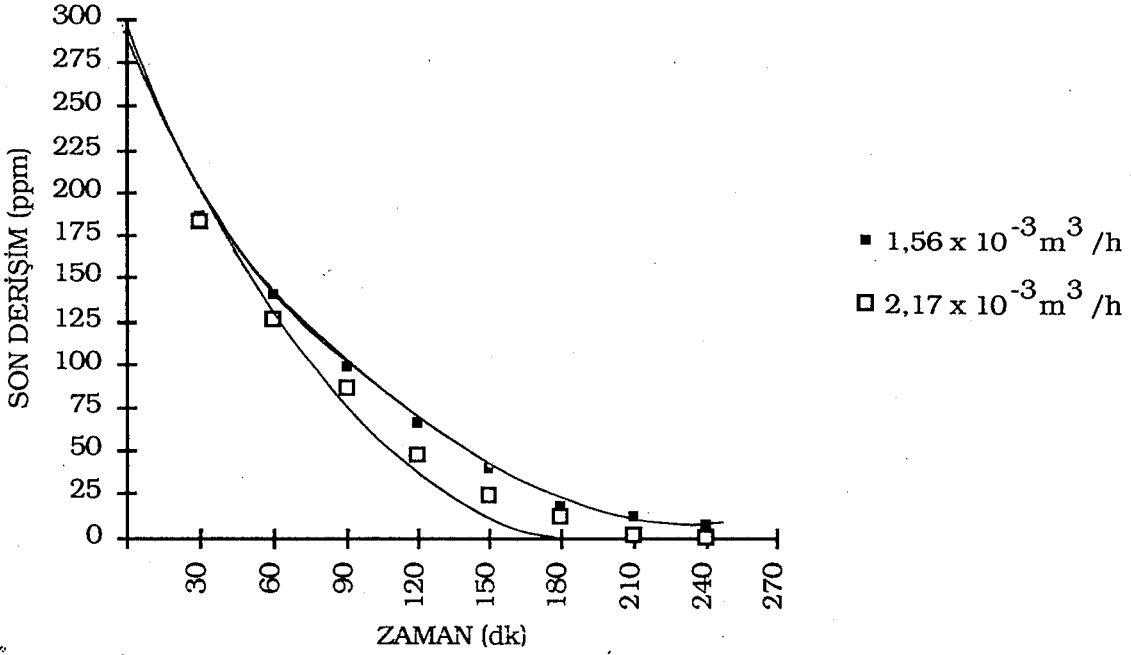
Şekil 5.63 300 mg/l. derişimdeki CN^- nin, 0,135 M NaCl derişiminde, $\text{pH} \approx 10$ 'da, $2,17 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h}$ akış hızında, farklı voltajlarda zaman ile değışimi.



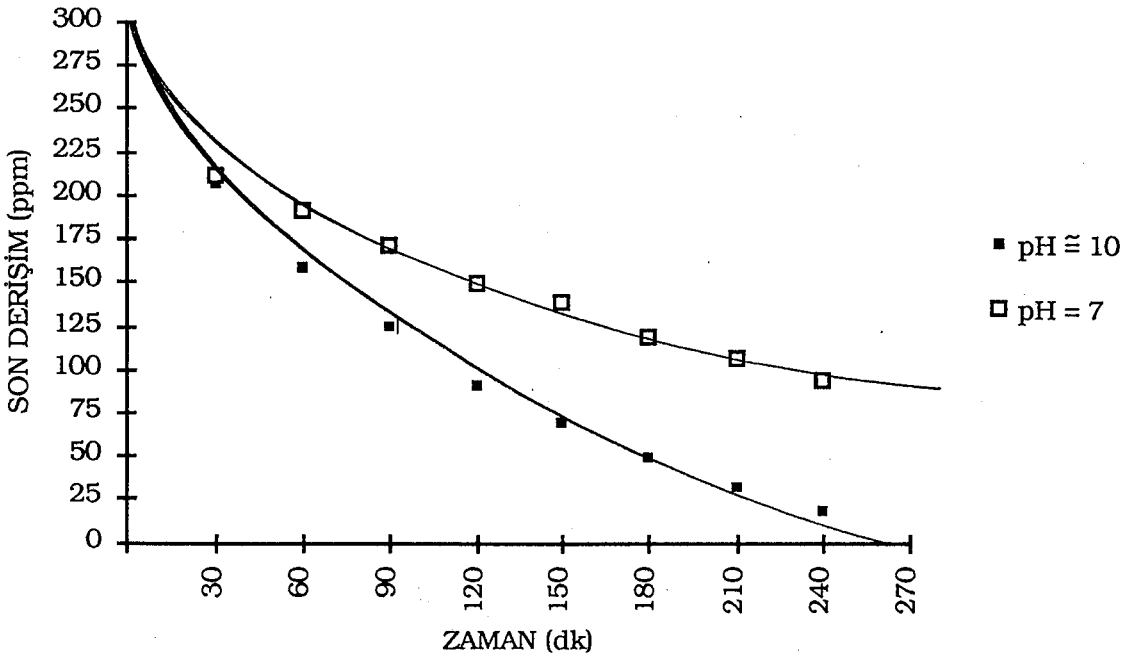
Şekil 5.64 300 mg/l derişimdeki CN^- 'nin, 0,135 M NaCl derişiminde, $\text{pH} \approx 10$ 'da, 70 V gerilimde, farklı akış hızlarında zaman ile değişimi.



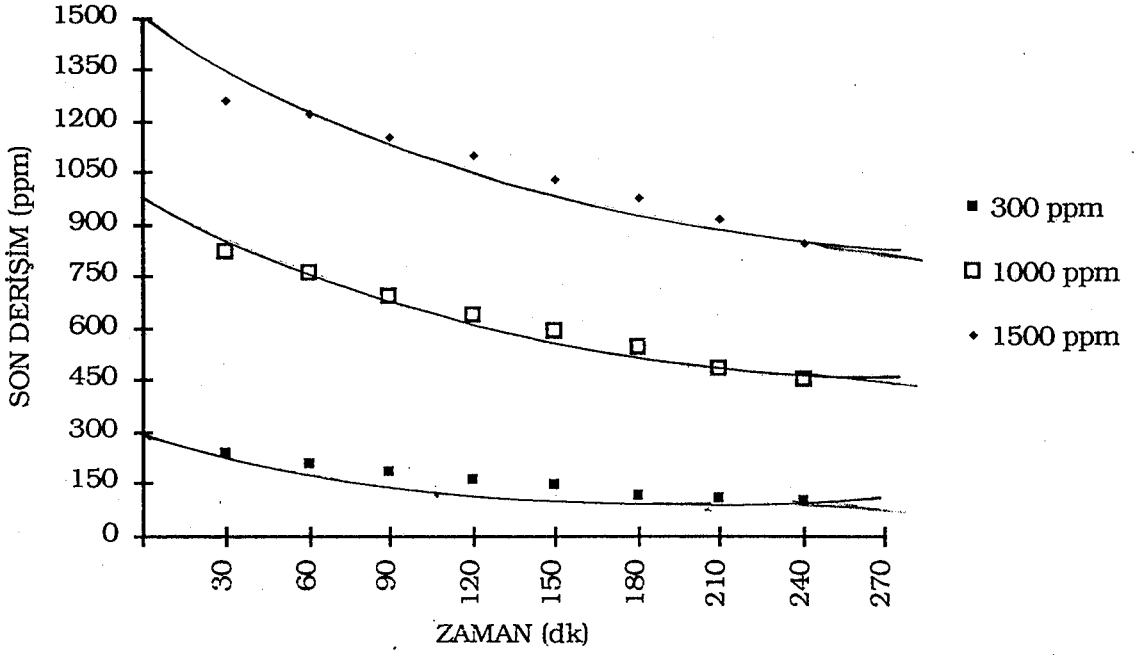
Şekil 5.65 300 mg/l derişimdeki CN^- 'nin, 1,02 M NaCl derişiminde, $\text{pH} \approx 10$ 'da, $2,17 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h}$ akış hızında, farklı voltajlarda zaman ile değişimi.



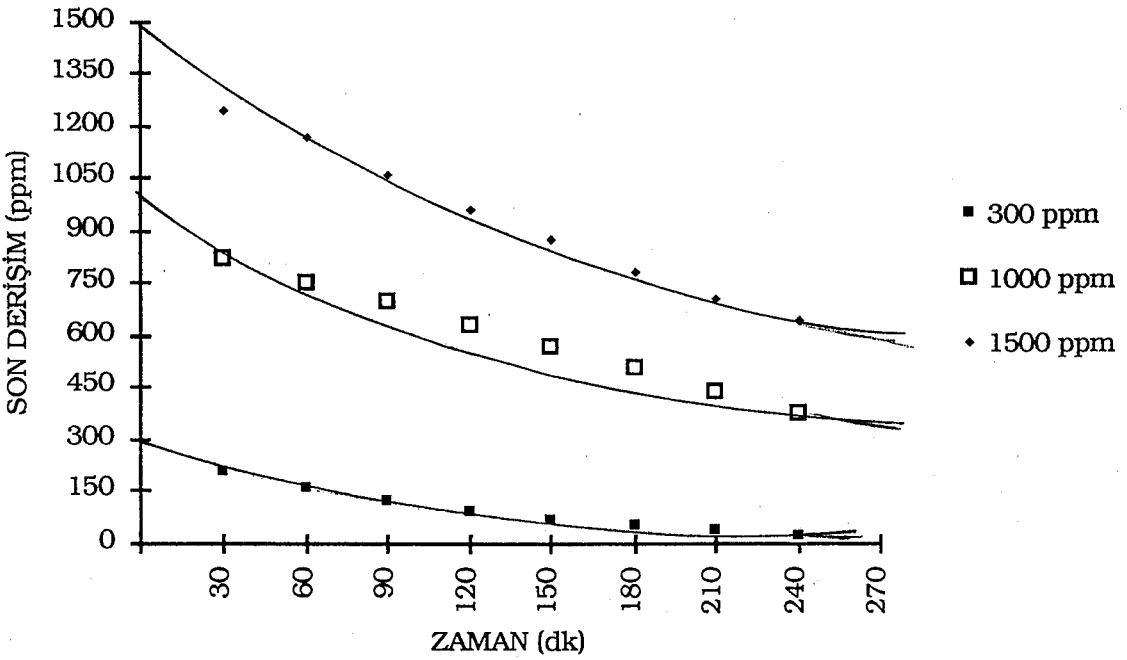
Şekil 5.66 300 mg/l derişimdeki CN^- 'nin, 1,02 M NaCl derişiminde, $\text{pH} \approx 10$ 'da, 70 V gerilimde, farklı akış hızlarında zaman ile değişimi.



Şekil 5.67 300 mg/l derişimdeki CN^- 'nin, 0,135 M NaCl derişiminde $2,17 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h}$ akış hızında, 70 V gerilimde, farklı pH'larda zaman ile değişimi.



Şekil 5.68 CN^- 'nin, $\text{pH} \approx 10$ 'da, $2,17 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h}$ akış hızında, 70 V geriliminde, farklı derişimlerinin zaman ile değişimi.



Şekil 5.69 CN^- 'nin, 0,135 M NaCl derişiminde, $\text{pH} \approx 10$ 'da, $2,17 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h}$ akış hızında, 70 V geriliminde, farklı derişimlerinin zaman ile değişimi.

Çizelge 5. 41 1000 mg/l derişimdeki CN⁻ ' nin, 0,135 M NaCl derişiminde pH \approx 7'de, $2,17 \times 10^{-3}$ m³/h akış hızında, 70 V gerilim (10,50 mA) de deneysel sonuçları

ZAMAN (DK)	SON DERİŞİM (mg/l)	GİDERİM (%)	AKIM VERİMİ (%)	HAC. ZAM. VERİMİ (kg/m ³ h)	ENERJİ TÜK. (Kwh/g) $\times 10^{-3}$
30	728,00	27,20	5341,4733	5,6595	2,7022
60	681,20	31,88	3130,2604	3,3166	4,6110
90	613,60	38,64	2529,3447	2,6799	5,7065
120	543,40	45,66	2241,6514	2,3751	6,4388
150	499,20	50,08	1966,9190	2,0840	7,3382
180	444,60	55,54	1817,8028	1,9260	7,9402
210	400,40	59,96	1682,1152	1,7822	8,5807
240	364,00	63,60	1561,2026	1,6541	9,2452

Çizelge 5. 42 300 mg/l derişimdeki CN⁻ ' nin, pH = 13'de, $2,17 \times 10^{-3}$ m³/h akış hızında, 70 V gerilim (15,20 mA) de deneysel sonuçları

ZAMAN (DK)	SON DERİŞİM (mg/l)	GİDERİM (%)	AKIM VERİMİ (%)	HAC. ZAM. VERİMİ (kg/m ³ h)	ENERJİ TÜK. (Kwh/g) $\times 10^{-3}$
30	219,70	26,76	1089,3148	1,6708	13,2503
60	182,00	39,33	800,3680	1,2276	18,0338
90	153,40	48,86	662,9039	1,0167	21,7735
120	124,80	58,40	594,1717	0,9113	24,2922
150	101,40	66,20	538,8242	0,8264	26,7875
180	72,80	75,73	513,6827	0,7879	28,0985
210	70,20	76,60	445,3381	0,6830	32,4107
240	62,40	79,20	402,8972	0,1188	35,8249

Çizelge 5. 43 1500 mg/l derişimdeki CN⁻ 'nin, pH = 7'de, 2,17 x 10⁻³ m³/h akış hızında, 70 V gerilim (5,5 mA) de deneysel sonuçları

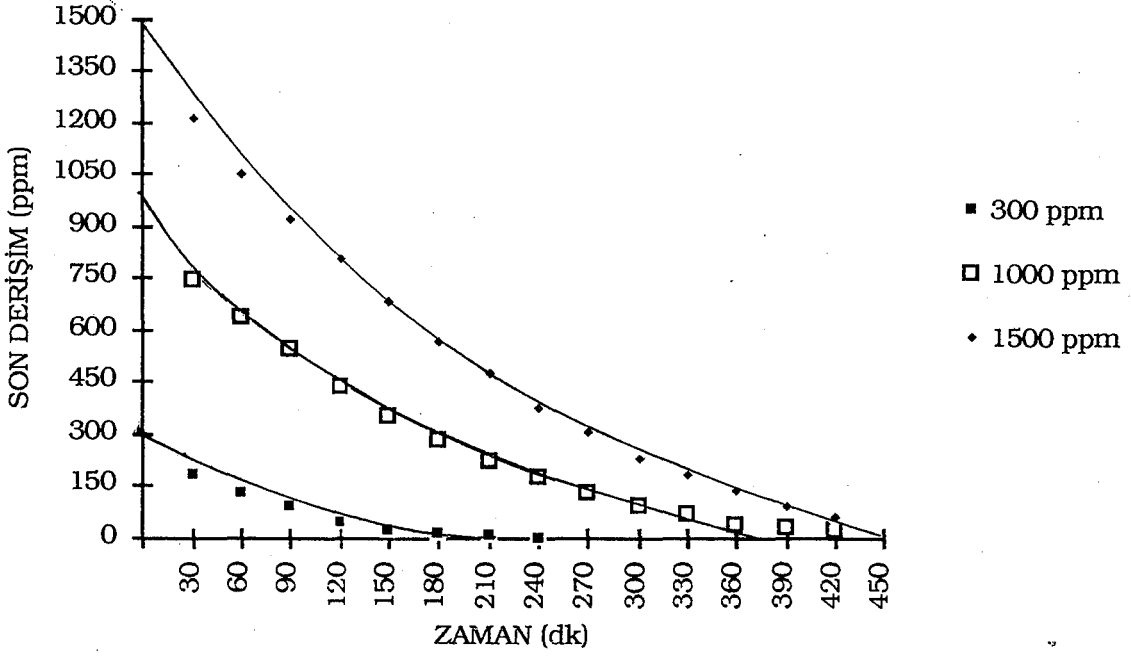
ZAMAN (DK)	SON DERİŞİM (mg/l)	GİDERİM (%)	AKIM VERİMİ (%)	HAC. ZAM. VERİMİ (kg/m ³ h)	ENERJİ TÜK. (Kwh/g) x 10 ⁻³
30	1149,20	23,38	13151,5925	7,2992	1,0974
60	1071,20	28,58	8037,9176	4,4610	1,7957
90	982,80	34,48	6463,3255	3,5871	2,2331
120	904,80	39,68	5578,5547	3,0961	2,5873
150	847,60	43,49	4891,7327	2,7149	2,9506
180	777,40	48,17	4515,0802	2,5058	3,1967
210	707,20	52,85	4246,0428	2,3565	3,3993
240	668,20	55,45	3898,0526	2,1634	3,7028

Çizelge 5. 44 300 mg/l. derişimdeki CN⁻ ' nin, 1,02 M NaCl derişiminde, pH \approx 10'da, $2,17 \times 10^{-3}$ m³/h akış hızında, 70 V gerilim (45 mA) de, 40°C sıcaklıkta deneysel sonuçları

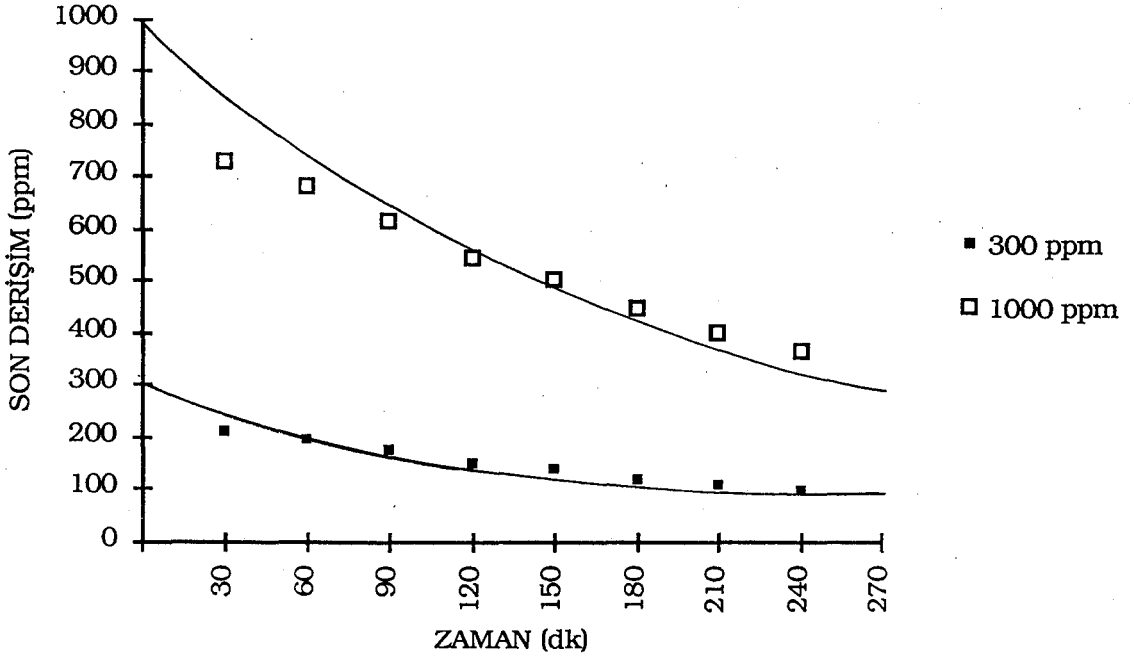
ZAMAN (DK)	SON DERİŞİM (mg/lt)	GİDERİM (%)	AKIM VERİMİ (%)	HAC. ZAM. VERİMİ (kg/m ³ h)	ENERJİ TÜK. (Kwh/g) x 10 ⁻³
30	169,00	43,66	600,2611	2,7257	24,00
60	97,50	67,50	463,9423	2,1067	31,10
90	49,40	83,53	382,7619	1,7381	37,70
120	27,30	90,90	312,3878	1,4185	46,20
150	0,00	100,00	274,9287	1,2484	52,50

Çizelge 5. 45 300 mg/l. derişimdeki CN⁻ ' nin, 0,135 M NaCl derişiminde, 70 V gerilim (55 mA) de, 60°C sıcaklıkta deneysel sonuçları

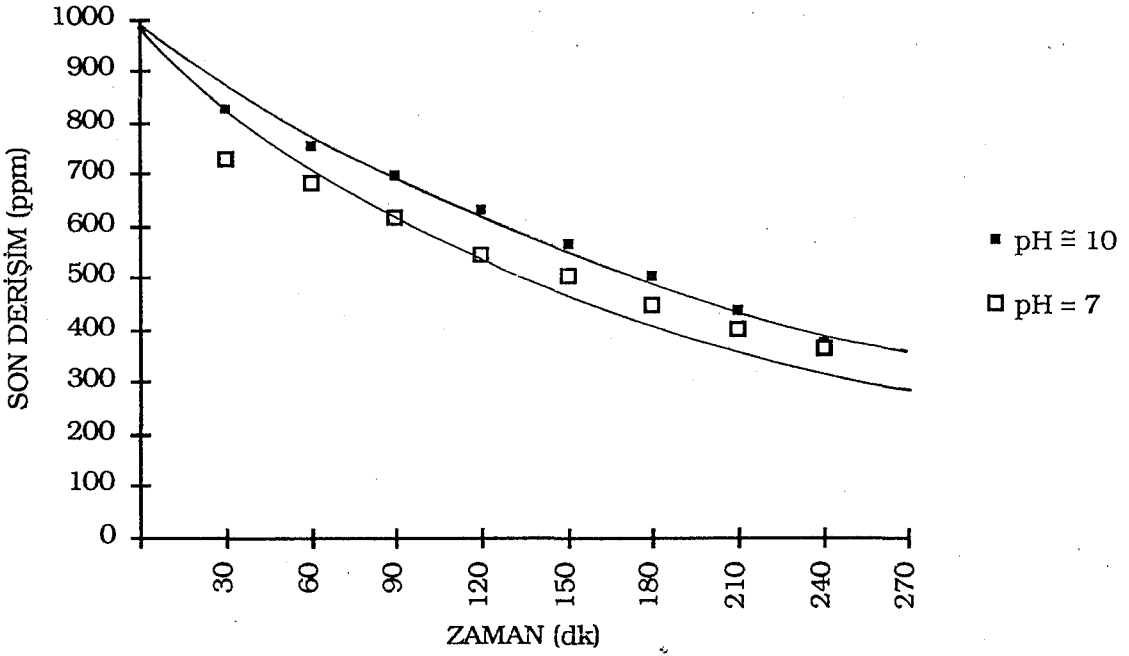
ZAMAN (DK)	SON DERİŞİM (mg/lt)	GİDERİM (%)	AKIM VERİMİ (%)	HAC. ZAM. VERİMİ (kg/m ³ h)	ENERJİ TÜK. (Kwh/g) x 10 ⁻³
30	105,30	64,90	729,9358	4,0511	19,77
60	46,80	84,40	474,6270	2,6342	30,41
90	18,20	93,93	352,1587	1,9545	40,98
120	0,00	100,00	281,1771	1,5605	51,33



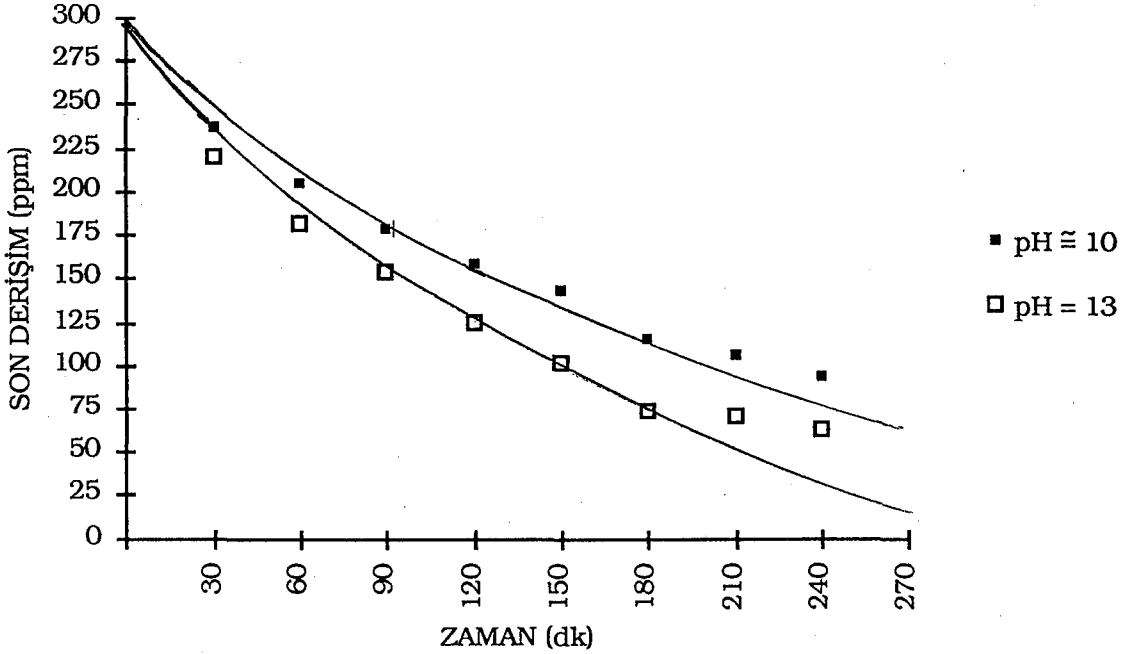
Şekil 5.70 CN^- 'nin, 1,02 M NaCl derişiminde, $\text{pH} = 10$ 'da, $2,17 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h}$ akış hızında, 70 V gerilimde, farklı derişimlerinin zaman ile değişimi.



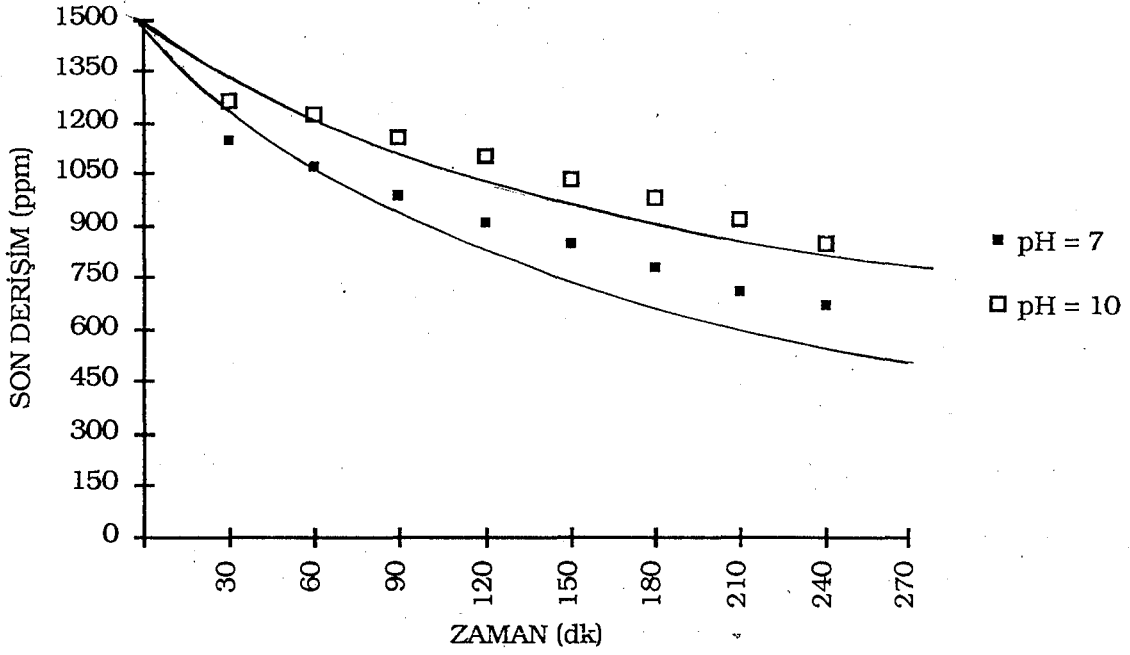
Şekil 5.71 CN^- 'nin, 0,135 M NaCl derişiminde, $\text{pH} = 7$ 'de, $2,17 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h}$ akış hızında, 70 V gerilimde, farklı derişimlerinin zaman ile değişimi.



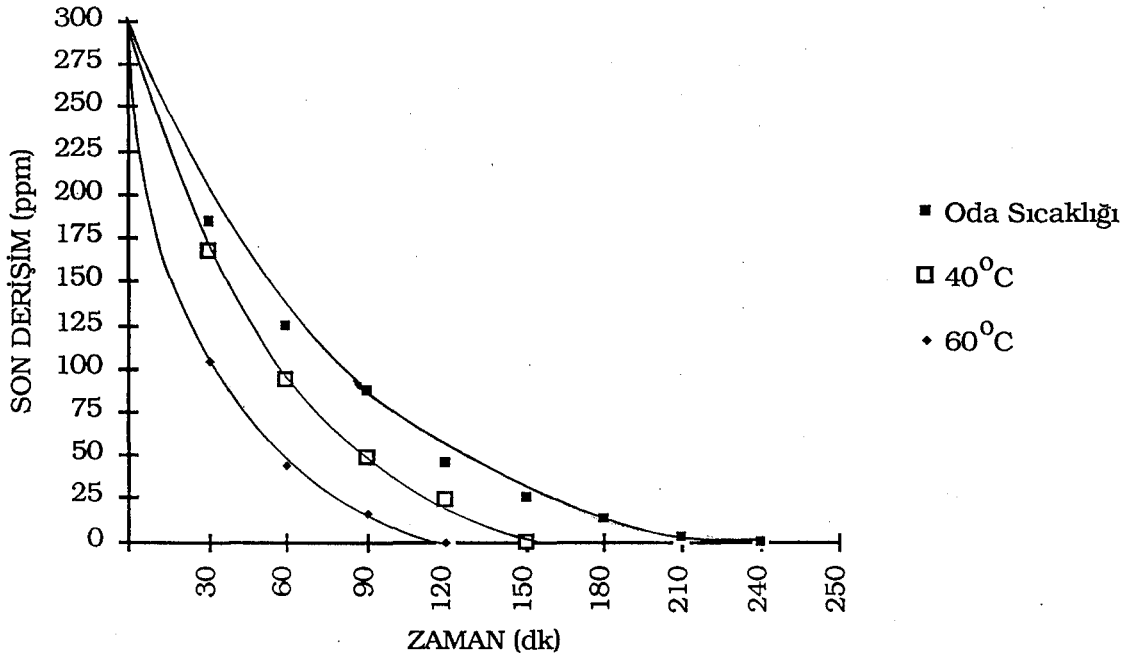
Şekil 5.72 1000 mg/l derişimdeki CN'ün, 0,135 M NaCl derişiminde $2,17 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h}$ akış hızında, 70 V gerilimde, farklı pH'larda zaman ile değişimi.



Şekil 5.73 300 mg/l derişimdeki CN'ün, $2,17 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h}$ akış hızında, 70 V gerilimde, farklı pH'larda zaman ile değişimi.



Şekil 5.74 1500 mg/l derişimdeki CN^- 'nin, $2,17 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h}$ akış hızında, 70 V gerilimde, farklı pH'larda zaman ile değişimi.



Şekil 5.75 300 mg/l derişimdeki CN^- 'nin, 0,135 M NaCl derişiminde, $2,17 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h}$ akış hızında, 70 V gerilimde, farklı sıcaklıklarda zaman ile değişimi.

Çizelge 5. 46 300 mg/l. derişimdeki CN^- 'nin, $pH \cong 10$ 'da, $2,17 \times 10^{-3} m^3/h$ akış hızında, 70 V gerilimde, farklı NaCl derişimlerinde, kütle aktarım katsayıları

NaCl derişimi, M	$K_a, 10^4, cm/s$
0	1,74
0,135	4,35
0,27	4,46
1,02	9,77

Çizelge 5. 47 300 mg/l. derişimdeki CN^- 'nin, 0,135 M NaCl derişiminde, $pH \cong 10$ 'da, $2,17 \times 10^{-3} m^3/h$ akış hızında, farklı gerilimlerde, kütle aktarım katsayıları

Volt, V	$K_a, 10^4, cm/s$
40	1,26
50	1,68
60	3,34
70	4,35

Çizelge 5. 48 300 mg/l. derişimdeki CN^- 'nin, 0,135 M NaCl derişiminde, $pH \cong 10$ 'da, 70 V gerilimde, farklı akış hızlarında, kütle aktarım katsayıları

Q, lt/s	$K_a, 10^4, cm/s$
1,06	2,48
1,56	3,83
2,17	4,35

Çizelge 5. 49 CN^- 'nin, $pH \cong 10$ 'da, $2,17 \times 10^{-3} m^3/h$ akış hızında, 70 V gerilimde, farklı derişimlerde, kütle aktarım katsayıları

CN^- derişimi, ppm	$K_a, 10^4, cm/s$
300	1,74
1000	1,12
1500	0,753

Çizelge 5. 50 1000 mg/l. derişimdeki CN^- 'nin, $pH \cong 10$ 'da, $2,17 \times 10^{-3} m^3/h$ akış hızında, 70 V gerilimde, farklı NaCl derişimlerinde, kütle aktarım katsayıları

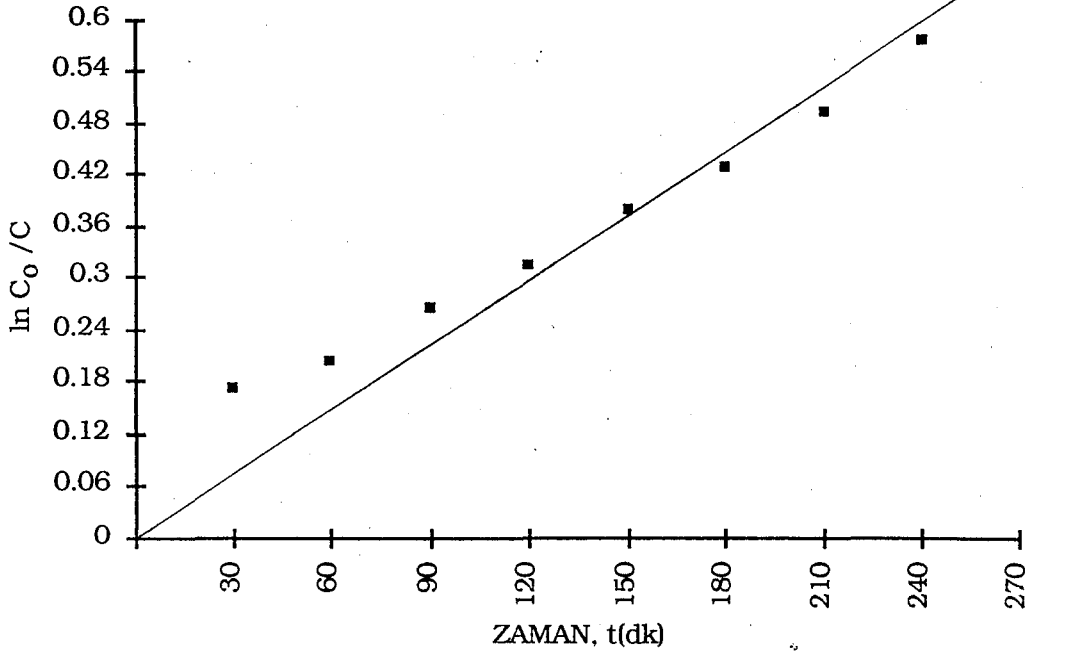
NaCl derişimi, M	$K \times 10^4$, cm/s
0	1,12
0,135	1,45
1,02	3,18

Çizelge 5. 51 1500 mg/l derişimdeki CN^- 'nin, $pH \cong 10$ 'da, $2,17 \times 10^{-3} m^3/h$ akış hızında, 70 V gerilimde, farklı NaCl derişimlerinde, kütle aktarım katsayıları

NaCl derişimi, M	$K \times 10^4$, cm/s
0	0,753
0.135	1,26
1.02	2,93

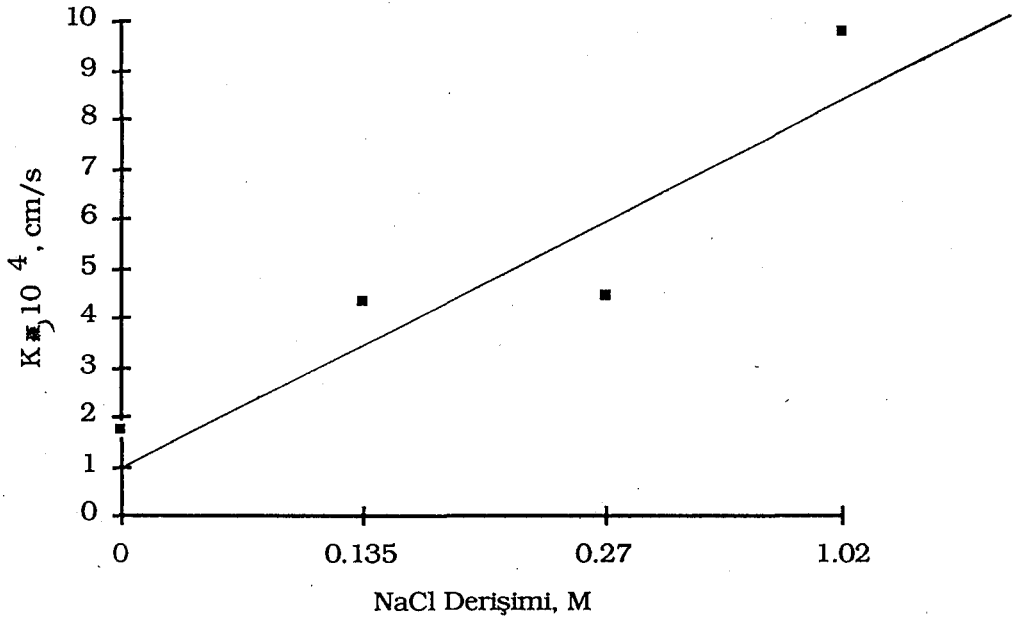
Çizelge 5. 52 CN^- 'nin, 0,135 M NaCl derişiminde, $pH \cong 10$ 'da, $2,17 \times 10^{-3} m^3/h$ akış hızında, 70 V gerilimde, farklı derişimlerde, kütle aktarım katsayıları

CN^- derişimi, ppm	$K \times 10^4$, cm/s
300	4,35
1000	1,45
1500	1,26

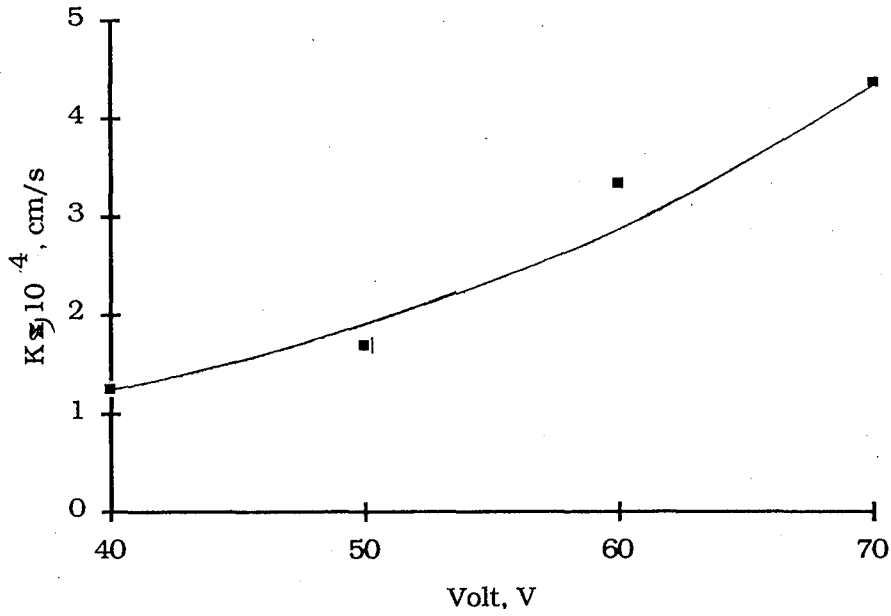


Şekil 5.76 $\ln C_0 / C$ ile zaman arasındaki ilişki.

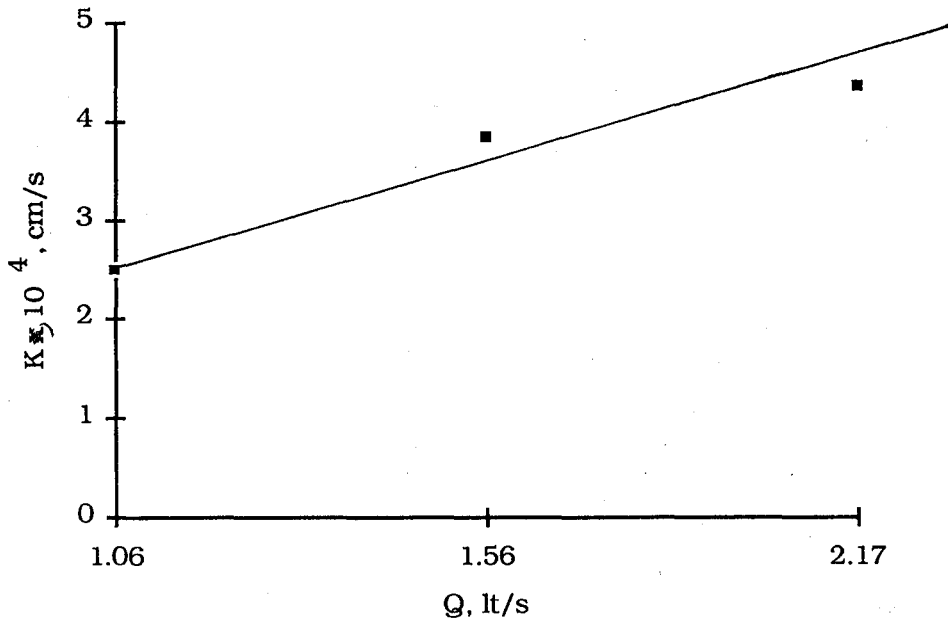
(1500 mg/lt CN^- , $pH \approx 10$ 'da, $2,17 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h}$ akış hızında, 70 V gerilimde).



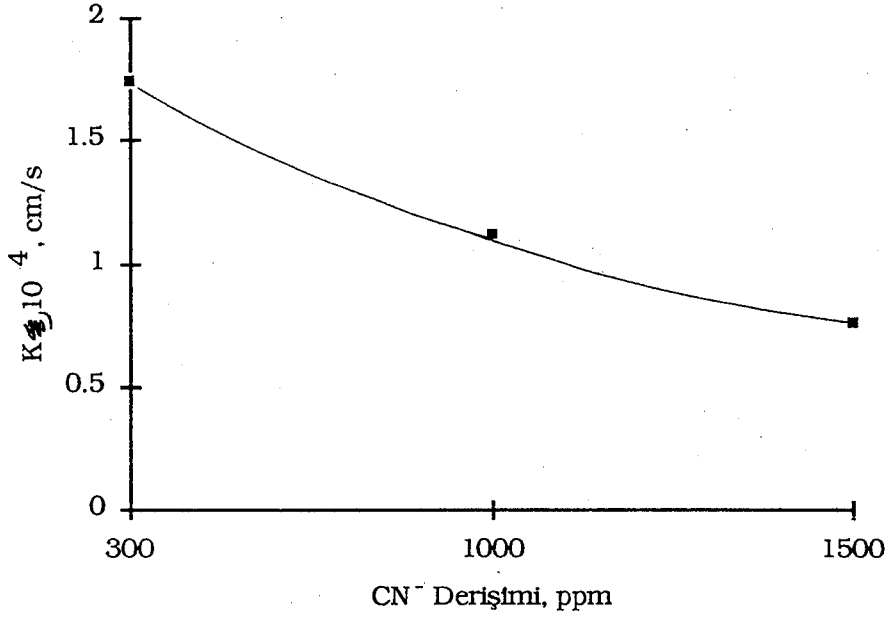
Şekil 5.77 300 mg/l derişimdeki CN^- 'nin, $pH \approx 10$ 'da, $2,17 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h}$ akış hızında, 70 V gerilimde, farklı NaCl derişimlerinde, kütle aktarım katsayıları.



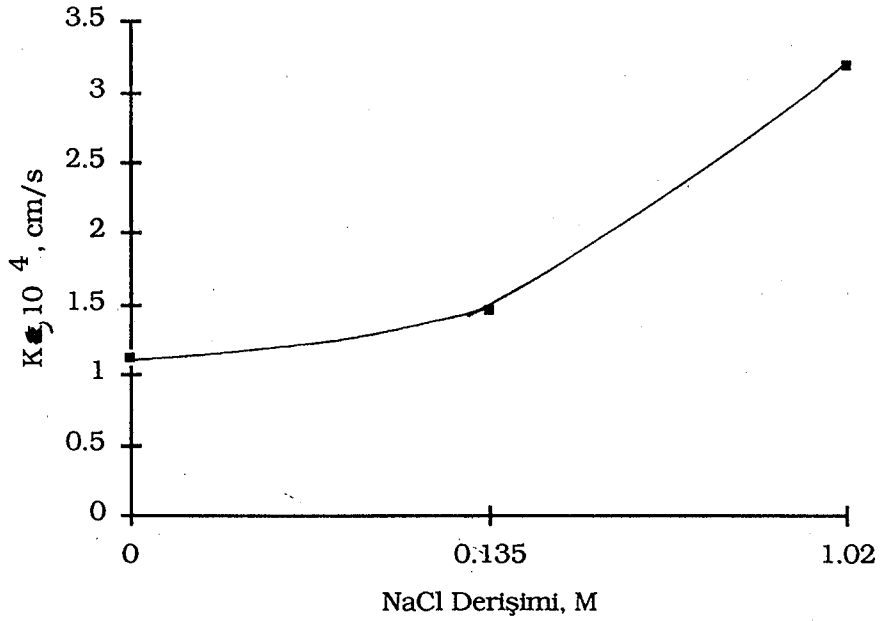
Şekil 5.78 300 mg/l derişimdeki CN^- 'nin, 0,135 M NaCl derişiminde, $\text{pH} \approx 10$ 'da, $2,17 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h}$ akış hızında, kütle aktarım katsayıları.



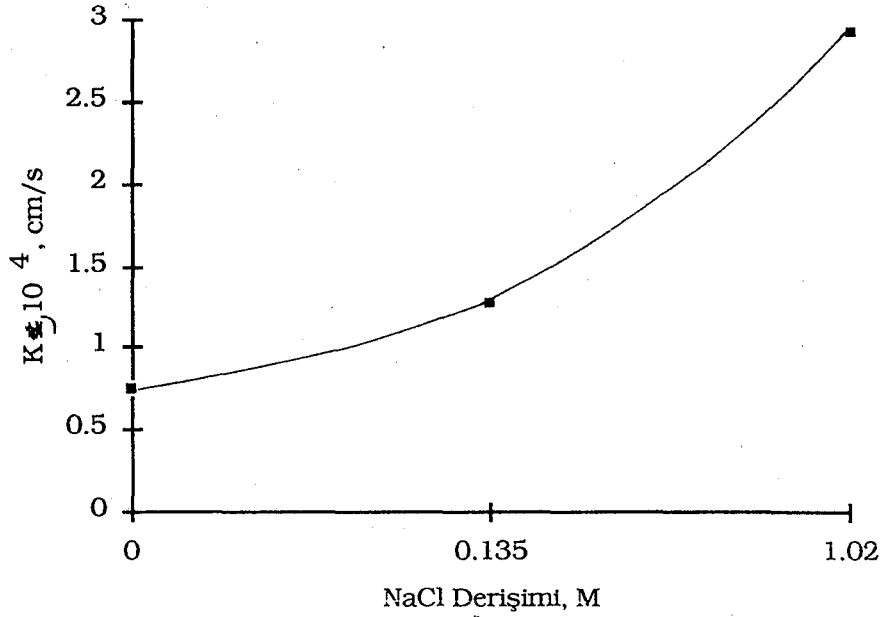
Şekil 5.79 300 mg/l derişimdeki CN^- 'nin, 0,135 M NaCl derişiminde, $\text{pH} \approx 10$ 'da, 70 V gerilimde, farklı akış hızlarında, kütle aktarım katsayıları.



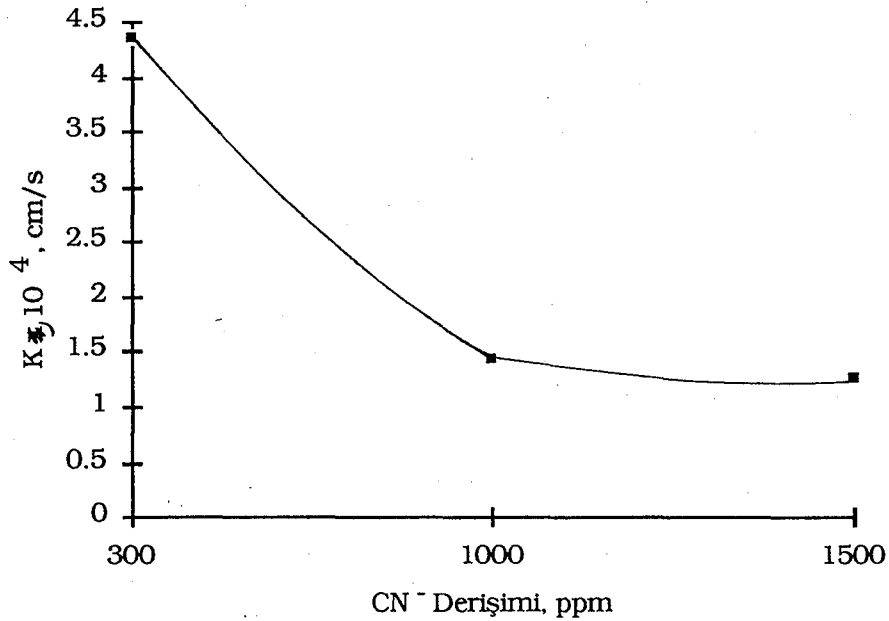
Şekil 5.80 CN^- 'nin, $\text{pH} \approx 10$ 'da, $2,17 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h}$ akış hızında, 70 V gerilimde farklı derişimlerinde, kütle aktarım katsayıları.



Şekil 5.81 1000 mg/l derişimdeki CN^- 'nin, $\text{pH} \approx 10$ 'da, $2,17 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h}$ akış hızında, 70 V gerilimde, farklı NaCl derişimlerinde, kütle aktarım katsayıları.



Şekil 5.82 1500 mg/l derişimdeki CN^- 'nin, $\text{pH} \cong 10$ 'da, $2,17 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h}$ akış hızında, 70 V gerilimde farklı NaCl derişimlerinde, kütle aktarım katsayıları.



Şekil 5.83 CN^- 'nin, 0,135 M NaCl derişiminde, $\text{pH} \cong 10$ 'da, $2,17 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h}$ akış hızında, 70 V gerilimde, farklı derişimlerinde, kütle aktarım katsayıları.

5.4 Metal Kaplama Tesisi Durulama Suyu ile Yapılan Deneysel Çalışmalar ve Sonuçları

Yapılan çalışmada bir metal kaplama tesisi durulama suyu kullanılmıştır. Atıksu bulanık, açık mavi renkte ve pH'ı 6,5 civarındadır. Atıksuda siyanür serbest ve metaller ile kompleks halinde bulunduğundan başlangıçta yalnızca serbest siyanür tespit edilebilmiştir. Atıksu, NaOH ilave edilerek pH ~ 10'a ayarlandığında metaller hidroksitleri şeklinde çökmüş, bu çökelek kaba süzgeç kağıdından süzülerek AgNO_3 ile titrasyon yapılmış ve toplam siyanür (CN^-) miktarı 130 mg/lt bulunmuştur.

Destek elektrolitsiz, pH'ı 10 olan ve 0,5 M NaCl içeren durulama suyu farklı gerilimler uygulanarak çalışılmıştır. Sonuçlar Çizelge 5.53'de verilmiştir.

Çizelge 5.53 CN⁻ içeren Atıksuda, 0,5 M NaCl derişiminde farklı pH değerlerinde $4,8 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{h}$ akış hızında deneysel sonuçları (Orijinal pH \cong 10).

	Gerilim (V)	Ger/Tab (V)	Akım (A), $\times 10^{-3}$	Akım Şiddeti (A/m ²)	Son Derişim (mg/l)	% Giderim	Enerji Tük. (Kwh/m ³)
Orijinal pH \cong 6,5	25	0,7812	0,25	0,0377	15,00	88,46	0,1302
	50	1,5625	0,75	0,1131	0,00	100,00	0,7812
pH = 10	25	0,7812	2,25	0,3394	13,54	89,58	1,1718
	50	1,5625	6,25	0,9428	0,00	100,00	6,5104

6. BULGULARIN TARTIŞILMASI

6.1 Başlangıç Siyanür Derişiminin Etkisi

Başlangıç siyanür derişiminin artırılması, destek elektrolit bulunmadığı durumda farklı pH'larda farklı sonuçlar ortaya çıkarmıştır. pH 7'de uygulanan tüm gerilim ve akış hızlarında 1000 ppm'in üzerinde giderim en fazla gerçekleşirken, 1000 ppm'e kadar derişim arttıkça giderim azalmıştır. Fakat orijinal pH ~ 10 olan özellikle düşük akış hızlarında yüksek gerilimlerde 1000 ve 1500 ppm derişimdeki giderimler birbirine yaklaşırken en düşük giderimin 300 ppm'de olduğu gözlenmiştir. Yani, orijinal pH'da, NaCl'süz ortamda derişim arttıkça beklendiği gibi giderim artmaktadır. Ortamda destek elektrolit olarak 0,135 M NaCl bulunması durumunda ise pH 7'de 1000 ppm'e kadar olan derişimlerde, derişim arttıkça giderim artarken 1500 ppm de giderimin düştüğü gözlenmiştir. Aynı koşullarda pH 10'da yüksek gerilimlerde derişimin giderime etkisi beklenildiği şekilde gerçekleşmiştir. Aynı NaCl derişimi ve pH'ta siyanür derişimi arttıkça akım verimi ve enerji tüketimi artmaktadır. Bu da beklenen bir sonuçtur.

Kesikli yöntem ile çalışıldığında başlangıç derişimi arttıkça aynı süre içinde uzaklaştırılan madde miktarı beklendiği gibi azalmaktadır. Bu durum çalışılan tüm pH değerlerinde, destek elektrolitin kullanıldığı ya da kullanılmadığı tüm durumlarda geçerlidir.

6.2 Destek Elektrolitin Etkisi

Bugüne kadar yapılmış araştırmaların tamamında tuz iyonlarının, elektrokimyasal proseslerde önemli bir etken olan çözeltinin iletkenliğini artırarak giderimi artırdığı belirtilmiştir. Dördüncü bölümde verilen bir araştırmada destek elektrolitler değerlendirilmiş ve ekonomi ve işlem açısından NaCl önerilmiştir. 300 ppm CN içeren çalışmalarda, NaCl derişiminin artırılması ile tüm pH'larda giderimin arttığı gözlenmektedir. Fakat siyanür derişimi artırıldığında, pH 7'de doğrudan oksidasyon, orijinal pH da ise dolaylı oksidasyonun daha etkin gerçekleştiği görülmektedir. Yüksek tuz derişiminde (1,02 M) orijinal pH'ta yapılan çalışmalarda siyanür derişiminin artması ile giderimde düşme gözlenmiştir. Özellikle orijinal pH'da tuz derişiminin

artırılması ile % akım verimi düşerken enerji tüketimi artmaktadır.

Kesikli işlemlerde NaCl derişiminin artırılması çalışılan tüm siyanür derişimlerinde giderimi artırmakta, en yüksek giderim en düşük siyanür derişiminde gerçekleşmektedir.

6.3 pH'ın Etkisi

Çalışmalar genelde iki farklı pH'ta yapılmıştır. Ortam pH'ı 7'ye ayarlandığında düşük gerilim (25V)'de sağlanan giderim, orjinal pH'ta çalışıldığında gözlenen değerden daha büyük olduğu halde, yüksek gerilimde bu artış yavaşlamaktadır. Diğer pH'ta ise giderim yaklaşık olarak gerilim artışıyla doğrusal olarak artmaktadır. Aynı koşullarda yüksek siyanür derişimlerinde, giderim pH 10'da en yüksek değerine ulaşmaktadır. Kuvvetli bazık ortamda (pH = 13) bazı parametreler (300 ppm CN, 300 ppm CN + 0,135 M NaCl, 1000 ppm CN + 1,02 M NaCl) çalışılmasına karşın özellikle düşük CN⁻ ve NaCl derişimlerinde aşırı miktarda grafit parçalanması gözlenmiştir. Yüksek pH ve düşük akış hızlarında, yüksek gerilimlerde devreden geçen akım büyüdüğü için % akım verimi düşmektedir.

Kesikli çalışmalarda ise düşük siyanür derişiminde pH'ın artması diğer siyanür derişimlerine göre giderimde daha etkin olmuştur.

Reaktörden alınan işlem görmüş kuvvetli bazık (pH = 13) çözeltinin pH'ı 11-12, orijinal çözeltinin pH'ı ise 8-9 olarak saptanmıştır. Böylece siyanürün sudan uzaklaştırılması ile birlikte çözeltinin pH'ının deşarj sınırlarında olması da sağlanmıştır.

6.4 Uygulanan Gerilimin Etkisi

Gerilim artmasıyla beklendiği gibi reaktörden geçen akım ve giderimde artış olmaktadır. Yine gerilimin artması % akım verimini düşürmekte ve enerji tüketimini artırmaktadır.

Kesikli yöntemde de uygulanan gerilimin artmasıyla giderimin arttığı ancak belirli bir gerilimde en iyi sonuç alındığı gözlenmiştir.

6.5 Akış Hızının Etkisi

Sürekli sistemde, istenen düzeyde düşük akış hızlarına ulaşamadığı için (reaktörden kaynaklanan olumsuzluklar nedeniyle) akış hızının etkisi ayrıntılı olarak gösterilememiştir. Bununla birlikte, akış hızı belirli bir değere ulaşana dek artırıldığında kütle aktarımı artacağından giderimde bir artış gözleneceği, bu sınırdan sonraki artışlarda hem reaktörde kalış süresi kısılacacağı ve hem de by-pass akışa neden olacağı için giderimde azalma görüleceği söylenebilir.

Kesikli sistemde ise sonuçlar beklendiği şekilde, yani akış hızının artışıyla belirli bir değere kadar giderimin artması yönünde gözlenmiştir.

6.6 İşlem Süresinin Etkisi

Kesikli yöntemde giderim hızı işlem süresi ile doğrudan orantılıdır. İşlem süresi arttıkça uzaklaştırılan madde miktarı da artmaktadır. Bununla birlikte elektroliz süresi arttıkça sabit gerilim uygulandığından tüketilen enerji miktarı da artmaktadır. Bu durumda işlem süresi ile enerji tüketimi için optimum bir nokta seçilebilir.

6.7 Sıcaklığın Etkisi

Sıcaklığın etkisi yalnızca kesikli sistemde araştırılmıştır. Sıcaklığın artmasıyla daha kısa sürelerde yüksek giderimlere ulaşılmıştır. Bununla birlikte, aynı gerilimde sıcaklığın artması akımda artışa neden olmakta, bu da enerji tüketimini artırmaktadır.

Yine de artışın neden olduğu enerji tüketiminin, giderimdeki artış ile karşılanabileceği söylenebilir.

7. SONUÇ ve ÖNERİLER

7.1 Genel Sonuçlar

Yapılan bu çalışmalar kirletici bileşen olarak ele alınan siyanürün kullanılan her iki yöntem ile etkin şekilde giderilebileceğini göstermektedir. Laboratuvar ölçekli arıtım çalışmalarında, sentetik çözeltilerden alınan sonuçlar, endüstriyel atıksu örneği ile yapılan çalışmalar ile de desteklendiğinden bu yöntemin endüstriye uygulanabileceği düşünülebilir.

Bu çalışmalarda özellikle yüksek siyanür derişimlerinde (1000, 1500 ppm) çok yüksek akım verimleri elde edilmiş ve elektrokimyasal giderim yanında kimyasal giderimin gerçekleşmesinden dolayı akım verimi %100'ün üzerine çıktığı sonucuna varılmıştır.

Özellikle destek elektrolit kullanıldığı durumda orijinal pH'ta yapılan çalışmaların % giderim ve enerji tüketimi açısından diğer pH'lardaki çalışmalara göre daha olumlu olduğu gözlenmiştir. 300 ppm CN⁻ içeren çözelti için 0,27 M NaCl derişimi ile, $4,8 \times 10^{-5}$ m³/h akış hızı, 75 V gerilim ve orijinal pH'ta giderim %94,80 , enerji tüketimi 12,34 KWh/m³, pH = 7 de ise aynı koşullarda giderim %92,20 , enerji tüketimi 14,06 KWh/m³ olmuştur. Yüksek siyanür derişiminde (1500 ppm) pH 7'de NaCl kullanılmaması durumunda en iyi giderime ulaşılırken pH 10'da en iyi giderim 0,27 M NaCl kullanıldığında sağlanmıştır. Bununla birlikte spesifik enerji tüketimi, pH 7'de pH 10'a göre daha düşüktür. Tepkime mekanizması gözönüne alınır, pH 10'unda orijinal pH olduğu düşünülürse pH 10'da enerji tüketimindeki artışın çok önemli olmadığı söylenebilir. 1500 ppm CN⁻ için, 8×10^{-5} m³/h akış hızı, 75 V gerilim ve pH 7'de giderim %76,08 , enerji tüketimi 4,31 KWh/m³ iken, aynı derişimde siyanür (CN⁻) için 0,27 M NaCl ile aynı koşullarda ve orijinal pH'ta giderim %87,17 , enerji tüketimi ise 15,47 KWh/m³ olmuştur.

İki kutuplu damlamalı reaktör kullanılarak elektrokimyasal yöntem ile atıksulardan siyanürün etkin bir şekilde giderilebildiği, uygulanan akımın, gerekli koşullar sağlandığında tamamen arıtım için kullanılabilirdiği ve özellikle yüksek siyanür (1000, 1500 ppm) derişiminde diğer yöntemlere göre daha düşük işletme maliyeti ile çalışılabilirdiği saptanmıştır.

7.2 Öneriler

Genellikle metal kaplama sanayi atıksuyu bileşeni olan siyanür (CN^-), tesisin üretim türüne göre bazı metaller (Cu, Zn, Pb, Au, Ag vb.) ile kompleks halde bulunmaktadır. Bu özellikteki bir atıksuyun arıtım koşulları araştırılabilir, dolayısıyla yapılmış olan bu çalışma daha sonra yapılacak olan çalışmaya bir basamak oluşturabilir.

Çalışmada daha önceki bölümlerde belirtildiği gibi basit ve ekonomik olduğu için tercih edilen damlamalı reaktör ve elektrot olarak grafit Raschig halkaları kullanılmıştır. Giderim etkinliği açısından farklı tipte reaktörler (dolgu yatak, akışkan yatak vb.) ve elektrotlar (PbO_2 kaplanmış elektrot, paslanmaz çelik parçaları vb.) ile çalışılabilir.

Pilot ölçekte çalışmalar yapılarak yatırım ve işletme maliyetleri hesaplanabilir ve diğer yöntemlerin bazı araştırmalar sonucu belirlenmiş maliyetleri ile karşılaştırılabilir.

Arıtım yapılmış atıksuyun yönetmeliklere göre deşarj koşullarına sahip olup olmadığı da incelenebilir.

Ek Açıklamalar - A

BİR ELEKTRODUN ANOT ALANI VE TOPLAM ANOT ALANI HESABI

EK - A.1 Bir Elektrodun Anot Alanı

Çalışılan reaktörde anot kısmı, bir elektrodun yaklaşık yarısını kapsar. Üst yüzeylerde yalıtım yapılmadığından anot alanı; dış, iç yanal yüzeyler ve anot tarafındaki taban alanı toplamına eşit olacaktır.

$$\text{Toplam alan} = \text{Yüzey alanı} + \text{taban alanı}$$

$$\text{Elektrodun dış çapı} = \text{elektrodun uzunluğu}$$

$$\text{Elektrodun dış çapı} = 0,70 \text{ cm}$$

$$\text{Elektrodun iç çapı} = 0,45 \text{ cm}$$

$$\text{Anot alanı için alınan uzunluk} = 0,70/2 \text{ cm}$$

$$\text{Elektrodun dış yüzey alanı} = DL/2 \times Dd \times \pi$$

$$\text{Elektrodun iç yüzey alanı} = DL/2 \times De \times \pi$$

$$\text{İç yüzey alanı} + \text{dış yüzey alanı} = DL/2 \times Dd \times \pi + DL/2 \times De \times \pi$$

$$A1 = 0,7/2 \times 0,7 \times 3,14 + 0,7/2 \times 0,45 \times 3,14$$

$$A1 = 1,2644 \text{ cm}^2$$

$$A1 = 1,2644 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{Taban alanı} = \pi (Dd/2)^2 - \pi (De/2)^2$$

$$A2 = 3,14 (0,7/2)^2 - 3,14 (0,45/2)^2$$

$$A2 = 0,3926 \text{ cm}^2$$

$$\text{Bir elektrodun alanı} = A1 + A2$$

$$A = 1,2644 + 0,3926 = 1,6571 \text{ cm}^2$$

$$A = 1,657 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ olarak bulunur.}$$

EK - A.2 Toplam Anot Alanı

Reaktörün toplam anot alanı, reaktör içindeki elektrotların anot kısımlarının toplam alanına eşittir. Reaktördeki 1 tabakanın 4 elektrottan oluştuğu ve tabaka sayısının 92 olduğu 5.1 bölümünde verilmiştir.

$$\text{Toplam Anot Alanı} = A \times 4 \times 32$$

$$TA = 1,6571 \times 4 \times 32$$

$$TA = 212,12033 \text{ cm}^2$$

$$TA = 0,0212 \text{ m}^2 \text{ olarak bulunur.}$$

Ek Açıklamalar - B**CN⁻ DERİŞİMİNİN HESAPLANMASI**

$$C_{CN^-} = C_N \times S \times M_{CN^-} \times 1000 / V_{CN^-} \times 10^3 \text{ mg/g}$$

Derişim hesaplamasında 5.1.4 bölümünde verilen 5.4 eşitliği kullanılmıştır. Burada örnek olarak sürekli sistemde, 300 ppm CN⁻ ve 1,02 M NaCl içeren çözeltinin orijinal pH'da, 25 V gerilim, 4,00 mA akım ve 4,8 x 10⁻⁵ m³/h akış hızında çalışılması sonucu sağlanan son derişim hesaplanacaktır.

Titrasyon yapılan AgNO₃ derişimi (N): C_N = 0,005 N dir.

Titrasyon yapılacak çözelti hacmi (ml): V_{CN⁻} = 10 ml

Titrasyon sonucu gözlenen AgNO₃ sarfiyatı (ml) = 1,45 ml

$$C_{CN^-} = 0,005 \times 1,45 \times 0,052 \times 1000 / 10 \times 10^3 \text{ mg/g}$$

$$C_{CN^-} = 37,7 \text{ mg/l. bulunur.}$$

Ek Açıklamalar - C

SÜREKLİ SİSTEM İÇİN ÖRNEK HESAPLAMALAR

EK - C.1 Yüzde Giderim

Çizelge 5.17 de verilen 300 mg/l CN⁻ ve 0,5 M NaCl içeren çözelti için orijinal pH, 50 V gerilim, 4,00 mA akım, 4,8 x 10⁻⁵ m³/h akış hızındaki % giderim 5.5 eşitliği kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Giderim} = (C_0 - C)/C_0 \times 100$$

$$\% \text{ Giderim} = (300 - 22,10)/300$$

$$\% \text{ Giderim} = 92,63$$

EK - C.2 Yüzde Akım Verimi

Çizelge 5.16'da verilen 1500 mg/l CN⁻ ve 1,02 M NaCl içeren çözelti için orijinal pH, 75 V gerilim, 17,00 mA akım, 4,8 x 10⁻⁵ m³/h akış hızındaki akım verimi 5.6 - 5.8 eşitlikleri kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır. Deneysel çalışmada NaCl içermeyen ve pH<12 olan işlemde Çizelge 4.4'deki 2 ve 3. grup tepkimeleri, pH ≥ 12 olan işlemde 1b. grup tepkimeleri gerçekleşmektedir. Belirli derişimlerde NaCl kullanılan ve pH < 12 olan işlemde tepkime 4.59 - 4.62 ve 4.64, pH ≥ 12 olan işlemde tepkime 4.63 ve 4.64 gerçekleşmektedir. Anotda gerçekleşen tepkimelerde aktarılan elektron sayısı 2 dir.

Teorik olarak giderilmesi gereken miktar (gmol) = 1/2 mol CN⁻

$$\text{Deneysel olarak giderilmesi gereken miktar (gmol)} = \frac{(C_0 - C)}{26} \times \frac{Q}{3600} \times 96500$$

$$\text{Deneysel olarak giderilmesi gereken miktar (gmol)} = \frac{(1500 - 67,60)}{26} \times \frac{4,8 \times 10^{-5}}{3600} \times 96500$$

Deneysel olarak giderilmesi gereken miktar (gmol) = 4,1697

$$\% \text{ Akım verimi} = \frac{4,1697}{0,5000} \times 100 = 833,9400$$

EK - C.3 Hacim - Zaman Verimi

Çizelge 5.16'da verilen 1000 mg/l CN⁻ ve 1,02 M NaCl içeren çözelti için orijinal pH, 50 V gerilim, 9,00 mA akım, 4,8 x 10⁻⁵ m³/h akış hızındaki hacim - zaman verimi 5.9 eşitliği kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır. V_R değeri Koparal, 1991 çalışmasından alınmıştır.

$$\text{Hacim - zaman verimi (kg/m}^3\text{h)} = \frac{(C_o - C) \times V}{V_R \times 10^3}$$

$$\text{Hacim - zaman verimi (kg/m}^3\text{h)} = \frac{(1000 - 52) \times 4,8 \times 10^{-5}}{48,06 \times 10^{-6} \times 10^3}$$

$$\text{Hacim - zaman verimi (kg/m}^3\text{h)} = 0,9648 \text{ kg/m}^3\text{h}$$

EK - C.4 Enerji Tüketimi

Çizelge 5.18'de verilen 1000 mg/l CN⁻ ve 1,02 M NaCl içeren çözelti için pH = 12, 75 V gerilim, 17,00 mA, 4,8 x 10⁻⁵ m³/h akış hızındaki enerji tüketimi 5.11 eşitliği kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$\text{Enerji Tüketimi (KWh/m}^3\text{)} = \frac{I \times V}{Q \times 10^3}$$

$$\text{Enerji Tüketimi (KWh/m}^3\text{)} = \frac{0,017 \times 75}{4,8 \times 10^{-5} \times 10^3}$$

$$\text{Enerji Tüketimi (KWh/m}^3\text{)} = 26,5625 \text{ KWh/m}^3$$

Ek Açıklamalar - D

KESİKLİ SİSTEM İÇİN ÖRNEK HESAPLAMALAR

EK - D.1 Yüzde Giderim

Çizelge 5.23 de verilen 300 mg/l CN⁻ içeren çözeltinin orijinal pH, 70 V gerilim, 1,90 mA akım, 2,17 x 10⁻³ m³/h akış hızında 4 saat sonundaki % giderimi 5.5 eşitliği kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Giderim} = (C_0 - C)/C_0 \times 100$$

$$\% \text{ Giderim} = (300 - 93,60)/300$$

$$\% \text{ Giderim} = 68,80$$

EK - D.2 Yüzde Akım Verimi

Çizelge 5.42'de verilen 300 mg/l CN⁻ içeren çözeltinin pH = 13, 70 V gerilim, 15,20 mA akım, 2,17 x 10⁻³ m³/h akış hızında, 2,5 saat sonundaki % akım verimi, 5.6 ve 5.12 , 5.13 eşitlikleri kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Akım Verimi} = \frac{\text{Deneysel olarak giderilmesi gereken miktar}}{\text{Teorik olarak giderilmesi gereken miktar}} \times 100$$

$$\text{Deneysel olarak giderilmesi gereken miktar (gmol)} = \frac{(C_0 - C)}{26} \times 10^{-3} \times V_{\phi}$$

$$\text{Deneysel olarak giderilmesi gereken miktar (gmol)} = \frac{(300 - 101,40)}{26} \times 10^{-3} \times 0,5$$

$$\text{Deneysel olarak giderilmesi gereken miktar (gmol)} = 3,81 \times 10^{-3}$$

$$\text{Teorik olarak giderilmesi gereken miktar (gmol)} = \frac{I \times t \times 3600 \times 0,5}{96500}$$

$$\text{Teorik olarak giderilmesi gereken miktar (gmol)} = \frac{0,0152 \times 2,5 \times 3600 \times 0,5}{96500}$$

Teorik olarak giderilmesi gereken miktar (gmol) = $7,08 \times 10^{-4}$

$$\% \text{ Akım Verimi} = \frac{3,81 \times 10^{-3}}{7,08 \times 10^{-4}} \times 100 = 538,1355$$

EK - D.3 Hacim - Zaman Verimi

Çizelge 5.41'de verilen 1000 mg/l CN⁻ ve 0,135 M NaCl içeren çözeltinin pH = 7, 70 V gerilim, 10,50 mA akım, $2,17 \times 10^{-3}$ m³/h akış hızında, 2 saat sonundaki hacim - zaman verimi 5.14 eşitliği kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$\text{Hacim - zaman verimi (kg/m}^3\text{h)} = \frac{(C_o - C) \times V_{\phi} \times 10^{-6}}{t \times V_R}$$

$$\text{Hacim - zaman verimi (kg/m}^3\text{h)} = \frac{(1000 - 543,40) \times 0,5 \times 10^{-6}}{2 \times 48,06 \times 10^{-6}}$$

$$\text{Hacim - zaman verimi (kg/m}^3\text{h)} = 2,3751 \text{ kg/m}^3\text{h}$$

EK - D.4 Enerji Tüketimi

Çizelge 5.34'de verilen 300 mg/l CN⁻ ve 0,135 M NaCl içeren çözeltinin orijinal pH, 50 V gerilim, 5,00 mA, $2,17 \times 10^{-3}$ m³/h akış hızında, 3,5 saat sonundaki, enerji tüketimi 5.15 eşitliği kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$\text{Enerji Tüketimi (KWh/g)} = \frac{I \times V \times t \times 10^{-3}}{M_D}$$

$$M_D (\text{g}) = (300 - 102,70) \times 0,5 \times \frac{1}{10^3} = 0,09865$$

$$\text{Enerji Tüketimi (KWh/g)} = \frac{(5 \times 10^{-3}) \times 50 \times 3,5 \times 10^{-3}}{0,09865}$$

$$\text{Enerji Tüketimi (KWh/g)} = 8,8697 \text{ KWh/g}$$

EK - D.5 Kütle Aktarım Katsayısı

Çizelge 5.49'da verilen 1500 ppm CN^- içeren çözeltinin orijinal pH, 70 V gerilim, 7,40 mA akım, $2,17 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h}$ akış hızında, kütle aktarım katsayısı 5.17 eşitliği kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$\ln \frac{C_0}{C} = \frac{K \times A}{V} \times t$$

Zamana (t) karşı $\ln C_0/C$ 'nin yarı logaritmik grafik kağıdına geçirilmesiyle (Şekil 5.76) oluşan doğrunun eğimi (m),

$$m \left(\frac{1}{dk} \right) = \frac{K \times A}{V} \text{ olacaktır.}$$

A. Toplam anot alanıdır ve EK A.2 de hesaplanmıştır.

$$\frac{1}{dk} \quad 1,919 \times 10^{-3} = \frac{K \times 212,12033 \text{ cm}^2}{500 \text{ cm}^3} \quad 4,523 \times 10^{-3}$$

$$0,0754 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$$

$$K \left(\frac{\text{cm}}{\text{sn}} \right) = 7,53 \times 10^{-5}$$

$$7,54 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$$

$$0,0212 \text{ m}^2$$

$$0,0212 (10^2)^2 \text{ cm}^2$$

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abdo M.S.E. and Al-Ameri, R.S., 1987, Anodic oxidation of a direct dye in on electrochemical reactor, *J. Environ. Sci. Health, A 22 (1)*, 27-45.
- Arakado T., Iwakura, C., Yoneyama, H., Tamura, H., 1976, Anodic oxidation of potassium cyanide on the graphite electrode, *Electrochim. Acta*, 1976, 21, 1021-1027.
- Atsuyuki V., Junichiro, Y., 1979, Electrolytically decomposing method for an iron-cyanide complex., U.S. US4, 319, 968 (Cl. 204-96; C25B1/00); 16 Mar 1982, US Appl. 54, 697, 05 Jul 1979, 6pp. Cont of U.S. Ser. No 54, 697, abandoned.
- Ayça E., 1970, *Analitik Kimya*, İstanbul, 675 s.
- Bennion D.N., Newman J., 1972, *J. Appl. Electrochem.*, 2, 113.
- Byerley J.J., Enns, K., 1982, Electrochemically treating aqueous thiocyanate solutions *Can. CA 1*, 188,250 (Cl. CO2 F1/46), 04 Jun 1985, Appl 404, 388, 03 Jun 1982, 27 pp.
- Byerley J.J., Enns, K., 1984, Electrochemical regeneration of cyanide from waste thiocyanate for cyanidation, *CIM Bull.* 77, 861, 87-93.
- Clinical management poisoning and drug overdose, 1990, Hoddad L., M. and Winchester, J., F., Second Edition, 1103-1111.
- Connard J.M., Beardsley, G.P., 1961, *Metal Finish.*, 21, 54.
- Chin D. T., Echert, B. 1976, Destruction of cyanide wastes with a packed-bed electrode, *Plat. Surf. Finish.* 63, 38 - 41.
- Dart M.C., Gentles, J.D., Renton, D.G., 1963, Electrolytic oxidation of strong cyanide wastes, *J. Appl. Chem.*, 13, 55-64.
- Daubaras R.J., 1981, Waste treatment of plating in the Soviet Union, *Plat. Surf. Finish.*, 68, 62-64.
- Doudoroff P., Leduc, G., Schneider, C. R., 1966, Acute toxicity to fish of solutions containing complex metal cyanides, in relation to concentrations of molecular hydrocyanic acid, *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 95, 6.
- Dowd P.M., 1985, Concerning water and segregating waste streams, *Plat. Surf. Finish.*, 72, 104-108.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- El-Ghaoui E.A., Jansson, R.E.W, Moreland, C., 1982, Application of the trickle tower to problems of pollution control. II The direct and indirect oxidation of cyanide, *J. Of Appl. Electrochem.*, 12, 69-73.
- El-Ghaoui E.A. and Jansson, R.E.W., 1982, Application of the trickle tower to problems of pollution control. III Heavy-metal cyanides, *J. Of Appl. Electrochem.*, 12, 75-80.
- Ganczarczyk J.J., 1985, Application of polysulfide for pretreatment of spent cyanide liquors, *J. Water Pollut. Control Fed.*, 57, 1089-1093.
- Gierzatowicz R., Pawlowski, L., Smulkowska, E., 1986, Neutralization of wastewaters containing cyanides, *J. Effl. Water Treat.* 26, 1, 26-31.
- Goedecke K., Eiermann, K., Knorre, H., Mewes, D., 1980, Continuous monitoring and control of the detoxification of cyanide containing wastewater with hydrogen peroxide. *DECHEMA-Monogr.*, 86, 1745-1755.
- Grasse D.W., Hassan, S.Q., Vitello, M.P., Koczvara, M.K., 1990, Testing of treatment systems for cyanide bearing hazardous wastes, U.S., *Environ. Prot. Agency, Res. Dev.*, [Rep.] EPA 1988, EPA - 600/ 9 - 88/021, Land Disposal, Rem Action, Incineration Treat. Hazard, Waste 390-402.
- Gurol M.D., Bremen, W.M., Holden, T.E., 1985, Oxidation of cyanides in industrial wastewaters by ozone. Fundamental kinetic and mechanistic data for the reactions of ozone with cyanide provide a solid basis for practical applications, *Environ. Prog.* 1, 3, 212-216.
- Gülbaş M. and Goetzelman, W., 1989, The electrolytic decomposition of cyanide. The use platinum coated expanded titanium electrodes, *Metalloberflaeche*, 43, 1, 7-11.
- Gündüz T., 1975, *Kantitatif Analiz Ders Kitabı*, Ankara, 478 s.
- Hine F., Yasuda, M., Iida, T., Ogata, Y., 1986, On the oxidation of cyanide solutions with lead dioxide coated anode, *Electrochim. Acta*, 31, 1389-1394.
- Ho S.P., Wang, Y.Y., Wan, C.C., 1990, Electrolytic Decomposition of cyanide effluent with an electrochemical reactor packed with stainless steel fiber, *Wat. Res.*, 24, 11, 1317-1321.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Hwang J. Y., Wang, Y.Y., Wan, C.C., 1987, Electrolytic oxidation of cuprocyanide electroplating wastewaters under different pH conditions, *J. Of Appl. Electrochem.* 17, 684-694.
- Ionescu G., Mater, F., 1983, Study on electrochemical oxidation of cyanide ion, *Rev. Chim. (Bucharest)*, 34, 4, 342-346.
- Jouko J., 1980, Removing cyanide ions from solutions PCT. Int. Appl. WO 8200, 288 (Cl. CO2 F1/46) O4 Feb 1982, SE Appl. 80/5, 138, 11 Jul 1980, 9 pp.
- Kastura J. D., 1980, Recovery and treatment of plating and anodizing wastes, *Plat. Surf. Finish.*, 67, 8, 52-54.
- Kim B. M. and Weiningger, J.L., 1981, Electrolytic reactor for cleaning wastewater, U.S. US 4, 445, 990 (Cl. 204-151; CO2 F1/46), 01 May 1984, Appl. 320, 252, 12 Nov. 1981.
- Kirch R., 1987, Simultaneous removal of heavy metals and oxidizable pollutants from wastewaters Ger. offen. DE 3, 705, 956. (Cl. CO2 F1/46), 08 Sep 1988, Appl. 25 Feb. 1987.
- Kirk - Othmer, 1987, *Encyclopedia of chemical technology*, Vol. 7, John Wiley and sons, New York.
- Kuhn A.T., 1971, Electrolytic of cyanides, phenols and thiocyanates in effluent streams-A literature review, *J. Appl. Chem. Biotechnol.*, 21, 29-34.
- Kuhn A.T., 1972, *Electrochemistry of cleaner environment* (edited by Bockris J. O. M.) Plenum Press, New York.
- Medical Toxicology, Diapsosis and treatment of human poisoning, 1988, Ellenhorn M., J. and Barceloux, D, G., First Edition, 829-835.
- Moussavi M. and Sundram S.S., 1982, Thermal decomposition of cyanide waste, *Plat. Surf. Finish.*, 69, 7, 67-71.
- Müller K.J., 1983, Solid bed electrolysis in electrochemical wastewater treatment, *Galvanotechnick* 74,8, 902-906.
- Nagendran R., Pathasorthy, N.V., Doss, K.S.G., 1967, Electrochemical method of treatment of cyanide, *Plat. Surf. Finish.*, 54, 179-182.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Nicola M., Badea, T., Brinzoi, V., 1987, Electrochemical purification of wastewaters from electroplating workshops waters contaminated with phosphate and cyanate ions, *Metallurgia* (Bucharest), 39,1, 29-32.
- Nutt S. G., Zaidi, S. A., 1985, Treatment of metal finishing rinsewaters by the copper-catalyzed SO₂/Air oxidation process, *Plat. Surf. Finish*, 72, 58-62.
- Ochmann R., Kastening, B., 1989, Oxidation of cyanide with suspension electrodes, *Chem. -Ing. Tech.*, 61, 10, 830-831.
- Oyler R.W., 1949, Disposal of waste cyanide by electrolytic oxidation, *Plat. Surf. Finish*, 36, 341-342.
- Pearlstein F., 1983, The 24th William Blum Lecture. Looking Back, *Plat. Surf. Finish.*, 70, 36-41.
- Plane R., Hester, R., 1965, *Elements of Inorganic Chemistry*, W. Benjamin Inc., New York.
- Resmi Gazete, 4 Nisan 1971, Su Ürünleri Kanunu, Sayı 13799.
- Resmi Gazete, 11 Ağustos 1983, Çevre Kanunu, Sayı 18132.
- Resmi Gazete, 4 Eylül 1988, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, sayı 19919.
- Resmi Gazete, 12 Mart 1989, Su Kirlilik Kontrolü Yönetmeliği İdari Usuller Tebliği, Sayı 20106.
- Resmi Gazete, 12 Mart 1989, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, suda Tehlikeli ve Zararlı Maddeler Tebliği, Sayı 20106.
- Resmi Gazete, 7 Ocak 1991, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, Teknik Usuller Tebliği, Sayı 20748.
- Resmi Gazete, 7 Ocak 1991, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, Numune Alma ve Analiz Metodları Tekniği Tebliği, Sayı 20748.
- Resmi Gazete, 21 Şubat 1992, Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Su Ürünleri Avcılığını Düzenleyen 1992-1993 Av Dönemine Ait Sirküler, Sayı 21149.
- Robey H. L., 1983, Cyanide destruction in a commercial scale hydrolysis reactor, *Plat. Surf. Finish*, 70, 6, 79-82.
- Rowland K. and Steppke, H. D., 1980, Electrolysis of cyanides in very dilute chloride solutions *Metall* (Berlin), 34, 9, 843-847.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Rudolf M. and Milostav, S., 1979, Electrolyzer stripping cyanides in wastewater, Czech. 179, 462 (Cl. CO2 C5/12), 15 Jun 1979, Appl. 70/6, 428, 22 Sep 1979, 3 pp.
- Ruml V., Soukup, M., Tenygl, J., 1979, Rotary bipolar electrolyzer for destruction of cyanides and other oxidizable compounds, Czech. CS 203, 366 (Cl. CO2 F1/46), 15 Oct 1982, Appl. 79/2, 488, 11 Apr. 1979, 5pp.
- Sabarathinam R.M., Basha, A.C., Vijayavalli, R., 1985, Electrochemical oxidation as a tool for pollution control. Part III Studies of the packed bed electrolyzers for the destruction of cyanide, Bull., Electrochem., 1, 2, 207-210.
- Sabarathinam R.M., Basha, A.C., Vijayavalli, R., 1986, Electrochemical oxidation as a tool for pollution control. Part IV Studies on double packed bed electrolyzers for the destruction of cyanide, Bull., Electrochem., 2, 2, 143-145.
- Semmens M.J., Cussler, E.L., 1987, Method for metal and cyanide recovery from electroplating baths and rinse waters, U.S. US 4, 895, 659 (Cl. 210-638; B01 D13/01), 23 Jan. 1990, Appl. 44, 306, 30 Apr. 1987, 12 pp.
- Silman H., 1982, Electrolytic processes for the recovery of metals from wastewater, Galvanotechnic, 73, 6, 589-593.
- Smith D. W. and Roy, C. H., 1982, What does disposal really cost?, Plat. Surf. Finish., 69, 8, 40-45.
- Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater, 1985, APHA, AWWA, WPCF, 16th Edition, Washington, 1268 pp.
- Stopka K., 1980, Advanced ozone technology for cyanide destruction in electroplating, Plat. Surf. Finish., 67, 77-80.
- Sperry L. B., Cladwell, M. R., 1949, Destruction of cyanide copper by hot electrolysis, 36, 343-347.
- Tamura H., Arikado, T., Yoneyama, H., Matsuda., Y., 1974, Anodic oxidation of potassium cyanide on platinum electrode., Electrochim. Acta, 19, 273-277.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Tan T.C., Teo, W. K., Chin, D. T., 1985, Electrochemical destruction of complex cyanide, Chem. Eng. Commun, 38, 125-133.
- Tyrina L.M., Morozov, A.F., 1982, Electrochemical treatment of industrial wastewater containing complex copper cyanide and thiocyanates, Khim. Tekhnol. Vody, 4, 5, 462-464.
- Vachon D. T., Bisset, W., Calver, B. A., Dickson, G. C., 1986, Evaluation of electrochemical recovery of cadmium at a metal finishing plant., Plat. Surf. Finish, April, 68-73.
- Varentsov V. K., Belyokova, Z.T., 1983, Oxidation of cyanide and thiocyanate ions by wastewater on flow type lameller and fibrous anodes, Tsuetn. Met., 3, 103-105.
- Veeraraghavan R. and Dambal, R. P., 1981, Electrochemical process of treatment of plating effluent, J. Electrochem. Soc. India, 31, 2, 27-32.
- Wiaux J. P., Nguyen, T., 1990, Anodic reactions and the recycling of metals utilizing electrolysis, Metal Finish, November, 49-55.
- William R. K., Fitzgerald, K.S., 1983, Electroplating and cyanide wastes, J. Water Pollut. Cont. Fed., 55, 6, 723-725.
- Williamson R. C., Natof, S., 1985, Evaporative recovery for cadmium cyanide plating, Plat. Surf. Finish., 72, 36-39.
- Yasuda M., Yasukawa, S., 1984, Electolytic treatment of cyanide wastes. I Effects of the addition of sodium chloride on the anodic oxidation of cyanide ion, Denki Kagaku Oyobi Kogyo Butsuri Kagaku, 52, 8, 491-497.
- Yasuda M., Yasukawa, S., 1984, Electrolytic treatment of cyanide wastes. II Effect of the addition of graphite particles on the anodic oxidation of cyanide ion, Denki Kagaku Oyobi Kogyo Butsuri Kagaku, 52, 11, 744-751.
- Yasuda M., Yasukawa, S., 1986, Electrolytic treatment of cyanide wastes. IV Effect of an increase in the effective area on decomposition rate cyanide ion using a cell with fluidized bed electrode, Denki Kagaku Oyobi Kogyo Butsuri Kagaku, 54, 10, 878-879.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Zabban W., Helwick, R., 1980, Cyanide waste treatment technology the old, the new, and the practical, Plat. Surf. Finish., 67, 8, 56-59.

2000'li Yıllara Doğru Çevre, 1991, T.C. Çevre Bakanlığı, Ankara, 411 s.