

**ŞEKER ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ
ELEKTROKİMYASAL YÖNTEMLERLE
ARITIMI**

Ayşe Gülhan KOYUNCU
Yüksek Lisans Tezi

Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Ağustos-2006

**Bu tez çalışması Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araőtırma Projeleri Komisyonu
Baőkanlıęı tarafından desteklenmiőtir. Proje No: 040260**

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Ayşe Gülhan KOYUNCU'nun "Şeker Endüstrisi Atıksularının Elektrokimyasal Yöntemlerle Arıtımı" başlıklı Çevre Mühendisliği Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans Tezi 04/08/2006 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve sınav yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

| | Adı-Soyadı | İmza |
|---------------------|-----------------------------------|-------|
| Üye (Tez Danışmanı) | : Prof. Dr. ÜLKER BAKIR ÖĞÜTVEREN | |
| Üye | : Yard. Doç Dr. ÖZGÜL GERÇEL | |
| Üye | : Yard. Doç. Dr. EREN ÖCAL | |

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu' nun
..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ŞEKER ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ ELEKTROKİMYASAL YÖNTEMLERLE ARITIMI

Ayşe Gülhan KOYUNCU

Anadolu Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ülker BAKIR ÖĞÜTVEREN

Yard. Doç. Dr. Yusuf YAVUZ

2006, 104 sayfa

Bu çalışmada, tıkaç akım reaktörde, bor katkılı elmas elektrotlar kullanılarak, şeker endüstrisi atıksularının (şeker fabrikası ve alkol fabrikası atıksuları) elektrokimyasal yükseltgeme ile arıtımı araştırılmıştır. Alkol fabrikası atıksuyunda; akım yoğunluğunun, destek elektrolit derişiminin, çözelti akış hızının, sıcaklığın ve pH'ın, şeker fabrikası atıksuyunda ise; akım yoğunluğunun, destek elektrolit derişiminin ve çözelti akış hızının arıtma verimine etkileri incelenmiştir. Başlangıç KOİ'si ~4500 mg/L olan alkol fabrikası atıksuyunda %96, ~1000mg/L olan şeker fabrikası atıksuyunda ise ~%95 KOİ giderimi elde edilmiş olup, her iki atıksu için verilen deşarj limitleri sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektrokimyasal yükseltgeme, bor katkılı elmas, alkol ve şeker fabrikası atıksuyu, KOİ, tıkaç akım reaktör

ABSTRACT
Master of Science Thesis

TREATMENT OF SUGAR INDUSTRY WASTEWATERS
BY ELECTROCHEMICAL METHODS

Ayşe Gülhan KOYUNCU

Anadolu University
Graduate School of Sciences
Environmental Engineering Program

Supervisor: Prof. Dr. Ülker BAKIR ÖĞÜTVEREN

Assist. Prof. Dr. Yusuf YAVUZ

2006, 104 pages

In this thesis, electrochemical treatment of sugar industry wastewaters, (sugar and alcohol distillery wastewater), was investigated in a plug flow reactor using boron doped diamond electrodes. In alcohol distillery wastewaters, electrolyte concentration, current density, solution flow rate, temperature, and pH and sugar wastewaters, electrolyte concentration, current density, solution flow rate of effect on treatments yield were examined. In alcohol distillery wastewaters, which have ~4500 mg/L COD concentration, 96% and in sugar wastewaters, which have ~1000 mg/L COD concentration, 95% removal of COD were provided and given discharge limits for each two wastewaters were provided.

Keywords: Electrooxidation, boron doped diamond, alcohol distillery wastewaters and sugar wastewaters, COD, plug flow reactor

TEŐEKKÖR

Çalıőmalarımın baőından beri bilgi, hoőgörü, ve yardımlarını eksik etmeyen Sn. Prof. Dr. Ülker BAKIR ÖĞÖTVEREN'e,

Önerileri ile tezimi yönlendiren, anlayıő ve yardımlarını eksik etmeyen ve bu çalışmada önemli bir yere sahip olan değerli hocam Sn. Yrd. Doç. Dr. Yusuf YAVUZ'a,

Deneysel çalıőmalarım sırasında yardımlarını eksik etmeyen, bana destek olan laboratuvar arkadaőım ve hocam Sn. Arő. Gör. Ebru ÖNDER'e,

Yaőantım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini hiç esirgemeyen, her zaman yanımda olan anne ve babama sonsuz teşekkür ederim.

Ayşe Gülhan KOYUNCU

Ağustos, 2006

İÇİNDEKİLER

Sayfa

| | |
|-------------------------------------|------|
| ÖZET..... | i |
| ABSTRACT..... | ii |
| TEŞEKKÜR..... | iii |
| İÇİNDEKİLER..... | iv |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | ix |
| ÇİZELGELER DİZİNİ..... | xiii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ..... | xvi |

| | |
|------------------------|---|
| 1. GİRİŞ ve AMAÇ | 1 |
|------------------------|---|

| | |
|---------------------------|---|
| 2. ŞEKER ENDÜSTRİSİ | 3 |
|---------------------------|---|

| | |
|--|---|
| 2.1. Şeker ve Şeker Endüstrinin Tanımı | 3 |
|--|---|

| | |
|---|---|
| 2.2. Endüstrinin Türkiye' deki Durumu | 3 |
|---|---|

| | |
|---|---|
| 3. ENDÜSTRİNİN ÜRETİM FAALİYET DÜZENİ | 5 |
|---|---|

| | |
|------------------------|---|
| 3.1. Hammaddeler | 5 |
|------------------------|---|

| | |
|--|---|
| 3.2. Üretim Düzeni ve Üretimde Yer Alan İşlemler | 6 |
|--|---|

| | |
|---------------------------------|---|
| 3.2.1. Pancarın taşınması | 7 |
|---------------------------------|---|

| | |
|------------------------------------|---|
| 3.2.2. Pancarın yüzdürülmesi | 7 |
|------------------------------------|---|

| | |
|---|----|
| 3.2.3. Pancarın ayıklanması ve temizlenmesi | 10 |
|---|----|

| | |
|-----------------------------|----|
| 3.2.4. Pancar pompası | 11 |
|-----------------------------|----|

| | |
|----------------------------------|----|
| 3.2.5. Temiz su ile yıkama | 11 |
|----------------------------------|----|

| | |
|----------------------------|----|
| 3.2.6. Pancar bıçağı | 11 |
|----------------------------|----|

| | |
|---------------------------------|----|
| 3.2.7. Haşlama seperatörü | 12 |
|---------------------------------|----|

| | |
|---------------------------------|----|
| 3.2.8. Ham şerbet miktarı | 12 |
|---------------------------------|----|

| | |
|---------------------------------|----|
| 3.2.9. Küşpenin sıkılması | 13 |
|---------------------------------|----|

| | |
|-------------------------------|----|
| 3.2.10. Şerbet arıtması | 14 |
|-------------------------------|----|

| | |
|---------------------------------|----|
| 3.2.11. Birinci Kireçleme | 16 |
|---------------------------------|----|

| | |
|---|-----------|
| 3.2.12. İkinci Kireçleme | 16 |
| 3.2.13. Birinci Saturasyon (Karbonatlama)..... | 16 |
| 3.2.14. İkinci Saturasyon | 17 |
| 3.2.15. Kükürtleme | 17 |
| 3.2.16. Katı Maddelerin Ayrılması | 17 |
| 3.2.17. Buharlaştırma | 17 |
| 3.2.18. Kristalleştirme | 18 |
| 3.2.19. Lapaların Soğutulması | 20 |
| 3.2.20. Santrifüjleme | 20 |
| 3.2.21. Şekerin Kurutulması ve Elenmesi | 20 |
| 3.2.22. Şekerin Ambarlanması | 20 |
| 4. SU KULLANIMI ve ATIKSULARIN TANIMLANMASI | 21 |
| 4.1. Su Kullanımı ve Atıksu Kaynakları | 21 |
| 4.1.1. Su gereksinimi ve su tüketimi | 21 |
| 4.1.2. Kullanılacak suların nitelikleri | 22 |
| 4.1.3. Suların kirlenmesi | 22 |
| 4.2. Atıksu Kaynaklarının Sınıflandırılması ve Tanımlanması | 23 |
| 4.2.1. Pancar yüzdürme ve yıkama suları | 23 |
| 4.2.2. Difüzyon ve pres suları | 23 |
| 4.2.3. Yoğuşturucu soğutma suyu | 24 |
| 4.2.4. Artık kirli sular | 24 |
| 4.2.5. Yıkama suları | 25 |
| 4.2.6. Torba filtrelerinin yıkanması | 25 |
| 4.2.7. Gaz yıkama atıksuları | 25 |
| 4.2.8. Temizlik ve taşkın suları | 26 |
| 4.2.9. Kazan blöf suları | 26 |
| 4.2.10. Çamur sevk suları | 26 |
| 4.2.11. İyon değıştirici tesislerin rejenerasyon suları | 27 |
| 4.2.12. Şerbetin kireçsizlendirilmesi | 27 |
| 4.2.13. Şerbetin tuzsuzlaştırılması | 28 |
| 4.2.14. Kireç çökeltme tankları drenajı ve kok-kireç çamuru | 29 |

| | |
|--|-----------|
| 4.2.15. Evsel atık niteliğindeki kullanma suları | 29 |
| 4.2.16. Meydan ve yağmur suları | 30 |
| 5. ATIKSULARIN ALICI SULAR ÜZERİNE ETKİSİ | 31 |
| 6. ATIKSU KARAKTERİZASYONU | 32 |
| 7. ŞEKER FABRİKASI ATIKSULARININ GENEL DEĞERLENDİRİLMESİ | 43 |
| 8. KAYNAKTA KİRLENMEYİ ÖNLEYİCİ DÜZENLEMELER VE GERİ KAZANMA UYGULAMALARI | 47 |
| 8.1. Su Kullanımında Tasarruf Uygulamaları | 47 |
| 8.2. Geri Kazanma ve Tekrar Kullanma | 47 |
| 8.2.1. Pancar yıkama ve yüzdürme suyu | 47 |
| 8.2.2. Çamur havuzları | 48 |
| 8.2.3. Çamur atıcılı çökeltme havuzları | 48 |
| 8.2.4. Pancar yüzdürme ve yıkama sularının geri alınması | 49 |
| 8.2.5. Yoğuşturucu soğutma suyu | 49 |
| 8.2.6. Süreç atıksuyunun geri kazanımı | 50 |
| 9. ARITMA SEÇENEKLERİ | 51 |
| 9.1. Başlıca Kontrol Parametreleri | 51 |
| 9.2. Kontrol ve Arıtma Teknolojisi | 51 |
| 9.3. Arıtma Süreçleri | 53 |
| 9.4. Şeker Endüstri Atıksularının Arıtım Sistemleri | 54 |
| 9.4.1. Fiziksel arıtım | 54 |
| 9.4.2. Kimyasal arıtım | 55 |
| 9.4.3. Biyolojik arıtım | 56 |
| 9.5. Arıtılan Atıksuyun Değerlendirilmesi | 56 |

| | |
|---|-----------|
| 9.5.1. Şilempenin uzaklaştırılması | 58 |
| 9.6. Elektrokimyasal Arıtım Yöntemleri..... | 58 |
| 9.6.1. Elektrokimyasal yükseltgeme | 59 |
| 9.6.2. Elektrokimyasal çöktürme | 60 |
| 9.6.3. Elektroflotasyon | 61 |
| 9.7. Konuyla İlgili Önceden Yapılmış Çalışmalar | 62 |
| 10. DENEYSEL ÇALIŞMALAR | 64 |
| 10.1. Elektrokimyasal Yükseltgeme Çalışmaları: Rashig Halkası Şeklindeki Bor Katkılı Elmas Kaplı Niyobyum Elektrot..... | 64 |
| 10.2. Kullanılan Elektrot Malzemeleri | 65 |
| 10.3. Kullanılan Kimyasal Maddeler | 66 |
| 10.4. Kullanılan Yardımcı Araçlar | 66 |
| 10.5. Hesaplamalarda Kullanılan Eşitlikler | 67 |
| 11. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI | 69 |
| 11.1. Elektrokimyasal Yükseltgeme: Rashig Halkası Şeklindeki Bor Katkılı Elmas Kaplı Niyobyum Elektrot..... | 69 |
| 11.1.1. Alkol fabrikası atıksuları ile yapılan elektrokimyasal yükseltgeme çalışmaları Elektrokimyasal yükseltgeme | 69 |
| 11.1.2. Şeker fabrikası atıksuları için yapılan elektrokimyasal yükseltgeme çalışmaları | 86 |
| 12. BULGULARIN TARTIŞILMASI | 96 |
| 13. SONUÇ VE ÖNERİLER | 97 |
| KAYNAKLAR | 98 |

| | |
|---|------------|
| EKLER..... | 101 |
| Ek-1 Peristaltik Pompa Kalibrasyonu | 101 |
| Ek-2 Örnek Hesaplamalar | 102 |
| Ek-3 İki Kutuplu Tıkaç Akım Reaktörün Anot Yüzey Alanı Hesabı | 104 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

| | | |
|--------|---|----|
| 3.1. | Ülkemizde Standartlaşmış Olan Şeker Teknolojisi Süreç Akım Seması ... | 6 |
| 3.2. | Bir Kristal Arıtma için Atıksu Akış Diyagramı | 8 |
| 3.3. | Bir Sıvı Şeker Arıtımında Atıksu Akış Diyagramı | 8 |
| 3.4. | Şeker Arıtımında Ürün-Atıksu Akımı..... | 9 |
| 3.5. | Maksimum Ürün Elde Edilen ve Deşarj Kontrollü Bir Şeker Pancarı Üretim Düzeninin Su Akış Diyagramı..... | 10 |
| 3.6. | Bir Beyaz Şeker Fabrikasının Üç Pişirimli İşlem Akım Şeması..... | 19 |
| 6.1. | Şeker Fabrikası İçin Su Bilançosu | 41 |
| 10.1. | Tıkaç akım reaktör ve deneysel çalışma düzeneği..... | 65 |
| 11.1. | KOİ derişiminin destek elektrolit derişimine bağlı olarak zamanla değişimi($i= 10 \text{ mA/cm}^2$, $V= 300 \text{ mL}$, $Q=59,4 \text{ mL/dak}$) | 72 |
| 11.2. | % KOİ gideriminin destek elektrolit derişimine bağlı olarak zamanla değişimi ($i= 10 \text{ mA/cm}^2$, $V= 300 \text{ mL}$, $Q=59,4 \text{ mL/dak}$) | 72 |
| 11.3. | Enerji tüketiminin destek elektrolit derişimine bağlı olarak zamanla değişimi($i= 10 \text{ mA/cm}^2$, $V= 300 \text{ mL}$, $Q=59,4 \text{ mL/dak}$) | 72 |
| 11.4. | Akım veriminin destek elektrolit derişimine bağlı olarak zamanla değişimi($i= 10 \text{ mA/cm}^2$, $V= 300 \text{ mL}$, $Q=59,4 \text{ mL/dak}$) | 73 |
| 11.5. | pH değişiminin destek elektrolit derişimine bağlı olarak değişimi ($i= 10 \text{ mA/cm}^2$, $V= 300 \text{ mL}$, $Q=59,4 \text{ mL/dak}$) | 74 |
| 11.6. | KOİ derişiminin akım yoğunluğuna bağlı olarak zamanla değişimi ($0,3 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$, $V= 300 \text{ mL}$, $Q=59,4 \text{ mL/dak}$)..... | 75 |
| 11.7. | % KOİ gideriminin akım yoğunluğuna bağlı olarak zamanla değişimi($0,3 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$, $V= 300 \text{ mL}$, $Q=59,4 \text{ mL/dak}$)..... | 75 |
| 11.8. | Enerji tüketiminin akım yoğunluğuna bağlı olarak zamanla değişimi ($0,3 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$, $V= 300 \text{ mL}$, $Q=59,4 \text{ mL/dak}$)..... | 75 |
| 11.9. | Akım veriminin akım yoğunluğuna bağlı olarak zamanla değişimi ($0,3 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$, $V= 300 \text{ mL}$, $Q=59,4 \text{ mL/dak}$)..... | 76 |
| 11.10. | pH'in akım yoğunluğuna bağlı olarak zamanla değişimi ($0,3 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$, $V= 300 \text{ mL}$, $Q=59,4 \text{ mL/dak}$)..... | 76 |
| 11.11. | KOİ derişiminin akış hızına bağlı olarak zamanla değişimi ($i= 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,5 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$, $V= 300 \text{ mL}$)..... | 78 |

| | |
|---|----|
| 11.12. % KOİ gideriminin akış hızına bağlı olarak zamanla değişimi ($i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,5\text{M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$)..... | 78 |
| 11.13. Enerji tüketiminin akış hızına bağlı olarak zamanla değişimi ($i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,5\text{M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$)..... | 78 |
| 11.14. Akım veriminin akış hızına bağlı olarak zamanla değişimi ($i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,5\text{M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$)..... | 79 |
| 11.15. pH'in akış hızına bağlı olarak zamanla değişimi ($i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,5\text{M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$)..... | 79 |
| 11.16. KOİ derişiminin sıcaklığa bağlı olarak zamanla değişimi ($i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,3 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$)..... | 81 |
| 11.17. % KOİ gideriminin sıcaklığa bağlı olarak zamanla değişimi ($i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,3 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$)..... | 81 |
| 11.18. Enerji tüketiminin sıcaklığa bağlı olarak zamanla değişimi ($i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,3 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$)..... | 81 |
| 11.19. Akım veriminin sıcaklığa bağlı olarak zamanla değişimi ($i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,3 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$)..... | 82 |
| 11.20. pH'in sıcaklığa bağlı olarak zamanla değişimi ($i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,3 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$)..... | 82 |
| 11.21. KOİ derişiminin pH 'a bağlı olarak zamanla değişimi ($i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,3 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$)..... | 85 |
| 11.22. % KOİ gideriminin pH 'a bağlı olarak zamanla değişimi ($i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,3 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$)..... | 85 |
| 11.23. Enerji tüketiminin pH 'a bağlı olarak zamanla değişimi ($i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,3 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$)..... | 85 |
| 11.24. Akım veriminin pH 'a bağlı olarak zamanla değişimi ($i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,3 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$)..... | 86 |
| 11.25. KOİ derişiminin destek elektrolit derişimine bağlı olarak zamanla değişimi ($i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$)..... | 88 |
| 11.26. % KOİ Gideriminin destek elektrolit derişimine bağlı olarak zamanla değişimi ($i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$)..... | 88 |
| 11.27. Enerji Tüketiminin destek elektrolit derişimine bağlı olarak zamanla değişimi ($i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$)..... | 89 |
| 11.28. Akım veriminin destek elektrolit derişimine bağlı olarak zamanla değişimi ($i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$)..... | 89 |

| | |
|---|----|
| 11.29. pH'n destek elektrolit derişimine bağlı olarak zamanla değişimi ($i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$)..... | 89 |
| 11.30. KOİ derişiminin akım yoğunluğuna bağlı olarak zamanla değişimi ($0,2\text{M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$)..... | 91 |
| 11.31. % KOİ gideriminin akım yoğunluğuna bağlı olarak zamanla değişimi ($0,2\text{M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$)..... | 91 |
| 11.32. Enerji tüketiminin akım yoğunluğuna bağlı olarak zamanla değişimi ($0,2\text{M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$)..... | 91 |
| 11.33. Akım veriminin akım yoğunluğuna bağlı olarak zamanla değişimi ($0,2\text{M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$)..... | 92 |
| 11.34. pH'n akım yoğunluğuna bağlı olarak zamanla değişimi ($0,2\text{M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$)..... | 92 |
| 11.35. KOİ derişiminin akış hızına bağlı olarak zamanla değişimi ($i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,2\text{M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$)..... | 94 |
| 11.36. % KOİ derişiminin akış hızına bağlı olarak zamanla değişimi ($i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,2\text{M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$)..... | 94 |
| 11.37. Enerji Tüketiminin akış hızına bağlı olarak zamanla değişimi ($i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,2\text{M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$)..... | 94 |
| 11.38. Akım veriminin akış hızına bağlı olarak zamanla değişimi ($i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,2\text{M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$)..... | 95 |
| 11.39. pH'n akış hızına bağlı olarak zamanla değişimi ($i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,2\text{M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$)..... | 95 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

| | | |
|-------|--|----|
| 2.1. | Türkiye'deki Şeker Fabrikalarının Kapasite ve Kampanya Süreleri..... | 4 |
| 4.1. | Şeker Fabrikasında Suyun Kullanıldığı Yerler ve Miktarları | 21 |
| 4.2. | Bir Kireçsizleştirme Tesisinin Atıksuları ve Kirlilik Yükü | 28 |
| 4.3. | Bir Tuzsuzlaştırma Tesisinden Çıkan Kirli Suyun Özellikleri | 29 |
| 6.1. | Şeker Fabrikası Atıksularının Çeşitleri ve BOİ5 içerikleri | 33 |
| 6.2. | Şeker Fabrikası Atıklarının Karakteristikleri (Taşıma, Yıkama ve Süreç Suları)..... | 34 |
| 6.3. | Şeker Fabrikası Atıklarının Karakteristikleri (1000 Ton Pancar İşlenmesine Karşılık Oluşan Atıksu Miktarı ve Kirlilik Yükü)..... | 36 |
| 6.4. | Yabancı Ülkeler İçin Şeker Fabrikası Atıklarının Karakteristikleri | 37 |
| 6.5. | Çizelge 6.4 ün Parçalanmış 1 ton Pancar Esas Alınarak Değerlendirilmesi..... | 39 |
| 7.1. | 1000 ton pancar işlemesi başına oluşan atıksu miktarı ve kirlilik yükü | 43 |
| 7.2. | Şeker Fabrikası için Bireysel Bazda Günlük Atıksu Miktarı ve Kirlilik Yükü..... | 44 |
| 7.3. | Kampanya Süresince Oluşan Atıksu Miktarı ve Kirlilik Yükü | 45 |
| 7.4. | Şeker Fabrikalarının Hergün ve Kampanya Süresince Oluşturdukları Kirlilik..... | 46 |
| 9.1. | Kondensasyon suları ile seyrelme yoksa..... | 52 |
| 9.2. | Kondensasyon suları ile seyrelme varsa | 53 |
| 11.1. | Alkol Fabrikası ve Şeker fabrikası atıksu özellikleri | 69 |
| 11.2. | Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları $i = 0,795 \text{ mA/cm}^2$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$ | 70 |
| 11.3. | Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları $i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,2\text{M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$ | 70 |
| 11.4. | Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları $i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,3\text{M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$ | 71 |
| 11.5. | Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları $i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,5 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$ | 71 |

| | | |
|--------|---|----|
| 11.6. | Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları i= 10 mA/ cm ² , 1 M Na ₂ SO ₄ , V= 300 mL, Q=59,4 mL/dak..... | 71 |
| 11.7. | Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları i= 6 mA/ cm ² , 0,3 M Na ₂ SO ₄ , V= 300 mL, Q=59,4 mL/dak..... | 74 |
| 11.8. | Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları i= 8 mA/ cm ² , 0,3 M Na ₂ SO ₄ , V= 300 mL, Q=59,4 mL/dak..... | 74 |
| 11.9. | Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları i= 10 mA/ cm ² , 0,3 M Na ₂ SO ₄ , V= 300 mL, Q=59,4 mL/dak..... | 74 |
| 11.10. | Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları i= 10 mA/ cm ² , 0,5M Na ₂ SO ₄ , V= 300 mL, Q=37,5 mL/dak..... | 77 |
| 11.11. | Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları i= 10 mA/ cm ² , 0,5M Na ₂ SO ₄ , V= 300 mL, Q=47,5 mL/dak..... | 77 |
| 11.12. | Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları i= 10 mA/ cm ² , 0,5M Na ₂ SO ₄ , V= 300 mL, Q=59,4 mL/dak..... | 77 |
| 11.13. | Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları i= 10 mA/ cm ² , 0,3 M Na ₂ SO ₄ , V= 300 mL, Q=59,4 mL/dak, t=30°C | 80 |
| 11.14. | Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları i= 10 mA/ cm ² , 0,3 M Na ₂ SO ₄ , V= 300 mL, Q=59,4 mL/dak, t=40°C | 80 |
| 11.15. | Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları i= 10 mA/ cm ² , 0,3 M Na ₂ SO ₄ , V= 300 mL, Q=59,4 mL/dak, t=50°C | 80 |
| 11.16. | Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları i=10 mA/ cm ² , 0,3 M Na ₂ SO ₄ , V= 300 mL, Q=59,4 mL/dak, pH=4,00 | 83 |
| 11.17. | Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları i= 10 mA/ cm ² , 0,3 M Na ₂ SO ₄ , V= 300 mL, Q=59,4 mL/dak, pH=5,00 | 83 |
| 11.18. | Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları i= 10 mA/ cm ² , 0,3 M Na ₂ SO ₄ , V= 300 mL, Q=59,4 mL/dak, pH=7,00 | 83 |

| | |
|--|----|
| 11.19. Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları i= 10 mA/ cm ² 0,3 M Na ₂ SO ₄ , V= 300 mL, Q=59,4 mL/dak, pH=9,00 | 84 |
| 11.20. Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları i=10 mA/ cm ² , 0,3 M Na ₂ SO ₄ , V= 300 mL, Q=59,4 mL/dak, pH=11,00 | 84 |
| 11.21. Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları i=10 mA/ cm ² , 0,3 M Na ₂ SO ₄ , V= 300 mL, Q=59,4 mL/dak, pH=orijinal..... | 84 |
| 11.22. Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları i= 10 mA/ cm ² , 0,1M Na ₂ SO ₄ , V= 300 mL, Q=59,4 mL/dak..... | 86 |
| 11.23. Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları i= 10 mA/ cm ² , 0,2 M Na ₂ SO ₄ , V= 300 mL, Q=59,4 mL/dak..... | 87 |
| 11.24. Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları i= 10 mA/ cm ² , 0,3M Na ₂ SO ₄ , V= 300 mL, Q=59,4 mL/dak..... | 87 |
| 11.25. Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları i= 10 mA/ cm ² , 0,4M Na ₂ SO ₄ , V= 300 mL, Q=59,4 mL/dak..... | 87 |
| 11.26. Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları i= 10 mA/ cm ² , 0,5 M Na ₂ SO ₄ , V= 300 mL, Q=59,4 mL/dak..... | 88 |
| 11.27. Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları i= 4 mA/ cm ² , 0,2M Na ₂ SO ₄ , V= 300 mL, Q=59,4 mL/dak..... | 90 |
| 11.28. Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları i= 7 mA/ cm ² , 0,2M Na ₂ SO ₄ , V= 300 mL, Q=59,4 mL/dak..... | 90 |
| 11.29. Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları i= 10 mA/ cm ² , 0,2M Na ₂ SO ₄ , V= 300 mL, Q=59,4 mL/dak..... | 90 |
| 11.30. Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları i= 10 mA/ cm ² , 0,2M Na ₂ SO ₄ , V= 300 mL, Q=59,4 mL/dak..... | 93 |
| 11.31. Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları i= 10 mA/ cm ² , 0,2M Na ₂ SO ₄ , V= 300 mL, Q=47,5 mL/dak..... | 93 |
| 11.32. Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları i= 10 mA/ cm ² , 0,2M Na ₂ SO ₄ , V= 300 mL, Q=37,5 mL/dak..... | 93 |

1. GİRİŞ ve AMAC

Bu çalışmada Türkiye'deki Şeker Endüstrisinin yeri, üretim süreçleri, bu süreçlerde kullanılan su ve çıkan atıksuyun özellikleri, çevre kirliliği açısından incelenmesi, şeker endüstrisi atıksularının arıtım yöntemleri sunulurken şeker endüstrisi atıksularının (şeker ve alkol fabrikaları atıksuları) elektrokimyasal olarak arıtılması incelenmiştir.

Gelişmekte olan ülkelerde endüstrileşme sürecinin temel bileşenlerinden biri olma özelliğini sürdüren şeker fabrikaları, tarımsal kalkınma ve gelir bölüşümü, toplumun temel beslenme gereksiniminin karşılanması gibi vazgeçilmez işlevleri üstlenmişlerdir. Bu nitelikleriyle ülkemizin kalkınma stratejisi içinde de oldukça köklü bir geleneğe sahiptirler. Bu nedenle bu endüstriye yönelik planlama ve uygulamalar çağdaş bilimsel gerçekçiliğin, itinalı ve ayrıntılı çalışmaların bir ürünü olmak zorundadır.

Son dönemlerde, hızlı endüstrileşme ve yoğun nüfus artışından kaynaklanan doğal kaynakların kirlenmesi ve üretkenliğini yitirmesi şeker endüstrisinin de çevre kirliliği açısından değerlendirilmesi gereğini gündeme getirmiştir. Bu sektörde çevresel kaynaklara önemli düzeyde zarar verme olgusu, su kullanımında kaynak kısıtlılığı ile birlikte yaşanmaktadır. Eş zamanlı bir sorun olarak, yoğun enerji kullanımının gerektirdiği önemli maliyet artışları da vurgulanmalıdır. Bu gerçekler, şeker fabrikaları için bir çevre koruma programının belirtilen sorunları içerir nitelikte ele alınmasını gerekli kılmaktadır. Önerilecek çevre koruma önlem ve arıtım uygulamaları, doğal kaynakların korunmasını, konservatif su kullanım tekniklerinin geliştirilmesini ve enerji bilançosuna katkıda bulunulmasını kapsamalıdır.

Elektrokimyasal yöntemlerle organik madde giderimi, günümüzde birçok araştırmacı tarafından çalışılmakta olan bir konudur. Özellikle biyolojik parçalanmaya direnç gösteren organik maddelerin sulara girmesi geleneksel su/atıksu arıtım yöntemlerinin yetersiz kalmasına neden olmuş ve çalışmaları ileri arıtım tekniklerine yönelmeye zorlamıştır.

Bu çalışmada şeker endüstrisi atıksularının elektrokimyasal yöntemlerle arıtımı araştırılmıştır. şeker fabrikası ve alkol fabrikası atıksuları elektroyükseltgemeye tabi tutulmuştur. Çalışmalarda literatürde ilk olmak üzere elektrot malzemesi olarak Rashig halkası şeklindeki bor katkılı elmas kaplı niyobyum elektrotlar kullanılmış, optimum şartlarda elektrokimyasal yöntemlerle şeker endüstrisi atıksularının arıtılabilirliği araştırılmıştır.

2. ŞEKER ENDÜSTRİSİ

2.1. Şeker ve Şeker Endüstrinin Tanımı

Yunanlı bilgin ve tarihçi Dioskorides M.Ö. 50 yılında yazdığı “De Materia Medica” adlı eserinde, Hindistan ve Arabistan’da bir çeşit bal bulunduğunu ve bu baldan aynen tuza benzeyen bir madde kazanıldığını belirtmekte ve bu bala “Saccharan” adı verildiğini bildirmektedir. Daha sonra bu kelime, Romalı tarihçi Plinius’un kitabında “Saccharum” şeklinde tekrarlanmış ve Latince’ye bu şekilde geçmiştir. İngilizce’de “sugar”, Fransızca’da “sucre”, Almanca’da “zucker”, İtalyanca’da “zuchera”, İspanyolca ve Portekizce’de de “azucar” şeklini almıştır. Türkçe’deki şeker kelimesi ise, Arapça’daki “sukkar” kelimesinin dilimize adapte olmuş bir şeklidir (Üçok ve ark., 1973).

Bitkilerin güneşten aldıkları ışınlar etkisiyle, canlıların yaşayabilmeleri için gerekli temel maddeler olan oksijen, hidrojen ve kömürü birleştirerek meydana getirdikleri şeker, kimyadaki formülü ($C_{12}H_{22}O_{11}$) ile adı sakkaroz olan bir karbonhidrattır (Veldet, 1965).

Şeker endüstrisi, şeker pancarı ve şeker kamışından bir dizi işlem sonucu ham şeker, beyaz şeker, pudra şekeri, esmer kandis, beyaz kandis, sıvı şeker, yemek ve imalat şurubu, şekerli şurup, yapma bal, melas, ispirto gibi ürünlerin elde edildiği üretim sistemi olarak tanımlanabilecek olan bir endüstri dalıdır (Zeytinoğlu, 1964).

2.2. Endüstrinin Türkiye’deki Durumu

Şeker Endüstrisinin ülkemiz genelinde dağılımı, kurulu kapasite kullanımı, kampanya süreleri Çizelge 2.1’de verilmiştir ([http-1](#)).

Çizelgenin incelenmesiyle aşağıdaki temel veriler elde edilebilir:

a) Ülkemizde 27 şeker fabrikasıyla toplam kurulu kapasite 92500 ton pancar/gün dür,

b) Ortalama kapasite kullanımı %94 olarak gerçekleşmektedir,

c) Kampanya süresince işlenen pancar miktarı ise 10 929 000 tondur.

Çizelge 2.1'deki fabrikalardan Afyon, Alpullu, Elazığ, Erzincan, Erzurum, Eskişehir, Iğın, Kayseri, Konya, Malatya, Susurluk, Turhal ve Uşak'ta ayrıca küp şeker imal edilmekte, Amasya, Afyon, Erzincan, Eskişehir, Turhal tesislerinde kuruluşların ve bazı dış sanayinin ihtiyaçlarını karşılayan makine fabrikaları da bulunmaktadır.

Şeker üretiminde yakıt kullanıldığından 1 ton pancar başına 0,05-0,06 ton yakıt harcanmaktadır (7000 kcal/kg kalitesinde linyit veya akar yakıt). 1 ton pancar için kullanılan buhar miktarı 0,4-0,5 ton, 1 ton pancar başına kullanılan elektrik enerjisi ise 300 kWsaat olarak verilmektedir (Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş., 1991).

Çizelge 2.1. Türkiye'deki Şeker Fabrikalarının Kapasite ve Kampanya Süreleri (http-1)

| YERİ | KAPASİTE (ton/pancar) | KAMPANYA SÜRESİ (gün) |
|-----------|-----------------------|-----------------------|
| Adapazarı | 6000 | 98 |
| Afyon | 6000 | 103 |
| Ağrı | 3000 | 86 |
| Alpulu | 4000 | 71 |
| Amasya | 4800 | 117 |
| Ankara | 3000 | 103 |
| Bor | 3000 | 108 |
| Burdur | 4800 | 106 |
| Elazığ | 1800 | 75 |
| Erzincan | 1850 | 115 |
| Erzurum | 3000 | 73 |
| Eskişehir | 7000 | 103 |
| Iğın | 6000 | 107 |
| Kastamonu | 3600 | 116 |
| Kayseri | 3600 | 103 |
| Konya | 6000 | 103 |
| Kütahya | 1500 | 103 |
| Malatya | 3000 | 77 |
| Muş | 3000 | 48 |
| Susurluk | 7000 | 103 |
| Turhal | 7000 | 114 |
| Uşak | 1500 | 117 |

3. ENDÜSTRİNİN ÜRETİM FAALİYET DÜZENİ

3.1. Hammaddeler

Şeker endüstrisinde kullanılan ana hammadde şeker pancarıdır. Beyaz pancarda bulunan şekerin, şeker kamışından elde edilen şekere, kimyasal yapı bakımından eşdeğer olduğu bulunduktan sonra, önceleri sadece bilimsel yönden önem taşımıştır.

O devirde yalnız hayvan yemi olarak kullanılan bu bitkinin ıslah çalışmaları ile şeker içeriği artırılmış ve pancar kökünden sonra pancar tohumu ile ekime geçilmiştir. Şeker pancarı yalnız şeker üretimi bakımından değil aynı zamanda hayvan yemi olarak da önemini korumaktadır.

Şeker pancarı yalnız en yüksek şeker miktar verimini temin etmekle kalmaz aynı zamanda, şeker kamışı hariç, tarla bitkileri içinde en yüksek besin maddesini sağlar. Şeker pancarı ekimi ile hektardan elde edilen beyaz şekerin besin değeri, bir yıllık kampanya süresi içinde, günde 50 000 kalori kadardır (Esad, 1958).

Bunun yanında şeker kamışından da şeker elde edilmektedir. Fakat bu, iklimin elverişli olduğu bölgelerde söz konusudur. Ülkemizde 60'lı yıllarda yapılan bir deneme sonucu tarım alanı yetersizliği ve diğer tarım ürünlerinin yetiştirilmesini engellediği gerekçesi ile şeker kamışının yetiştirilmesinden vazgeçilmiştir.

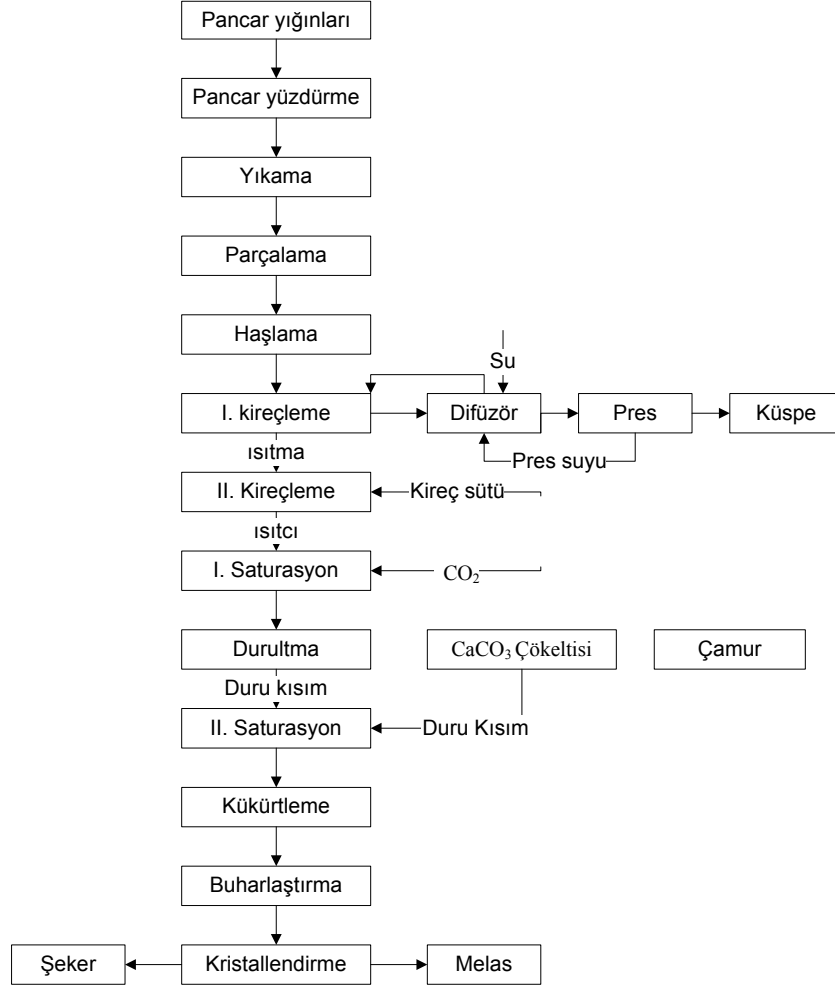
Ana vatanı Hindistan ve Arap ülkeleri olan şeker kamışı dünyada tropikal ve yarı tropikal bölgelerde yetiştirilmektedir. Ülkemizde şeker kamışı tarımı yapılmamaktadır.

Şeker kamışının bünyesinde yaklaşık olarak % 12-16 şeker bulunur ve dünyada üretilen şekerin %60 kadarı şeker kamışından elde edilmektedir.

Şeker pancarı ise ülkemizi de kapsayan ılıman iklime sahip kuşakta yetiştirilmektedir. Şeker pancarının yapısında %4-5 hücre dokusu, %4-5 kimyasal bağlı su ve %90-95 öz suyu vardır. Pancar öz suyunun bileşimi %15-18 şeker (sakkaroz), %1,0-1,5 şeker dışı organik maddeler, %0,8 anorganik tuzlar şeklindedir (Çınar, 2001).

3.2. Üretim Düzeni ve Üretimde Yer Alan İşlemler

Ülkemizde şeker teknolojisi standartlaşmış olup süreç akım şeması Şekil 3.1' de verilmiştir.



Şekil.3.1 Ülkemizde Standartlaşmış Olan Şeker Teknolojisi Süreç Akım Seması (Zeytinoğlu, 1964)

Bunun yanı sıra Şekil 3.2-3.5 arasında yabancı ülkelerde uygulanan ve maksimum ürünün elde edildiği süreçler verilmiştir. Bu süreçler atıksuyun geri kazanılması ve üretim düzeni içerisinde tekrar kullanılması aşamalarını da içermektedir.

Şeker pancarı fabrikasyonu sezonluk olup 2,5-3 aylık dönemlerde yapılır. Hammadde olan şeker pancarındaki sakkaroz ortalama %17'dir. Temizlenmiş

pancar, dilimler halinde kesilerek difüzörlere yüklenir. Her bir difüzör bataryası 12-16 küçük hücre içerir. Şeker, basınç altında sıcak suyun pancar dilimleri arasından geçirilmesi ile özütlenir. Elde edilen şerbet, kireç sütü ile temizlenir ve şeker olmayan kısımları CO₂ ile doyurularak ortamdaki kirecin fazlası çöktürülür. Şerbetin daha fazla temizlenmesi ve renginin giderilmesi SO₂ gazı ile doyurularak gerçekleştirilir. Bundan sonra şerbet buharlaştırıcı ve vakum kaplarında yoğunlaştırılır. En sonunda kristallendirme, santrifüjleme ve kurutma işlemleri uygulanır. Üretim sırasındaki işlemler aşağıda sırası ile verilmiştir;

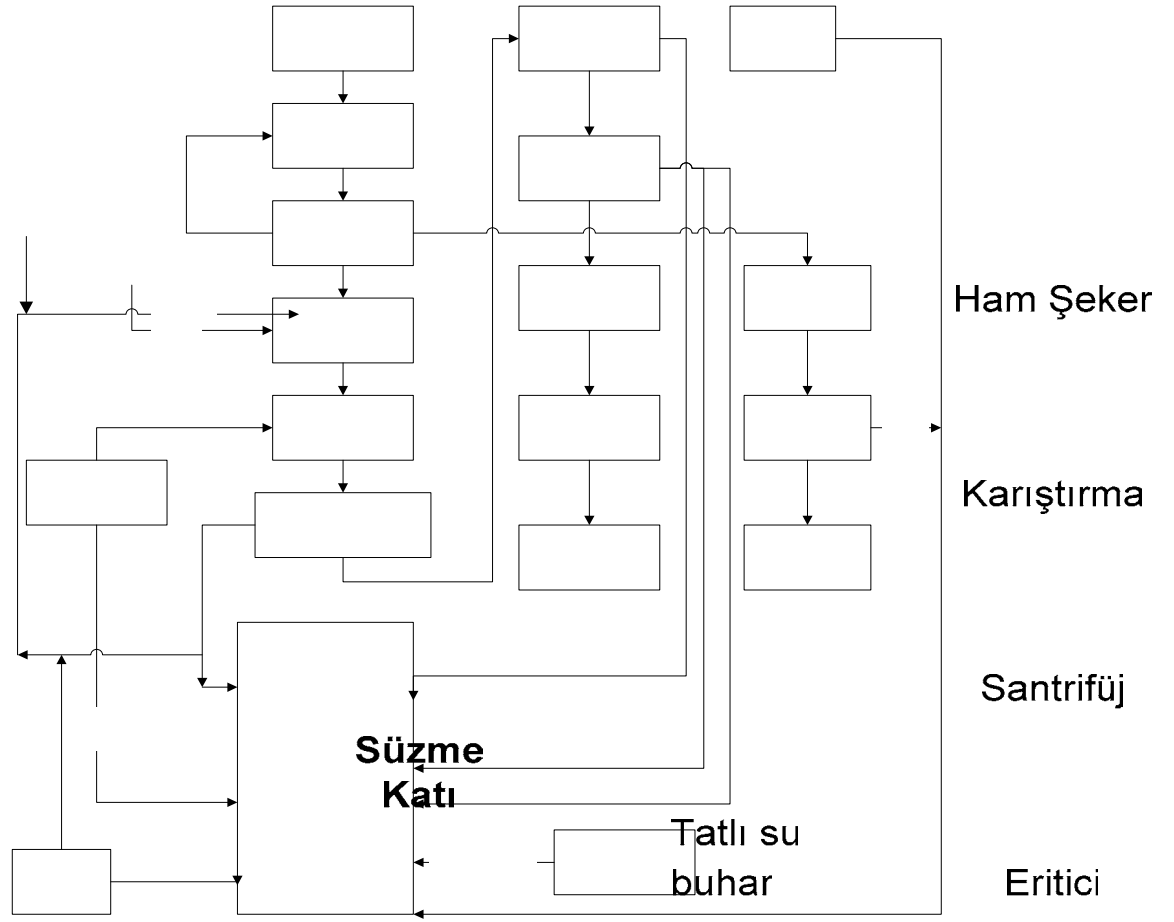
3.2.1. Pancarın taşınması

Açık vagon ve arabalarla tarladan getirilen pancarların yüklenmesinin itinalı yapılması, toprak ve yabancı maddelerin miktarlarının azalmasında etkili olmaktadır.

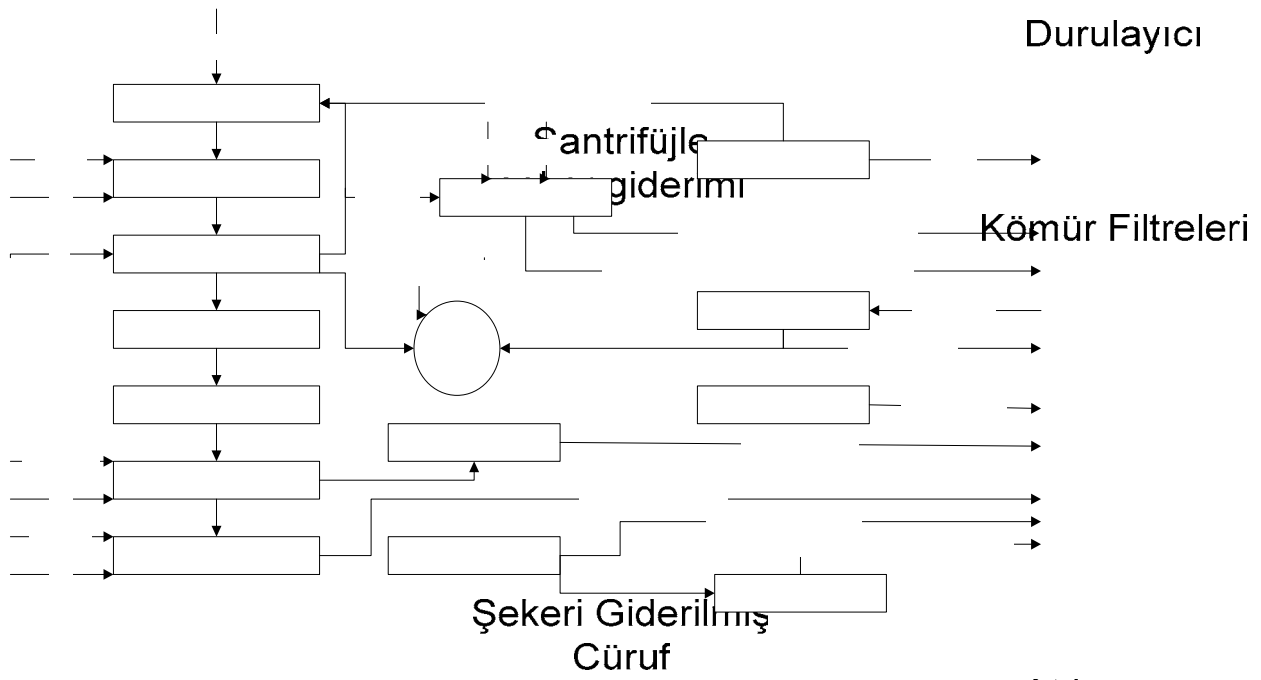
Gelen pancar kamyonun hidrolik sistemle kaldırılan bir platformda belli bir eğime getirilmesi ile boşaltılarak taşıyıcılar aracılığı ile silolara sevk edilir.

3.2.2. Pancarın yüzdürülmesi

Sabit pancar silolarının tabanı beton olup yüzdürme kanalına doğru meyillidir. Kenarları da alçak duvarlarla kapalı olan bu siloların içinde de bulunan su püskürtme kafalarından çıkan basınçlı su ile pancarlar yüzdürme kanalına alınırlar. Kanalin biçimi, sürtünme kaybını en aza indirecek şekildedir.

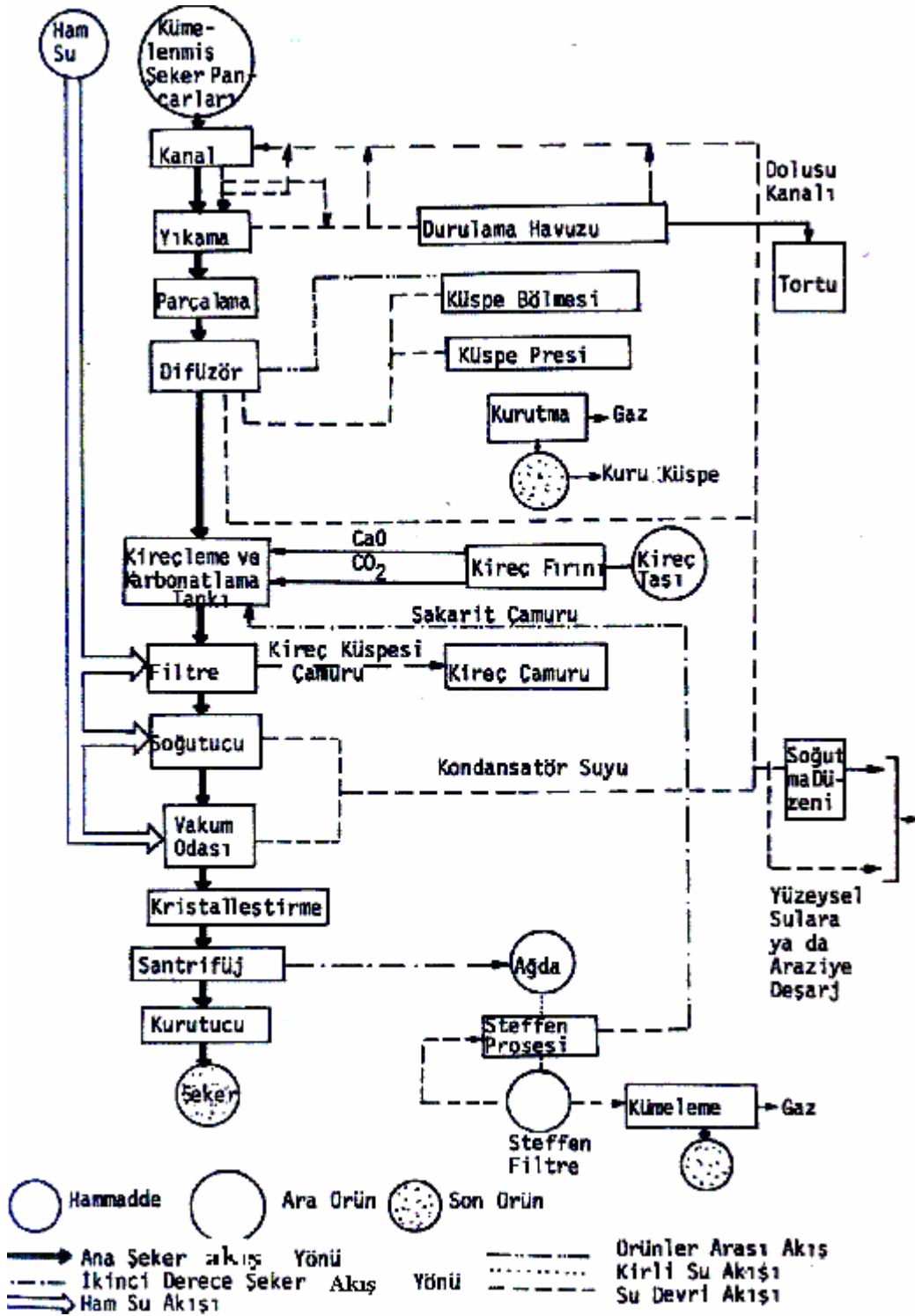


Şekil 3.2. Bir Kristal Arıtma için Atıksu Akış Diyagramı

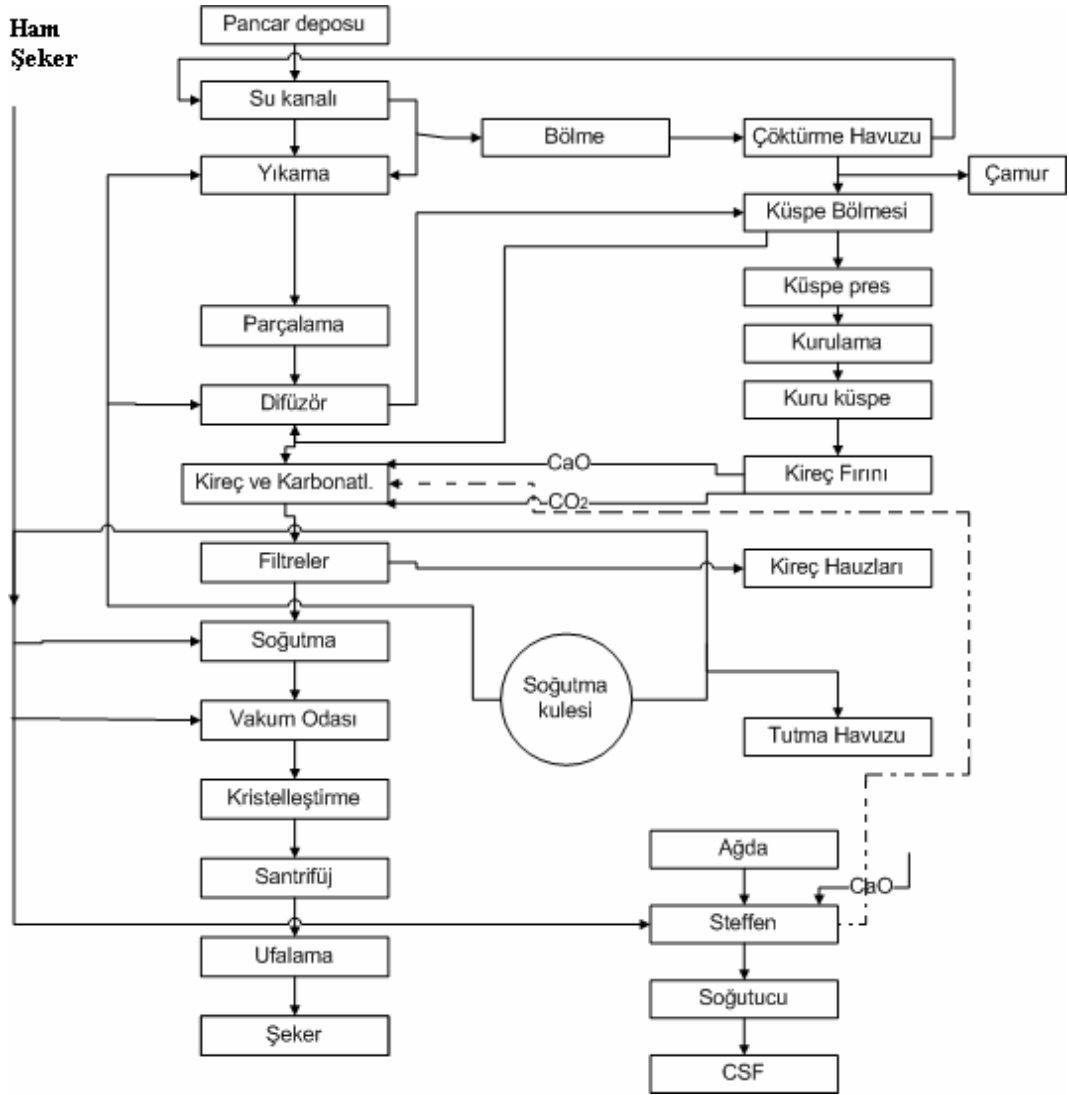


Şekil 3.3. Bir Sıvı Şeker Arıtımında Atıksu Akış Diyagramı

Atıksu
Uzaklaştırma



Şekil 3.4 Şeker Arıtımında Ürün-Atıksu Akımı



Şekil 3.5. Maksimum Ürün Elde Edilen ve Deşarj Kontrollü Bir Şeker Pancarı Üretim Düzeninin Su Akış Diyagramı

3.2.3. Pancarın ayıklanması ve temizlenmesi

Bir ayar tarağı veya özel bir sürgü ile yıkama teknesine gelen pancar, daha kanalda iken ayıklanır.

Pancarlar taşlardan; ot, tahta ve kök gibi yüzen cisimlerden ayıklanmalı ve üstündeki pislik ve çamurdan temizlenmelidir. Pancarla beraber gelen taşların iri olanları yüzdürme kanalındaki taş tutan çukurlara düşer ve burada toplanırlar, daha hafif olan ufakları ise süzgeçlerle pancardan ayrılırlar.

Pancarlar gelen otların durumlarına göre, bunları ayıracak çeşitli ot tutucular vardır.

3.2.4. Pancar pompası

Taş ve otlardan ayrılmış ve su ile sürüklenmekte olan pancarın, yüzdürme kanalından fabrikaya, yerel koşullara bağlı olarak zeminin birkaç metre altında girmesi nedeniyle üste çıkarılması gerekir. Bunun için 4 yöntem uygulanır.

- a) Pancar helezonu
- b) Pancar dolabı
- c) Pancar pompası
- d) Santrifüj pompa

3.2.5. Temiz su ile yıkama

Bu aşamada, pancarların taşlardan ve pis sulardan mümkün olduğu kadar temizlenmiş olması gerekir. Yıkama iki şekilde yapılabilir,

1) Tekne İçinde Yıkama: Uzun süredir kullanılmamaktadır. Nedeni pancarın girintili yerlerindeki çamurun tam anlamıyla temizlenememesidir.

2) Püskürtme Su ile Yıkama; Pancarın girintili yerlerinde bulunan toprağı da tamamıyla temizlemek için, herhangi bir iletim elemanının üzerinde hareket eden pancarların üstüne, kuvvetli bir şekilde su püskürtülmektedir. Yıkanmış pancarların suları mümkün olduğu kadar arıtılmış olmalıdır. Yıkanmış olan pancarlar ya döner ızgaradan ya bir eğik helezondan veya genellikle sarsaktan geçirilirler. Temiz pancarlar elavatorler, helezonlar veya sevk bantları ile gereken yüksekliğe ulaştırılır.

3.2.6. Pancar bıçağı

Yıkanmış ve yabancı maddelerden ayrılmış pancar, günümüzde yalnız, pancar kesme makinelerinde doğranmaktadır.

Difüzyon yönteminin yerleşmesinden sonra, başarılı bir işletme sonucunun elde edilebilmesi için kıyımların düzgün kesilmiş, sert, mümkün olduğu kadar aynı kalınlıkta olması ve kırıntı kısımlarının bulunmaması gerekmektedir.

Kıyılmış pancarlar sıcaklığının artırılması için haşlama seperatöründen geçmek üzere bantla iletilirken otomatik bir kantarla tartılır.

3.2.7. Haşlama seperatörü

Şeker özütlemesinde gerçekleşen ilk olay, zedelenmiş hücrelerden Özsuyunun yıkanmasıdır. Pancar proteini bozulunca açığa su çıkacağından ve bu su hücre özsuyunu iteceğinden, iç hücrelerden de bir kısım özsuyu aynı yolla yıkama suyuna karışır. Pancar kıyımları içinde çözünmüş durumda bulunan maddeler ve özellikle sakkaroz, yıkama olayından sonra doğasının bozulması sonucu madde çıkışına uygun duruma gelmiş bulunan geniş dallı bir ağ halindeki kanallar sisteminden dışarıya difüzyon olarak sızar. Bu, pancar kıyımlarının sulu ters akım özütleme işlemine "Difüzyon Uygulaması" teriminin yerleşmesine yol açmıştır.

Özet olarak şerbet üretiminde madde geçişinin belli başlı ve önemli adımı difüzyondur. Difüzyon, Fick Yasası ile tanımlanır ve difüzyon katsayısını içerir. Bu katsayı ise sıcaklıkla doğru orantılıdır. Fakat bunun yanında sıcaklığın 75°C den fazla olması halinde şerbetin işlenmesi güçleşmektedir. Bu sebeple 70-80°C lik sıcaklığın en iyi işlem için optimum ortamı yarattığı sonucuna varılmıştır. Sürekli çalışan özütleme tesislerinde bu husus uygulanan ön ısıtma (haşlama) ile sağlanır.

3.2.8. Ham şerbet miktarı

Derişim farkına göre özütleme suyundan akılcı şekilde yararlanmak ancak ters akım prensibine uygun olarak yürütülen işlemlerle mümkün olur. Özütleme, ters akım prensibi ne derece kusursuz uygulanırsa, o derece iyi olur.

İşletmeye alınan ham şerbetin işlenen pancar miktarına göre ağırlık veya hacim olarak % sine çekiş denir. Pratikte ham şerbet çekişleri %110-125 arasında oynar. Haşlama seperatöründen ayrılan ham şerbette %12-13 kadar şeker vardır.

Kısmen şekerini vermiş olan pancar kıyımı haşlama teknesine gelir. Diğer taraftan difüzörün yan süzgeçlerinden çıkıp devreden şerbet, ısıtıcıdan geçtikten sonra haşlama teknesinde pancarla karıştırılır ve beraberce pompa vasıtasıyla difüzörün helezonuna gelir.

İyi bir özütleme yapabilen ve difüzyon süresi kısa olan bir özütleme cihazı faydalıdır. Uzun difüzyon süreleri yüksek kolloid kapsamlı şerbetlere sebep olur. Bu çeşit kusurları önlemek için, böyle durumlarda hiç değilse difüzyon sıcaklığını düşürmek gerekir. Bu ise mikrop bulaşma tehlikesini arttırır. Bu yüzden uzun difüzyon sürelerinde çoğunlukla olumsuz çamur özellikleri olan koyu renkli ve yüksek kireçli sulu ve koyu şerbetler ile karşılaşılır.

Özütleme için kullanılacak su, mümkün olduğu kadar temiz ve özellikle şerbet arıtmasını aşip geçen katkılardan arınmış olmalıdır. Her şeyden önce potas endüstrisinin veya tuzla atıksularının karıştığı sular çok zararlı olur. Bunlardaki potas tuzları işletmede büyük orandaki şekerin kristalizasyonunu engeller ve melas miktarını artırır. Besleme suyunun aynı zamanda hafif asit özellikte olması ve sıcaklığının 50-70°C arasında bulunması gerekir.

Difüzörün içindeki helezonlar vasıtasıyla pancar kıyımları yukarı doğru ilerler. Difüzörün üst tarafına yıkanarak çıkmış olan pancar kıyımları, içerisindeki şekeri hemen hemen suya vermiştir. Dolaşım şerbetinden, ham şerbet çekişi yapılır. Özütleme taze su ile yapıldığı gibi, pres suları da geri alınabilir. Geri almalı işlemlerde pres suyu yaklaşık 75°C dir.

3.2.9. Küспенin sıkılması

Küspe helezonu ile dışarı çıkarılan pancar kıyımlarına "sulu küspe" adı verilir. Helezonlarla preslere taşınır. Preslerde sıkılarak çıkan küspeye de sıkılmış küspe veya sadece küspe adı verilir. Bu, küspe bandıyla fabrikadan dışarı atılarak hayvan yemi olarak kullanılır.

Özütleme cihazında bir sızma bölgesi varsa ve dolayısıyla taze su cihaza hemen küспенin çıkış yerinden verilmiyorsa çıkan küspe, suyundan hayli arınmış olup oldukça kurudur. Besleme suyu hemen küspe çıkışından verildiği takdirde

ise, cihazın tüm difüzyon uzunluğundan yararlanılır ama, "döner su" miktarının azalması zararı ile karşılaşılır. Bu durumda pres suyu oranı %10 yükselir.

Pres suyunun geri alınmasının bazı faydaları vardır;

- Atıksu kaynaklı güçlüklerinin kalkması: Şeker fabrikasının atıksuları içinde en önemlisi, şerbet üretiminin oldukça yüksek oranda organik madde içeren atıksularıdır. Geri kazanım ile bu problem yok olmaktadır,
- Daha az taze su ihtiyacı: Sürekli çalışan özütleme tesisleri, taze su ile çalıştıklarında şerbet üretimi için %80-100 oranında su kullanır. Buna karşın pres suyu geri kazanıldığında su ihtiyaçları çekilen şerbet ve küspenin sıkılma derecesine göre %35-50 dolayında azalır,
- Daha yüksek oranda kuru madde kazancıda sayılabilir: Ayrıca geri kazanımdan işletmede belirli difüzyon kayıpları, kıyaslanabilen şartlarda, (ham şerbet çekişi, sıcaklık, difüzyon süresi, kıyım kalınlığı) taze sulu işletmedekinden yüksek değil, aksine teori ve uygulamanın da doğruladığı gibi bir parça daha düşük olur.

3.2.10. Şerbet arıtması

Şerbet arıtmasının başlıca işlevi, ham şerbette çözülmüş bulunan şeker dışı maddeleri en yüksek oranda uzaklaştırmak ve bu suretle arıtılmış şerbetlerde sakkarozun toplam kuru madde içindeki payını mümkün olduğu kadar yükseltmektir. Çünkü kristal biçimindeki şekerin elde edilebilme yeteneği buna bağlıdır.

Bugün şerbet arıtma teriminden anlaşılan şey, ham şerbetin kireç, karbondioksit ile işleme ve onun kapsadığı işlerdir. Şerbet arıtma problemleri, başlıca bu uygulamanın daha mükemmel halde geliştirilmesi, sürekli çalışan tesislerin kullanılması, bunların gittikçe otomatik hale gelmesi gibi ortadan kaldırılabilir. Çok değişik uygulamalara rağmen bu denemeler hala bitmiş değildir. Çünkü eski yöntem de sürekli olarak etkili değişikliklere imkân vermektedirler. Ancak şeker teknolojisi ile ilgili araştırmalarda genellikle bilindiği gibi, özellikle şerbet arıtmasında genel olarak geçerli kurallar koymak mümkün değildir. Çünkü pancar malzemesi devamlı değişkendir ve ham şerbetlerin

bileşimi hiçbir zaman durağan değildir. Bu nedenle her kampanya ve her dönemdeki şartlara uygun kurallar belirlemek gerekir ki, bununla ilgili temel kural ve kanunlar büyük kolaylık sağlar.

Klasik şerbet arıtma yönteminin temeli, ham şerbete %1-2 ve daha çok kireç katarak şerbetin kolloidlerini ve çözünmeyen kireç tuzu ve kompleksleri oluşturan şeker dışı maddeleri çökeltmektir. Bu işlem çoğunlukla 80-85°C'de 5-10 dakika süre ile gerçekleştirilir. Kirecin, şerbetin çözünmüş haldeki bileşikleri ile gerçekleştirdiği tepkimeler hızlanarak şerbet dayanıklı (durağan) bir hale gelir. Kireçlenmiş şerbetler bekletilirse iki kısma ayrılır; üstte berrak bir çözelti ve dipte bir çökelti oluşur. Arıtma işleminden sonra kireçlenmiş şerbetteki artık kireç karbondioksit geçirilerek karbonat halinde çökeltilir ve bu esnada daha önce oluşmuş bulunan kalsiyum sakkaratlar da parçalanır. Karbonatlama iki kademedey uygulanır. Birinci kademedey, kirecin nötrleşmesi şerbetteki alkaliniteye %0,07-0,1 CaO'e ininceye kadar sürer. Bundan sonra kalsiyum karbonatlı çamurun süzülmesi uygulanır.

Süzülmüş şerbet ikinci kademedey (II.Karbonatlama - Saturasyon) yeniden sıcak halde CO₂ ile çökeltilir. CO₂ geçirilmesi, şerbette en az kireç tuzlarının kalabileceği ortama kadar sürer ki bu da %0,008-0,025 CaO'e eşit alkaliniteye karşı gelir. Bundan sonra da yeniden hemen hemen saf kalsiyum karbonattan oluşan çamurun süzülmesi uygulanır. Böylece şerbet arıtması esas itibari ile tamamlanmış olur.

Elde edilen "Sulu Şerbet" gerekirse üçüncü kez (III. Karbonatlama) kükürdioksit ile işlem görür. Bunun başlıca etkisi, şerbeti ağartma ve viskozitesini azaltmadır. Bir kez daha süzildükten sonra, şerbet buharlaştırma işlemine gönderilir.

3.2.11. Birinci Kireçleme

Kireç etkisinin süre ve sıcaklığına göre, oluşan çamur, çok kısa bir süre içinde dibe çökmekte ve üst kısımda berrak bir şerbet kalmaktadır. Birinci kireçleme şerbetinin arılığı, sulu şerbete kadar işlenmiş normal bir şerbetten pratik olarak farksızdır.

3.2.12. İkinci Kireçleme

İkinci kireçlemeden amaç, az kireçle kolloidler çökdikten sonra daha büyük miktarda kireç vermektir, ikinci kireçlemenin teknik uygulaması pratik olarak üç basamaktan ibarettir.

a) Kireçleme maddesinin verilmesi,

b) Kireçli şerbetin ısıtılması,

c) Yukarıda belirtilen tepkimelerin tamamlanması için belirli bir bekletme süresinde tutulması.

Kireç soğukta daha çok çözüldüğünden kirecin verilmesi soğukta olmalıdır. Ondan sonra istenen sıcaklığa ısıtılmalıdır. Bu sebeple kireç ilavesi, ısıtmadan önce yapılır.

3.2.13. Birinci Saturasyon (Karbonatlama)

Karbonatlamanın amacı, kireçli şerbetteki kireç fazlasını CO₂ yardımı ile çözünmeyen kalsiyum karbonata dönüştürüp onu şerbetten ayırmayı mümkün kılmaktır. I. Saturasyon ile II. Saturasyon arasında, işletmenin isteğine göre:

a) Ham şerbete veya birinci kireçlemeye çamur katma,

b) Aşırı karbonatlanmış çamurlu şerbetin geriye alınması,

c) Kireçlemeli karbonatlama,

d) Ham şerbet çökeltisini değerlendiren yöntemler uygulanabilir.

3.2.14. İkinci Saturasyon

I. Karbonatlamada mekanik fiziksel olaylar ön sırada yer alırken, II. karbonatlamada daha çok kimyasal problemlerle uğraşılır. İşleme gelen şerbetin hiçbir şekilde çamur tanecikleri içermemesi ve berrak olması şarttır. I. karbonatlamamanın berrak şerbetinden yeniden karbondioksit geçirmekten amaç, birinci karbonatlamada henüz çökmemiş bulunan karbonhidroksidi tamamen karbonat halinde çöktürmek ve şerbetin doğal alkalinitesini oluşturan alkali hidroksitlerini de karbonatlara dönüştürmektir.

3.2.15. Kükürtleme

Sağlam, normal pancarlar için aslında yalnız CaCO_3 ile karbonatlama yeterli olur. Çok berrak ve parlak şerbetler elde edilmek istenirse, bu durumda karbonatlamadan sonra bir de kükürtleme işlemi uygulanabilir. Fakat asla asitlendirme koyu bir şerbete sebep olacak kadar yapılmamalıdır.

3.2.16. Katı Maddelerin Ayrılması

Şerbet arıtmada çamur türünden katı maddelerin ayrılması iki gruba ayrılır. Birincisi büyük miktardaki çamurların (Örneğin I. ve II. karbonatlama çamurları) filtrasyonla ayrılması ki bunun önüne çoğunlukla yoğunlaştırma eklenir, ikincisi ise küçük miktardaki çamurların (ince çökelekler) yalnız filtrasyonla ayrılmasıdır. Bu amaçlar için yoğunlaştırma, ayırma ve şerbetsizleştirme ve ince filtrasyon işlemleri kullanılır.

3.2.17. Buharlaştırma

Sulu şerbet buharlaştırma kazanlarında %12 şekerden %55 şeker içeren koyu şerbete dönüştürülür. Buharlaştırma cihazlarına sulu şerbet çekilmeden çeşitli şerbet ısıtıcılarına da buhar verilmesi gerekir. Buharlaştırma cihazlarında

kademeli bir buharlaşma vardır. Birinci buharlaştırıcı türbin dairesinden gelen buharla ısıtılır, diğerleri bir öncekinden çıkan buharla ısınır.

Buharlaştırıcılardan çıkan koyu şerbet, koyu şerbet deposunda toplanarak, çeşitli süzme işlemlerinden geçirilir.

3.2.18.Kristalleştirme

Bugün genel olarak uygulanan kristallendirme yönteminde klereler, koyu şerbetler ve şuruplar 65-80°C'lik sıcaklıklarda yaklaşık 0,2-0,4 atm. basınç altında pişirilir.

İçerisinde kristal bulunmayan bir sulu çözeltide çözülmüş seker moleküllerinin sıcaklık sebebi ile birbirlerine çarptığı düşünülmelidir. Çözeltinin yoğunluğu arttıkça çarpışma hızlanır ve birikme noktaları bulunur. Tane teşekkülü istikrarsız bir görünüştedir. İri veya ince kristal teşekkülü istenilmesi durumuna göre düşük aşırı doyumluk ve yüksek aşırı doyumluk kullanılır.

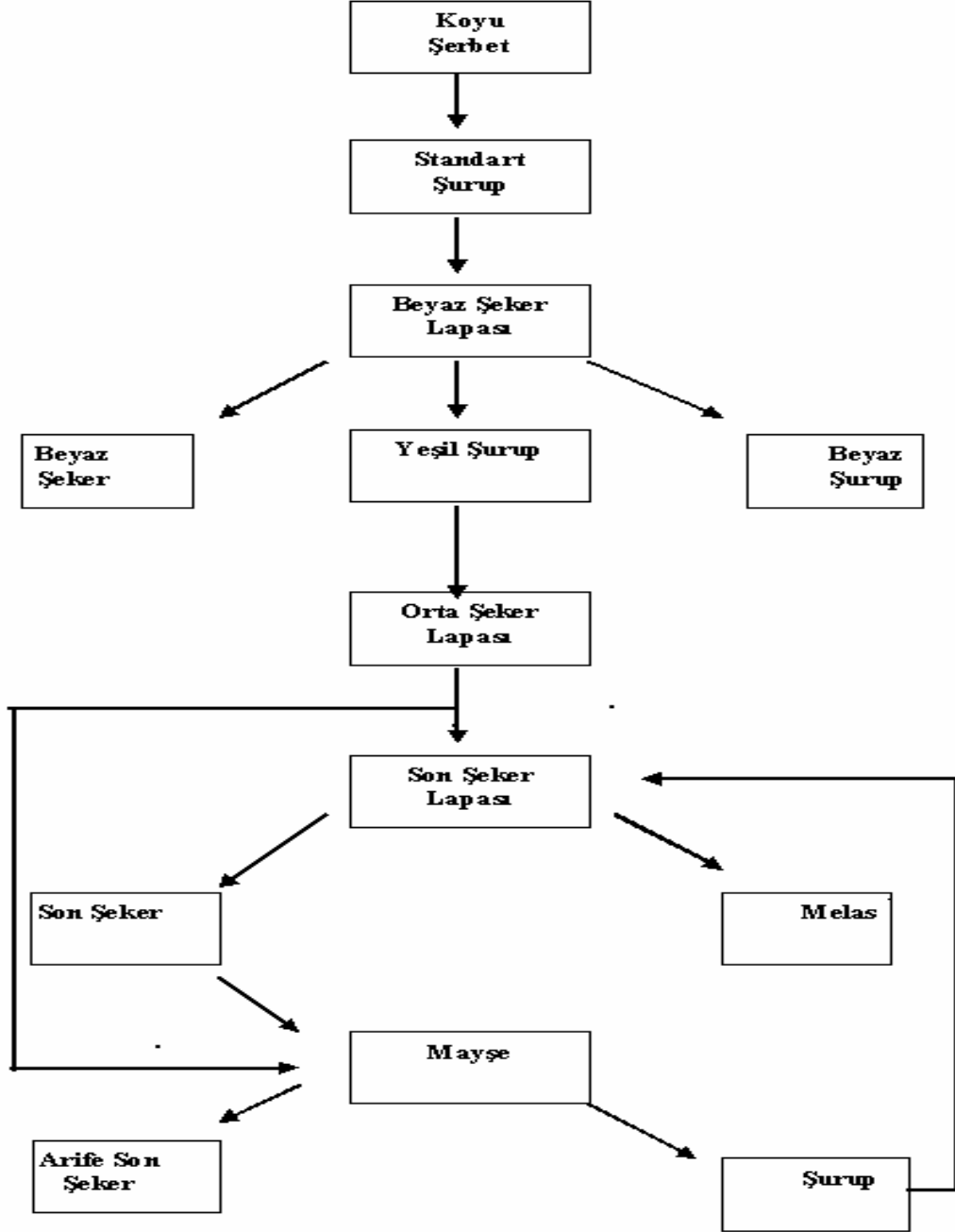
Bir beyaz şeker fabrikasının pişirim şemasının seçimi en başta, istenen şeker cinslerinin kalitesine bağlıdır. Birkaç işlem uygulanabilir fakat yurdumuzdaki fabrikalarda genellikle üç pişirimli işlem uygulanmaktadır.

Beyaz şeker lapasının pişiriminde standart şurup kullanılır. Bu şurup koyu şerbetin tamamı, orta ve son şekerlerin klereleri ve beyaz şeker lapasının beyaz şurubu karışımından oluşur. Beyaz şeker lapasının yeşil şurubu, orta şeker pişiriminde kullanılır. Bu şeker biraz renklidir. Eritildikten sonra klera adlı şerbet yapılır.

Orta şurupları toplanarak son şeker vakumunda pişer. Soğutularak santrifüjlenir. Ayrılan şeker son şeker veya ham şeker denir ve kirlidir. Orta şekerin yeşil şurubuyla karıştırılıp rafinasyon lapası elde edilir ve santrifüjde süzülür. Çıkan şeker tekrar eritilerek üçüncü klera adı altında temizlenerek kristal şeker pişiriminde kullanılır. Rafinasyondan çıkan şurup da son şeker pişiriminde kullanılır.

Son şeker santrifüjünden süzüntü olarak bir şurup daha çıkar ki %50 şeker içerir, buna "melas" denir. Melas tankında toplanarak çeşitli işlemlere tabi tutulur. Yurdumuzda bu melasın bir kısmı küspe ile karıştırılarak hayvan yemi yapımında

kullanılır. Büyük bir kısmı Eskişehir, Malatya, Turhal, Erzurum ve Kütahya' daki şeker fabrikalarında alkol yapımında kullanılır.



Şekil 3.6. Bir Beyaz Şeker Fabrikasının Üç Pişirimli İşlem Akım Şeması

3.2.19. Lapaların Soğutulması

Sakkarozun çözünürlüğü sıcaklık düştükçe azalır. Kristal verimini artıran bu özellikten, karıştırma mayşelerinde lapa soğutularak yararlanır. Fakat pişirim cihazında 65-80°C’de çıkan lapanın bağlayıcı bir durumu vardır. Aşırı soğutma lapa kıvamını yükseltir ve lapanın içinde hareket eden karıştırma kolları işlemez hale gelir. Bu nedenle sıcaklık 45-55°C’nin altına düşmemelidir. Düşerse santrifüjlemeden önce ısıtma yapılmalıdır.

3.2.20. Santrifüjleme

Lapayı kristal ve şurup olarak ayırmak için santrifüjleme işlemi uygulanır ve merkezkaç kuvvetinden yararlanarak şurubun lapadan ayrılması tamamlanır.

3.2.21. Şekerin Kurutulması ve Elenmesi

Henüz santrifüjden çıkmış olan şeker serbest, bağlı ve kuşatılmış nem denilen üç tip nem içerir. Serbest nemin uçurulması için havalandırma yeterli olmaktadır. Bunun için de sarsaklar, helezon ileticiler vb. donanım kullanılabilir.

Bağlı nem ise şeker, soğutulmuş kuru hava ile 24 saat temasta tutularak giderilir.

3.2.22. Şekerin Ambarlanması

Bir kaç ay süren kampanyada üretilen şeker, tüketim ihtiyacının çok üstündedir. Bu nedenle çuvallara ve kağıt torbalara doldurulan veya paketlenerek ambalajlanan şeker, ambarlarda istiflenir (Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş., 2003).

4. SU KULLANIMI VE ATIKSULARIN TANIMLANMASI

4.1. Su Kullanımı ve Atıksu Kaynakları

Şeker sanayinde kullanılan suların çok az bir kısmında içme suyu kalitesi aranır.

4.1.1. Su gereksinimi ve su tüketimi

Şeker fabrikalarında az veya çok miktarda olsun, suyun kullanılmadığı istasyon hemen hemen yok gibidir. Bir şeker fabrikasında suyun kullanıldığı yerler ve miktarları Çizelge 4.1’de verilmiştir.:

Çizelge 4.1. Şeker Fabrikasında Suyun Kullanıldığı Yerler ve Miktarları

| YER | MİKTAR |
|--------------------------------------|----------|
| Pancar yüzdürme suları | %500-800 |
| Pancar yıkama suyu | %150-200 |
| Kondense soğutma suyu | %400-600 |
| Şerbet üretiminde kullanılan taze su | % 30-40 |
| Soğutma suları | % 20-100 |

Bunlardan başka kullanılan sular varsa da bunların miktarları çok azdır. İstenildiği kadar taze su bulamayan, akarsuları fazla kirlenmiş ve sanayi bakımından çok ileri ülkelerde, sudan tasarruf etmek ve atılan kirli su miktarını azaltmak için işletmede kullanılan çeşitli sular geri alınır ve çok kez tekrar kullanılır. Su kullanılan bazı yerlerde, kullanılan su ile sarf edilen su miktarları birbirinin aynı değildir.

Aynı şekilde, harcanan su miktarı atılan kirli su miktarına da denk olmayabilir. Diğer taraftan su bilançosu yapılırken şu noktalar göz önüne alınmalıdır. Pancar %75-80 arasında su ve fabrikadan atılan bazı yan ürünler, örneğin şekersiz kıyım belirli miktarlarda su içermekte ve kirli su olarak görünmemektedir. Bunlardan başka buhar ve suyun buharlaşması sonucu oluşan kayıplar da hesaba katılmalıdır. Bugün suların geniş çapta kullanılması sonucu

işletme için gerekli taze su miktarı (işletme suyu) 100 kısım pancar girişi için 50-100 kısım arasında değişmektedir (Whalley, 1969).

4.1.2. Kullanılacak suların nitelikleri:

Şeker fabrikasında işletme suyu olarak kullanılacak sularda hiçbir zaman içme suyunda aranan yüksek nitelik istenmez. Buna karşı, şerbet üretiminde kullanılacak taze sularda fazla miktarda organik madde ve tuz bulunması da arzu edilmemektedir. Soğutma sularında demir ve mangan miktarlarının fazla olması, demir-mangan bakterilerinin çoğalarak borularda ve depolarda istenmeyen çamur şeklindeki maddelerin oluşmasına ve korozyona neden olurlar. Yüzdürme suyu ve pancar yıkama suyu ile işletmeye giren bazı maddeler özellikle toprak taneleri ve mikroorganizmalar normal olarak en geç şerbet temizlemede uzaklaştırılmış olur. Yalnız mikroorganizmaların sporları buharlaştırıcılara kadar gelebilir, onlar da buharlaştırıcılardaki yüksek sıcaklıkla ölürler. Su ile fabrikaya giren yabancı maddelerin böylece rafineriye girmesi önlenmiş olur. Rafineriden gelen yoğunlaştırıcı soğutma suları normal olarak şeker içeren şerbetler ile temas etmez. Diğer taraftan özellikle buhar yoğunlaştırıcı suyu kullanılan yerlerde, bu su buharlarının yoğunlaşmasından elde edildiğinden sterilidir.

4.1.3. Suların kirlenmesi

Şeker fabrikalarında işlenen pancarın tonu, büyüklük birimi olarak alınır ve bunun üzerinden fabrikaların kirli suları birbiri ile kıyaslanabilir. Kirlilik, kullanılan suya ve atılan suya bağlı olmadan işlenen 1 ton pancarda g BOI₅ olarak ifade edilir. Şeker fabrikaları süreç suları ile evsel atıksularının kıyaslanması özgül kirlilik (B) değeri üzerinden yapılır. B değeri için (4.1) eşitliği verilmiştir.

$$B = \frac{\text{g BOI}_5 / \text{ton işlenen pancar}}{E} \quad (4.1)$$

E: Kişi eşdeğeri (1 kişinin 24 saatte neden olduğu kirlilik)

4.2. Atıksu Kaynaklarının Sınıflandırılması ve Tanımlanması

4.2.1. Pancar yüzdürme ve yıkama suları

Pancar üzerine yapışmış olan toprak, pancarın yüzdürülmesi ve yıkanması sırasında suya geçer. Bunlar suyun hareketsiz olduğu yerlerde, küçük parçaları ve kuyrukları ile dibe çökerler. Bu şekilde "çökebilir maddelerin" miktarı nicel olarak saptanır.

Fabrikaya getirilen pancarlar normal olarak %10-20 kirlilik içermektedir. Kurak mevsimlerde bu miktar %5'e kadar düştüğü halde, kuvvetli yağmur zamanlarında %60'ın üstüne çıkmaktadır. Bu duruma göre, bu su miktarı %75 olarak hesaplanır ise, yüzdürme ve yıkama işlerinde çöken miktar, her m³ için 70-80 kg arasında değişmektedir.

Çökebilir maddelerin yanında, pancarda bulunan, özellikle şeker ve azotlu maddeler ile topraktaki çözünebilir maddeler de suya geçer. Eğer soğuk su kullanılır ve pancarlar da fazla zedelenmez ise, pancardaki diğer maddelerle beraber yaklaşık olarak %0,05 şeker de yüzdürme ve yıkama suyuna geçmektedir. Zedelenmiş ve silolarda bekletilmiş pancarlarda yüzdürme ve yıkama suyunda ki şeker kaybı % 1'e kadar çıkmaktadır.

Bu suların geri dönüşümlü olarak kullanılması, eşdeğer kirlilik yükünü %45-65 azalttığından tüm dünyada uygulama alanı bulmuştur.

4.2.2. Difüzyon ve pres suları

Şerbet üretimi cihazlarında şekerin özütlenmesi, su aracılığıyla yapılır. Şekersiz kıyımın sıkılması ile pres suyu elde edilir.

Su tüketimi kullanılan tesisin cinsine ve suyun geri kazanılıp kazanılmamasına bağlıdır. Genellikle difüzyon hücresi yıkama amacıyla 1,5 m³/ton-gün, küspe presleme için 0,5 m³/ton gün atıksu oluşmaktadır. Batarya difüzörü sistemi ile çalışmalarda 100 pancar girdisine karşı 200 su tüketilir. Difüzyon suyu olarak atılan kirliliği %100-110' dur. Bununla beraber batarya kazanlarını boşalttıktan sonra kullanılan yıkama suları ve yaklaşık %60 pres suyu

da hesaplanmalıdır. Bu suların kirliliği çok fazladır. Bu kirlilik işlenen her 1000 ton pancar için difüzyon suyu için 2000 kg BOİ₅ ve pres suyu için de 3600 kg BOİ₅ kirlilik derecesine eşdeğerdir. Bu derece kirlenmiş suyu, olanaklar çerçevesinde geri kazanmak için çalışmalar yapılmış, fakat miktarının çok fazla olmasından pek kolay olmamıştır. Yine de batarya difüzyonu suyunun atılması tamamıyla önlenmiştir. Bundan başka bu sistemlerde pancara göre %35-55 olan pres suyu da herhangi bir güçlükle karşılanmadan geri kazanılabilmektedir.

4.2.3. Yoğuşturucu soğutma suyu

Bründe'nin yoğunlaşmasından oluşan yoğuşturucu suyu 100 kısım pancara göre 400-600 kadardır. Bründe'nin yoğunlaşması ile su miktarı artar. Sıcaklığı genellikle 40-50°C dir ve organik maddeler tarafından az kirletilmiştir.

Pişirim istasyonunun ve yoğuşturucu donanımının özelliği yoğuşturucu soğutma suyunun kirlilik derecesine etkiler. Yoğuşturucu soğutma suyunda fazla miktarda amonyak bulunur. Bründe'deki azot miktarı 50-80 mg/L kadar olup pH değeri ise 8 ile 9 arasındadır. Sıçrayan şerbet fazla miktarda şeker içerdiğinden, yoğuşturucu suyunun organik madde bakımından kirlenmesine neden olur, bu nedenle rafinerideki şerbetin, şerbet tutucularda geri tutulması zorunludur. Bu şerbet tutucular gerektiğinde bütün lapayı alabilecek büyüklükte olmalıdır. Bu şekilde vakumdan lapanın tamamı da kaçsa, yoğuşturucu suyuna karışması önlenmiş olur.

4.2.4. Artık kirli sular

Fabrikanın depoların ve tesislerin temizliğinde kullanılan bütün temizlik ve yıkama suları artık kirli sular kısmına girer, Bez yıkama, torba filtreleri yıkama, temizlik suları gibi yıkama sularının yanında iyon değiştirici tesislerin rejenerasyon suları, çamur sevk suları, kazan blöf suları, evsel atıklar da artık kirli su olarak hesaplanır.

Şeker fabrikalarında sular geri kazanılmazken, pancarın işlenmesi için tüketilen çok fazla su yanında, miktarının az olması nedeniyle artık kirli sular

ihmal edilebiliyordu. Günümüzde suların geri döndürülmesi ile suların büyük bir kısmının atılması önlendikten sonra, miktar bakımından nispeten az olan artık sular, çok kirli olması nedeniyle geri döndürülmeyen kirli suların büyük bir kısmını oluşturur. Bu suların arıtılmaları gerekmektedir.

4.2.5. Yıkama suları

Filtre torbaları genellikle bez yıkama tanburunda yıkanır. Bezlerin kirlenmesine, filtrasyon yıkanmasından sonra bile bir miktar şeker kalan ve yaklaşık %10 oranında çökmüş organik madde içeren karbonatlaştırma çamuru neden olmuş ise bu bezlerden çıkan sular çok kirlidir. Bezlerin kirlenmesi veya değiştirilme sıklığı şerbetin arıtılması ve pancar kalitesine bağlı olmaktadır. Bundan başka birinci karbonatlaştırmadan sonra çamur filtrelerinin cinsi de önemli rol oynamaktadır. Bu amaç için aşağıdaki olanaklar vardır.

- Çamur filtreleri ile filtrasyon,
- Döner filtreler, filtrasyondan sonra çamur filtreleri üzerinden son filtrasyon,
- Döner filtreler ile filtrasyondan sonra kizelgur filtrelerinden son filtrasyon,
- Genellikle çamur filtreleri ile yapılan filtrasyondan oluşan atıksuyun B değeri 1,0-1,5 civarındadır.

4.2.6. Torba filtrelerinin yıkanması

Torba filtrelerin temizlenmesinde suyun kirlenmesi bez yıkamadakine benzer şekilde olmaktadır, Su miktarındaki B değeri 1,0-1,5 olmaktadır

4.2.7. Gaz yıkama atıksuları

1 ton pancar başına 0,15 m³ civarında atıksu oluşmaktadır.

4.2.8. Temizlik ve taşkın suları

Gerek kampanyada, gerek kampanya dışında fabrikanın ve cihazların temizlenmesi için kullanılan suların tümü temizlik suyu olarak kabul edilir. Arızalarda oluşan şerbet ve su taşkınları da buna ilave edilir.

4.2.9. Kazan blöf suları

Modern işletmelerde kazan dairesinden atılan blöf sularının miktarı yaklaşık olarak %0,5-3'tür. Blöf sularının kirlilik oranı çok değişik olmakta, doğal olarak kazanlarda kullanılacak suyun yüksek basınçlı kazan için kullanılacak olanının, alçak basınçlı kazanlar için kullanılacak olandan daha az kirlenmiş olması beklenir.

Yapılan araştırmalarda organik kirlilik olarak blöf sularındaki KMnO_4 tüketimi 20 ila 300 mg/L arasında bulunmuştur.

Blöf sularının gerektiği şekilde soğutulduktan sonra akarsulara karıştırılıp karıştırılmaması veya diğer çok kirli sular ile arıtıma tabi tutulup tutulmaması zorunluluğuna ancak zaman zaman ortalama kirlilik derecesi saptandıktan sonra karar verilir.

4.2.10. Çamur sevk suları

Küspe çukurları ve çamur sahası drenaj sularından yaklaşık olarak % olarak çıkan çamur, çeşitli yöntemlerle fabrikadan uzaklaştırılır. Bu sırada 1 ton pancar başına küspe çukurundan 0,1 m³, çamur sahasından 0,16 m³ atıksu oluşmaktadır.

Şerbet arıtımında karbonatlaştırma çamurunu ayırmak için döner filtrelerin daha az kullanılması ile filtreden elde edilen çamura kıyasla, daha yumuşak çamur elde edilmektedir. Fazla masraf yapmadan çamuru atabilmek için, çamur 1:1 oranında su ile karıştırılarak pompa ile atılabilecek duruma getirilir. Çamurun sulandırılmasında ve pompalanmasında kullanılan su çamurdan ayrıldığı zaman

çok kirlenmiş olur ve 2000 mg/L' nin üzerinde BOİ₅ yükü vardır. Bu duruma göre çamurun sulandırılmasında kullanılacak su çok kirli olabilir.

4.2.11. İyon değiştirici tesislerin rejenerasyon suları

şeker fabrikalarında kullanılan iyon değiştiricilerin rejenerasyonu aşağıdaki aşamalarda yapılır.

- Yıkama,
- Ters yıkama,
- Tuzsuzlaştırma yıkaması,
- şerbet doldurma.

Önce iyon değiştiricinin içerdiği çözelti taze su (yoğunlaşmış buhar) ile uzaklaştırılır. Bu yıkama sırasında suyun akış yönü, önceden akan şerbetin akış yönünün aynıdır. ıkan yıkama suyu işletmeye geri alınır ve büyük bir olasılıkla iyon değiştiricinin yıkanmasında tekrar kullanılır. Bu duruma göre kirli su oluşmamaktadır. Gerek şerbet vermede, gerek yıkamada şeker derişiminin kontrolü, analitik yol ile ve örneğin iletkenlik ölçülerek yapılır.

Ters yıkamanın (şerbet akışının ters yönünde) amacı sıkışmış iyon değiştiricileri gevşetmektir, böylece ökelmif katı maddeler su ile dışarı atılır.

Bundan sonraki aşamada iyon değiştiricinin rejenerasyonu yapılır. Rejenerasyonda (şerbet akışı yönünde) iyon değiştiricinin cinsine göre, yemek tuzu, magnezyum klorür, seyreltilmiş asit veya baz kullanılır. Bunu yıkama takip eder ve bu işleme tuzsuzlaştırma denir. Bunun amacı rejenerasyonda kullanılan maddelerin uzaklaştırılmasıdır, iyon değiştiricinin işletmeye alınmasında genellikle önce iyon değiştiriciden şekerli su çıkıncaya kadar şerbet veya ilk yıkamadan elde edilen tatlı su geçirilir.

4.2.12. şerbetin kireçsizlendirilmesi

Araştırmalara göre kiresizlendirme tesislerinin rejenerasyonunda çıkan su miktarı %5 civarındadır. İyon değiştirici reçinelerin cinsine ve eksikliğine göre B

değeri 1 ila 3,5 arasında değişir. Çizelge 4.2’de kireçsizlendirme tesisine ait değerler verilmiştir.

Çizelge 4.2. Bir Kireçsizleştirme Tesisinin Atıksuları ve Kirlilik Yükü

| Yapılan İşlem | Kirli Su Miktarı m ³ | KMnO ₄ Tüketim | BOİ ₅ | B Değeri |
|----------------|------------------------------------|---------------------------|-----------------------|-------------|
| | | g/t İşlenen Pancar | g/t İşlenen Pancar | |
| Ters Yıkama | 1,99 | 87,1 | 22,6 | 0,42 |
| Rejenerasyon | 0,43 | 3,3 | 1,2 | 0,02 |
| Tuzsuzlaştırma | 1,58 | 21,2 | 9,4 | 0,17 |
| Yıkama | 0,69 | 94,7 | 30,2 | 0,56 |
| TOPLAM | 4,70 | 206,3 | 63,4 | 1,17 |

4.2.13. Şerbetin tuzsuzlaştırılması

Tuzsuzlaştırma, şerbet içerisinde bulunan şeker dışı maddeleri iyon değiştiriciler ile olanaklar ölçüsünde uzaklaştırmaktır. Melasa kadar giden şerbetteki şeker dışı maddelerin büyük bir kısmı iyon değiştirici tarafından tutulur ve rejenerasyon ile kirli su olarak atılır. Şerbetin renksizlendirilmesi, kireçsizlendirilmesi veya Quentin usulü ile çalışmada iyon değiştiricilerden çıkan su çok miktarda tuzlara oranla az miktarda organik madde içeriğine karşılık, tuzsuzlaştırmadan elde edilen rejenerasyon suyu çok miktarda organik madde içerir. Bundan başka, nötrleştirme için de önemli miktarda asit ve baza ihtiyaç vardır. Bu suların çok asidik veya çok bazik olması, bu suların verildiği akarsuların pH’ larında değişmelere neden olduğu gibi durultma tesislerinede biyolojik bakımdan zararlı olur. Çünkü mikroorganizmaların kısmen ve hatta tamamen faaliyetlerinin durmasına neden olur.

Tuzsuzlaştırmadan çıkan rejenerasyon suyunun çalışma sistemine göre miktarları ve kirliliği değişik olabilmektedir. Kirlilik derecesi Çizelge 4.3’ deki gibi önce suya geçen şeker dışı maddelere, sonra da rejenerasyon için kullanılan maddelerin cinsine ve bu kimyasal maddelerin kısmen de olsa geri kazanılıp kazanılmamasına bağlıdır.

Çizelge 4.3. Bir Tuzsuzlaştırma Tesisinden Çıkan Kirli Suyun Özellikleri

| Tuzsuzlaştırma Tesisinden Çıkan Kirli Su | MİKTAR |
|---|---------------|
| Kuru Madde Miktarı | %1,36 |
| Kızdırma Bakiyesi | %0,82 |
| Organik Madde | %0,54 |
| Polarizasyon | %0,015 |
| Sülfat | %0,47 |
| Klorür | %0,2 |
| Azot (Kjeldahl) | %0,01 |
| BOİ ₅ | 2650 mg/L |
| Potasyum Permanganat Tüketimi | 9000 mg/L |

4.2.14. Kireç çöktürme tankları drenajı ve kok-kireç çamuru

1 ton pancar işlenmesine karşılık 0,12 m³ çöktürme tankı drenaj atıksuyu, 0,12 m³,de atık çamur oluşmaktadır.

4.2.15. Eysel atık niteliğindeki kullanma suları

Bu suların miktarları fabrikadan fabrikaya değişir. Nedeni çıkan kirli suların sadece fabrikada vardiyada çalışan işçilerin kullandıkları sular olduğu gibi, fabrikada sosyal tesislerin bulunması veya kampanya işçileri ve ailelerinin fabrika civarında oturup oturmamasına bağlı olarak değişebilir. Evlerden atılan kirli suların miktarı yaklaşık olarak %3-5 ve B değeri de 0,2 olarak hesaplanabilir.

Yerel kanalizasyon olduğu sürece bu kirli sular genellikle kanalizasyona verilir. Şayet bu kirli suları akarsulara vermek zorunluluğu varsa, önce çok sayıda bölmeleri bulunan durultma havuzundan geçirilerek içindeki katı maddeler ayrılır.

Bu kirli suları fabrika kirli suları ile birlikte arıtma tesislerine vermek mümkün olabilir. Bu şekilde çalışmanın yararı, evsel sularda bulunan fazla miktardaki azot ve bakteri ile şeker fabrikası kirli sularının parçalanmasını kolaylaştırmasıdır.

1 ton pancar başına çevre temizliği için 0,133 m³ ve evsel kullanım için 0,05 m³ atıksu oluşmaktadır ve bu suların BOİ' si sırasıyla 3000 ve 300 mg/L'dir.

4.2.16. Meydan ve yağmur suları

Kullanılmış sularda olduğu gibi meydan ve yağmur sularının miktarı da fabrikadan fabrikaya çok değişmektedir. Bu durum, yağmur sularından daha çok vagon, kamyon ve arabaların el ile boşaltılmasında değişik miktarlarda yüzdürme suyunun sıçrayarak meydan sularına karışmasının bir sonucudur. Bazen kontrol altına alınmayan fabrika suları da yağmur suyu kanalına karışır.

Küspe kurutmadan çıkan ve fabrika çatılarının üstüne yayılmış olan tozları beraberce sürüklendiğinden, yağmurun yağması ile ilk oluşan yağmur suları daha kirli olur.

Yağmur ve meydan suları yerel kanalizasyona veya devreden pancar yüzdürme suyuna verilebilir. Bu suları temiz sular ile atmak doğru değildir. Çünkü en azından toplam kirliliğin zaman zaman daha yüksek olmasına neden olabilir. Bütün bunların yanında genel bir ortalama olarak 1 ton pancar başına 0,05 m³ atıksu oluşmakta olup BOİ olarak eşdeğeri 1500 mg/L'dir.

5. ATIKSULARIN ALICI SULAR ÜZERİNE ETKİSİ

Kirli sular akarsulara verildikten sonra içindeki partikül maddeler, akarsuyun tabanına çöker ve buralarda istenmeyen çamur yığınları oluşur. Su içinde çözülmüş olarak kalan diğer organik maddeler suda bulunan organizmalar tarafından aerobik olarak parçalanır ve bu arada mikroorganizmaların hücre yapıları için gerekli maddeler kullanılmış olur. Karbonhidrat bileşiklerinin aerobik parçalanmasında çeşitli ara ürünler oluşur ve son olarak karbondioksit meydana gelir. Azotlu bileşikler, nitrata ve kükürtlü bileşikler de sülfata dönüşür. Bu parçalanmayı yapan bakteriler genellikle bakteri yiyiciler tarafından yok edildikleri gibi, bir veya çok hücreli canlılar, örneğin terliksi hayvanlar, tarafından yenir. Bunlar da balıklar, böcek larvaları ya da küçük yengeçlere yem olur. Akarsulardaki kirleticileri parçalayan ve böylece akarsuların kendi kendine temizlenmesini sağlayan bu organizmalar genellikle oksijen kullandıklarından, kirli suların akarsulara verilmesi sonucu akarsulardaki oksijen miktarı azalır.

Eğer çok kirli atıksular akarsulara verilirse, su içindeki oksijenin tamamı harcanır ve bunun sonucu olarak organizmalar aerobik tepkime yerine anaerobik tepkime verir. Bu durumda, örneğin kükürtlü organik maddeler ve inorganik maddeler kükürtlü hidrojene kadar parçalanır, bu ise aerobik canlılara kuvvetli zehir etkisi yapar. Oksijensiz sulardaki anaerobik canlıların organik kirleticileri parçalaması, oksijenli sulardaki aerobik canlıların parçalanmasından daha yavaştır. Böyle durumlardan sakınmak gerekir. Çünkü, akarsularda oksijen miktarının azalması ile doğal bitkiler ve diğer canlılar yok olur ve bunun sonucu, aşırı koku sorunu oluşur (Whalley, 1969).

Eğer koşullar uygun ise, suların havadan oksijen almasını sağlayabilmek için, şeker endüstrisindeki atıksular, küçük şelaleler yapan ve derin olmayan kanallardan akıtılır. Bu şekilde oksijensiz suların, şelale yaparak düşürülmesiyle 3 mg/L' ye kadar oksijen aldığı saptanmıştır.

6. ATIKSU KARAKTERİZASYONU

Şeker fabrikalarının atıksuları ana madde olarak şeker içerdiği için tek yönlü kirlenmiş atık sulardır. Bunun yanı sıra, şeker pancarı azot ve fosfor da içerdiğinden atıksuda kirletici parametre olarak azot ve fosfor bileşikleri de bulunmaktadır. Bunlardan başka şeker pancarının bileşiminden kaynaklanmayan fakat üstünde bulunan toprak ve çamurun suya geçmesi ile oluşturduğu askıda katılar vardır ve dolayısıyla bulanıklık oluştururlar. Şeker fabrikalarında sıcaklık da bir kirletici parametre olarak göz önünde bulundurulmalıdır. Çünkü tesisin pek çok yerinde soğutma suyu kullanımı vardır. Şeker fabrikasının atıksuları çok miktarda şeker içerdiğinden BOİ değeri yüksektir. Şeker Fabrikasının atıksu çeşitleri ve BOİ₅ içerikleri Çizelge 6.1' de verilmiştir.

Bütün bunlara dayanarak şeker pancarından şeker üretimi ile çıkan şeker rafine atıksularının karakteristiği BOİ₅, KOİ, askıda katı madde, alkalinite, çözülmüş katılar, azot formları, toplam fosfor derişimleri, toplam ve fekal koliform, sıcaklık ve pH değerleri ile tanımlanabilir. BOİ₅, askıda katı maddeler ve pH değeri en önemli çıkış suyu parametreleridir. Şeker pancarının işlenmesi sonucu çıkan süreç atıksularının karakteristiklerinin Türkiye genelinde değerleri Çizelge 6.2 ve Çizelge 6.3' de diğer ülkeler için ölçülmüş parametreler ve karakteristikler ise Çizelge 6.4 ve Çizelge 6.5' de verilmiştir. Bu değerler ülkemiz için verilenlerin daha altında olup uygulanan arıtma teknolojisinin farklılığından ileri gelmektedir (Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş, 2003).

Çizelge 6.1. Şeker Fabrikası Atıksularının Çeşitleri ve BOİ₅ içerikleri (Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş, 2003)

| Şeker Fabrikasının Az Kullanılmış Suları | Miktar % | KMnO₄ Tüketimi | BOİ₅ mg/L | B |
|--|-----------------|----------------------------------|-----------------------------|----------|
| Pompa Soğutma Suyu | 12,3 | 10 | 7 | 0,02 |
| Türbin Soğutma Suyu | 9,3 | 13 | 8 | 0,01 |
| Gaz Pompaları Suyu | 7,3 | 24 | 23 | 0,07 |
| Kondense Fazlası | 3,1 | 60 | 34 | 0,02 |
| Lavör Suyu | 5,0 | 84 | 26 | 0,02 |
| Daha Az Kirlenmiş Sular | 47,0 | 27 | 17 | 0,14 |
| Şeker Fabrikasının Fazla Kullanılmış Suları | Miktar % | KMnO₄ Tüketimi | BOİ₅ mg/L | B |
| Temizlik Suları | 2-3 | 10000 | 3500 | 1,3-2 |
| Bez Yıkama Suları | 1-1,5 | 25000 | 5000 | 0,9-1,4 |
| Torba Filtre Yıkama Suları | 1-1,5 | 30000 | 6000 | 1,1-1,7 |
| Rejenerasyon Suları | 3-5 | 9000 | 4000 | 2,2-3,7 |
| Yoğunlaşmış Buhar Fazlası | 0-5 | 800 | 400 | 0-0,4 |
| Evsel Atıksular | 3-5 | 500 | 300 | 0,2-0,3 |
| Meydan Suları | 1-5 | 3500 | 1500 | 0,3-1 |

Çizelge 6.2. Şeker Fabrikası Atıklarının Karakteristikleri (Taşıma, Yıkama ve Süreç Suları)

| Parametre | Pancar yıkımı ve kanal suları(Karışık) | | | | | | Difüzyon Suları | | | Küspe Presleme Suları | | |
|--|--|-------|------|------------|-------|------|-----------------|-------|------|-----------------------|------|------|
| | Kapalı Devre | | | Açık Devre | | | Min. | Maks. | Ort | Min | Maks | Ort |
| | Min | Maks. | Ort. | Min. | Maks. | Ort | | | | | | |
| Sıcaklık | 8 | 22 | 15 | 6,5 | 20 | 12 | 34 | 51 | 43 | 37 | 52 | 44 |
| Bulanıklık(SiO ₂)mg/L | 600 | 10000 | 3300 | 700 | 1800 | 800 | 1200 | 5000 | 7000 | 1800 | | 7800 |
| Koku | Z4G üstünde veya z5s | | z1S | z1S | z4S | z4S | z2S | z5S | z3S | z2S | z5S | z4S |
| pH | 5,0 | 7,0 | 6,2 | 7,1 | 7,8 | 7,5 | 4,2 | 5,9 | 4,9 | 4,3 | 4,9 | 4,5 |
| BOI ₅ (O ₂) mg/L | 450 | 3000 | 1300 | 105 | 210 | 160 | 1400 | 3000 | 2200 | 1050 | 3600 | 2600 |
| KMnO ₄ değeri mgO ₂ /L | 120 | 1900 | 540 | 125 | 185 | 150 | 1100 | 4000 | 2200 | 2700 | 4300 | 3350 |
| Çürüebilme (saat) | 0,5 | 7 | 4 | 6 | 8 | 7 | 4 | 10 | 6 | 6 | 45 | 16 |
| Amonyak (N) mg/L | 1,5 | 5,0 | 3,0 | 1,2 | 3,5 | 2,0 | 2,5 | 6,5 | 3,9 | 2,0 | 4,6 | 3,2 |
| Organik Azot (N) mg/L | 18,0 | 90,0 | 45,0 | 7,0 | 15,0 | 10,0 | 55 | 110 | 85 | 58 | 186 | 107 |
| Fosfat (PO ₄) mg/L | 2,0 | 4,0 | 2,9 | 1,5 | 5,6 | 3,0 | 4,2 | 14,1 | 8,1 | 8,4 | 13,0 | 10,7 |
| Potasyum (K), mg/L | 40 | 130 | 76 | 8 | 11 | 10 | 90 | 170 | 110 | 100 | 140 | 120 |
| Top. Kuru Tortu mg/L | 1500 | 8700 | 4700 | 1100 | 1700 | 1500 | 3600 | 6700 | 5250 | 5500 | 8100 | 6600 |
| Yanabilir maddeler mg/L | 600 | 2400 | 1400 | 330 | 580 | 420 | 3000 | 5700 | 4500 | 4800 | 7400 | 5800 |
| Toplam asılı katılar | 850 | 6200 | 2800 | 580 | 1050 | 780 | 1200 | 2600 | 1930 | 1450 | 2250 | 1800 |
| Yanabilir madde, mg/L | 160 | 780 | 360 | 100 | 220 | 140 | 1000 | 23002 | 1580 | 1150 | 1950 | 1450 |
| *Çamur Hacmi cm ³ /L | 6 | 38 | 14 | 5 | 9 | 7 | 15 | 100 | 60 | 20 | 130 | 75 |

(Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş., 2003)

Çizelge 6.2 (Devamı)

| Parametre | Gaz Yıkayıcıdan Gelen Sular | | | Filtre Bezlerinin Yıkandığı Odadan Gelen Sular | | | Barometrik Kondensörlerden Gelen Sular | | | Çamur Ayırmadan Gelenler (Kok-Kireç Çamuru) | | |
|--|-----------------------------|-------|------|--|-------|-------|--|-------|------|---|-------|-------|
| | Min | Maks. | Ort. | Min. | Maks. | Ort | Min. | Maks. | Ort | Min | Maks | Ort |
| Sıcaklık | 10 | 42 | 25 | 43 | 80 | 65 | 30 | 65 | 43 | 8 | 22 | 16 |
| Bulanıklık(SiO ₂)mg/L | 40 | 800 | 200 | 10000 | 50000 | 21000 | 15 | 250 | 93 | 220 | 9000 | 4600 |
| Koku | z1s | z5s | z3s | z2S | z5s | z3s | z1S | z5S | z4S | z1S | z3S | z2S |
| pH | 4,8 | 6,7 | 6,1 | 8,5 | 10,0 | 9,4 | 6,6 | 8,5 | - | 6,0 | 6,3 | 6,2 |
| B0I ₅ (O ₂) mg/L | 30 | 840 | 370 | 8400 | 24000 | 14000 | 20 | 500 | 187 | 12000 | 17000 | 15000 |
| KMnO ₄ değeri mgO ₂ /L | 13 | 260 | 74 | 6300 | 18000 | 13000 | 15 | 65 | 40 | 2300 | 3900 | 3200 |
| Çürüyebilme (saat) | 4 | Yok | - | 2 | 36 | 12 | 1 | 6 | 4 | 0,17 | 1 | 0,5 |
| Amonyak (N) mg/L | 3,5 | 21,0 | 11,0 | 2,0 | 35,0 | 20,0 | 6,0 | 30,0 | 18,0 | 7,0 | 16,0 | 12,0 |
| Fosfat (PO ₄) mg/L | 0,2 | 4,8 | 1,6 | 0,7 | 3,5 | 2,4 | 0,1 | 1,1 | 0,5 | 10,5 | | - |
| Potasyum (K), mg/L | 10 | 55 | 28 | 120 | 260 | 200 | 6 | 55 | 28 | 95 | | - |
| Top. Kuru Tortu mg/L | 660 | 2000 | 1200 | 20000 | 78000 | 43500 | 275 | 1600 | 873 | 10200 | 25300 | 19600 |
| Yanabilir maddeler mg/L | 180 | 860 | 480 | 19000 | 32000 | 26000 | 90 | 990 | 360 | 5500 | 1300 | 10600 |
| Toplam asılı katılar | 15 | 85 | 39 | 3400 | 55000 | 82000 | 6 | 60 | 27 | 720 | 4100 | 1300 |
| Yanabilir madde, mg/L | 4 | 35 | 14 | 2600 | 27000 | 9500 | 1 | 35 | 12 | 500 | 1520 | 830 |
| *Çamur Hacmi cm ³ /L | | 0,2 | 0,1 | 6 | 800 | 330 | Görülmedi | | | 15 | 7 | |

(Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş., 2003)

Çizelge 6.3. Şeker Fabrikası Atıklarının Karakteristikleri (1000 Ton Pancar İşlenmesine Karşılık Oluşan Atıksu Miktarı ve Kirlilik Yükü)

| Parametre | Pancar Yıkama ve Kanal Suları Karışık | Gaz Yıkayıcıdan Gelen | Filtre Bezi Yıkama | Difüzyon Suları | Küspe Presleme Suları | Barometrik Yoğuşturucur den Gelen Sular | Kok-Kireç Çamuru Ayırmadan Gelen | Kireç-Çökeltme Tonlu Drenajı | Küspe Çukurları Drenaj Suları | Meydan suları | Evsel Nitelikli Atıksular | |
|------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|--------------------|-----------------|-----------------------|---|----------------------------------|------------------------------|-------------------------------|---------------|---------------------------|-------|
| | | | | | | | | | | | Temizlik | Evsel |
| Debi m ³ /1000 tp | 13520 | 150 | 150 | 1500 | 500 | 5000 | | | | | 133 | 50 |
| BOI ₅ kg/1000 tp | 2704 | 55,4 | 2100 | 3300 | 1300 | 100 | 120 | 120 | 260 | 50 | 399 | 15 |
| Askıda Katı Madde kg/1000 tp | 10816 | 5,85 | 3300 | 2895 | 900 | 150 | 1800 | 170,4 | 260 | 50 | | |
| Toplam Azot kg/1000 tp | 162,24 | 1,65 | 3 | 133,35 | 55,1 | 100 | 156 | 54 | | | | |
| Toplam Fosfor kg/1000 tp | 40,56 | 0,24 | 0,36 | 12,15 | 5,35 | | 1,44 | | | | | |
| Eşdeğer Kirlilik kişi/günü | 50074 | 1028 | 38889 | 61111 | 24074 | 18515 | 33333 | 3155 | 96296 | 1389 | 7667 | |

(Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş., 2003)

Çizelge 6.4. Yabancı Ülkeler İçin Şeker Fabrikası Atıklarının Karakteristikleri

| Kirli Su Tipi | Debi m³/kg Ürün | BOİ₅ mg/L | KOİ mg/L | Askıda Katı Madde mg/L | Amonyak Azotu mg/L | Kjeldahl Azotu mg/L |
|--------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------|-------------------------------|---------------------------|----------------------------|
| Şeker Pancarı Su Kanalı | 7,85 | 200 – 210 | 175 | 400- 4300 | 3 | |
| Barometrik Yoğuşturucu Suyu | 6,89 | 30- 40 | | 77 | 6,8 | 9,4 |
| Küspe Bölmesi Suyu | 1,38 | 910 - 1020 | | | | |
| Küspe Presleme Suyu | 0,62 | 1710 | | 420 | | |
| Toplam Süreç Kirli Suyu | 2,27 | 1230 - 1600 | 1500 | 1100 - 1300 | | |
| Kok-Kireç Çamuru | 0,31 | 1420 - 8600 | | 120000 | | |
| Kok-Kireç Havuzları Taşkınları | 0,26 | 1420 | | 450 | | |
| Hamur Silosu Drenaj Suları | 0,72 | 7000 | | 270 | | |

(Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş., 2003)

Çizelge 6.4 (Devamı)

| Kirlı Su Tipi | Debi m ³ /ton ürün | BOİ ₅ | | AKM | |
|-----------------------------|----------------------------------|------------------|-------------|----------|-------------|
| | | mg/L | kg/ton ürün | mg/L | kg/ton ürün |
| Steffen Kirliliği | 0,41 | 10000-10500 | | 100-700 | |
| Şeker Pancarı Yüzdürme Suyu | 10,84 | 210 | 2,25 | 800-4300 | 8,5-41,7 |
| Bölme Suyu | 1,67 | 910 | 1,50 | 1020 | 1,7 |
| Pres Suyu | 0,75 | 1700 | 1,30 | 420 | 0,3 |
| Depo Suyu | 0,88 | 7000 | 6,15 | 270 | 0,25 |
| Kireçli Sulu Çamur | 0,38 | 8600 | 3,25 | 120000 | 45 |
| Yoğuşturucu Suyu | 8,34 | 40 | 0,35 | | |
| Steffen Filtresi | 0,50 | 10500 | 5,20 | 100-700 | 0,05-0,35 |
| Toplam Su | 23,35 | | 20,0 | | 55,8-94,1 |
| Süreç Suyu | | | | | |

(Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş., 2003)

Çizelge 6.5: Çizelge6.4'ün Parçalanmış 1 ton Pancar Esas Alınarak Değerlendirilmesi

| Kirli Su Tipi | Nitrat Azotu mg/L | Toplam Fosfor mg/L | Alkalinite mg/L | pH | Çözünmüş Katılar mg/L | Sülfat mg/L | Toplam Koliform EMS/100 ml | Fekal Koliform EMS/100 ml |
|---------------------------------|----------------------|-----------------------|--------------------|-----|--------------------------|----------------|-------------------------------|------------------------------|
| Şeker Pancarı Yüzdürme Suyu | | | | | 780 | | | |
| Barometrik Yoğuşturucu. Suyu | 0,2 | 0,06 | 296 | 8,5 | 780 | 105 | 1,424 | 143 |
| Küspe Bölmesi Suyu | | | | | | | | |
| Küspe Presi Suyu | | | | | | | | |
| Küspe Depo Drenaj | | | | | | | | |
| Toplam Süreç Kirli Suyu | | | | | 1120 | | | |
| Kok-Kireç Çamuru | | | | | 2850 | | | |
| Kok-Kireç Havuzu Taşkını | | | | | | | | |
| Steffen Kirliliği | | | | | 42900 | | | |

(Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş, 2003)

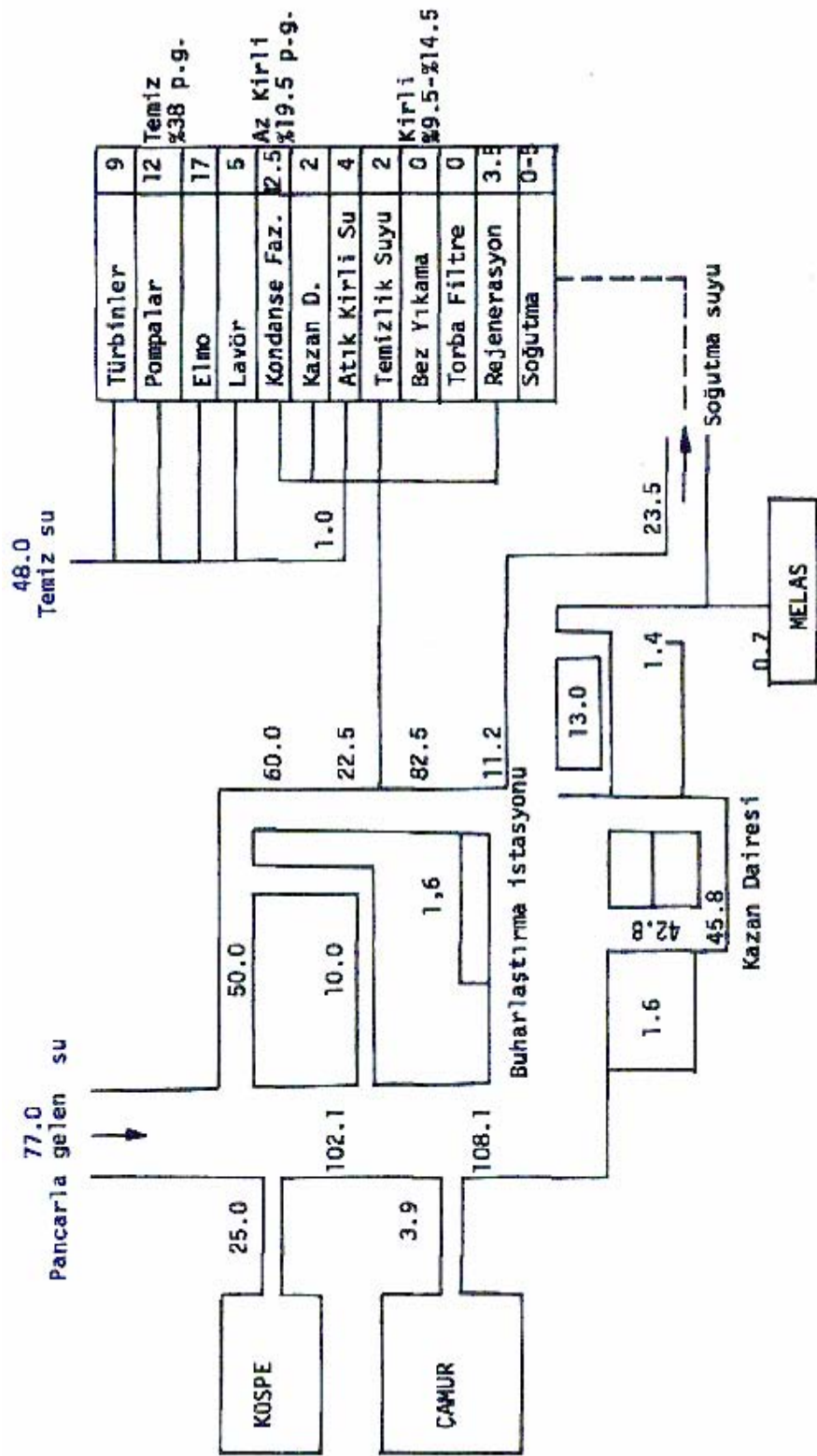
Şekil 6.1’de şimdiye kadar edinilen deneyimlere göre suyun kirliliği ve miktarı ile ilgili ortalama değerler verilmiştir. Bugünkü teknik olanaklar, şeker fabrikalarında kirli su maliyetini en aza indirmiştir.

Şekil 6.1’e göre pancar %77 su ile fabrikaya girer. Bazı fabrikalarda olduğu gibi şerbet üretiminde kullanılan su, yoğunlaştırıcı sularından temin edilir. Pancara göre %50 su ilavesi, küspede veya küspe kurutmada buharlaştırılarak atılan pancara göre %25 su miktarı göz önüne alınırsa, su miktarı pancara göre %102 olan %120 ham şerbet çekişi verir.

Şerbet arıtımında çamur yıkama ve kireç suyu hazırlama için ilave edilecek su miktarı %10 tahmin edilmiştir. %3,9 su karbonatlaştırma çamuru ile atılır, iyon değiştiricinin rejenerasyonu için (kirecsizleştirme) gerekli su miktarı %3,5’tur ve bu su kirli su olarak tekrar ortaya çıkar. Bunu kazan dairesinden devrettirilen %82,5 yoğunlaşan buhar ile buharlaştırma istasyonu takip eder. Rafineriye gönderilen koyu şerbet %11,2 su kapsar. Pişirmede çekilen ve eritmede kullanılan su miktarı %13,0 olarak kabul edilir. Santrifüjlerde buhar olarak kaybolan ve devreden çıkan su miktarı %1,4’dür. Rafineriden şeker %0, melas %0,7 su ile çıkar.

Pancar ile gelen %77 suyun %29,6’ sı küspe kurutmadan buhar olarak, çamur ile ve melas ile atılır. Buharlaşma kaybı %19,9-24,9’dur (Yoğunlaştırıcı soğutma suyunun soğutulması). %12,5 yoğunlaştırıcı suyu fazlası dikkatli bir çalışmada ya az kirlenmiş su olarak akarsulara verilir veya işletmeye alınarak tekrar kullanılabilir. Kirli su olarak çıkan kısmı %9,5-14,5 olur. Şekil.6.1’in üst tarafında görüldüğü gibi, fabrikaya daha %48,0 temiz su gereklidir. Bu miktarın %38’i türbin soğutma suyu ve, fazla kirlenmemiş olarak fabrikayı terk eder. Bunlara ilaveten lavör ve kazan suları da fazla kirlenmemiş su olarak kabul edilebilir. Temiz suyun az bir kısmı (M) evsel atık niteliğindeki (işçilerin kullandığı su) kirli su olarak çıkar.

Şekil 6.1’de görüldüğü gibi, atılan kirli su miktarı azaltılabilir, örneğin şerbet üretiminde ısı değiştiricilerde soğutularak yoğunlaşan buhar taze su olarak kullanılabilir.



Şekil 6.1. Şeker Fabrikası İçin Su Bilançosu

Ayrıca pancar yüzdürme devresinden atılan su miktarı gösterilmemiştir. Çünkü bunun miktarı her zaman değişen kir miktarına ve yerel koşullara bağlıdır. Yüzdürme suyuna karşı gelen kısım şekilde gösterilen toplam kirli su miktarına ilave edilmelidir.

Şekil 6.1 de görüleceği gibi, kirlenmiş ve temizlenmesi zorunlu olan su miktarı, şeker fabrikasında devrettirilen pek çok miktardaki su ile karşılaştırıldığında çok az olabilmektedir.

7. ŞEKER FABRİKASI ATIKSULARININ GENEL DEĞERLENDİRİLMESİ

Yukarıdaki inceleme sistematığı doğrultusunda şeker fabrikalarında 1000 ton pancar işlenmesine karşılık oluşan atıksu miktarı ve kirlilik yükü Çizelge 7.1’de verilmiştir (Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş, 1991).

Çizelge 7.1. 1000 ton pancar işlenmesine karşılık oluşan atıksu miktarı ve kirlilik yükü

| | 1000 ton Pancar işlenmesine karşılık | Konsantrasyon Bazında mg/L |
|----------------------------|---|-----------------------------------|
| Debi (m ³) | 22218 | |
| BOİ ₅ (kg) | 18119 | 815 |
| Toplam Azot (kg) | 456,78 | 20,6 |
| Toplam Fosfor (kg) | 58,66 | 2,6 |
| TAKM (kg) | 18277 | 823 |
| Eşdeğer Kirlilik(kişi/gün) | 335534 | |

Bu değerlere göre 1 ton pancar başına 22 m³ dolaylarında su kullanılmakta olup 18 m³ olan Batı ülkeleri üst değerini bir miktar aşmaktadır.

Kirlenme profilinin belirlenmesinden sonra Çizelge 7.2’de şeker fabrikaları için bireysel temelde günlük atıksu miktarı ve kirlilik yükü, Çizelge 7.3’de kampanya süresince oluşan atıksu miktarı ve kirlilik yükü ve Çizelge 7.4’ de ise şeker fabrikalarının hergün ve kampanya süresi boyunca oluşturduğu kirlilik yükü sunulmaktadır.

Çizelge 7.2. Şeker Fabrikası için Bireysel Temelde Günlük Atıksu Miktarı ve Kirlilik Yükü

| Fabrika | Atıksu Miktarı (m³ /gün) | BOİ₅ kg/gün | AKM Yükü (kg/gün) | Eşdeğer Kirlilik (kişi/gün) |
|----------------|--|-----------------------------------|------------------------------|--|
| Adapazarı | 153304 | 125021 | 126111 | 2.315.185 |
| Afyon | 153304 | 125021 | 126111 | 2.315.185 |
| Alpulu | 84428 | 68852 | 69453 | 1.275.029 |
| Amasya | 102380 | 83492 | 84220 | 1.546.140 |
| Ankara | 41592 | 33919 | 34214 | 628,120 |
| Bor | 46658 | 38050 | 38382 | 704.621 |
| Burdur | 113312 | 92407 | 93213 | 1.711.223 |
| Elazığ | 38393 | 31310 | 31583 | 579.803 |
| Erzincan | 38393 | 31310 | 31583 | 579.803 |
| Erzurum | 59990 | 48921 | 49348 | 905.942 |
| Eskişehir | 149305 | 121760 | 122821 | 2.254.790 |
| Ilgın | 79985 | 65228 | 65797 | 1.207.92 |
| Kastamonu | 83984 | 68490 | 69087 | 1.268.318 |
| Kayseri | 72786 | 59358 | 59875 | 1.099.209 |
| Konya | 126643 | 103278 | 104179 | 1.912.544 |
| Kütahya | 34993 | 28537 | 28786 | 528.466 |
| Malatya | 66654 | 54357 | 54831 | 1.006.602 |
| Muş | 57990 | 47290 | 47703 | 875.743 |
| Susurluk | 1 29086 | 105271 | 106189 | 1.949.452 |
| Turhal | 139707 | 113932 | 114926 | 2.109.838 |
| Uşak | 32660 | 26635 | 28867 | 493.235 |

Çizelge 7.3. Kampanya Süresince Oluşan Atıksu Miktarı ve Kirlilik Yüğü

| Fabrika | Atıksu Miktarı(1000m³ /kampanya) | BOİ₅ (ton/kampanya) | AKM Yüğü (ton/kampanya) | Eşdeğer Kirlilik (milyon kişi/gün) kampanya |
|----------------|--|---------------------------------------|---------------------------------|--|
| Adapazarı | 22995 | 18750 | 18913 | 345 |
| Afyon | 24548 | 20000 | 20174 | 368 |
| Alpullu | 12664 | 0335 | 10425 | 191 |
| Amasya | 18432 | 15030 | 15160 | 270 |
| Ankara | 7488 | 6120 | 6173 | 113 |
| Bor | 7464 | 6080 | 6133 | 112 |
| Burdur | 18128 | 14784 | 14912 | 272 |
| Elazığ | 5376 | 4382 | 4420 | 81 |
| Erzincan | 5760 | 4695 | 4735 | 87 |
| Erzurum | 8400 | 6860 | 6920 | 126 |
| Eskişehir | 23888 | 19488 | 19657 | 360 |
| İlgın | 12800 | 10400 | 10490 | 192 |
| Kastamonu | 15120 | 12330 | 12437 | 221 |
| Kayseri | 12376 | 10098 | 10186 | 187 |
| Konya | 20889 | 17045 | 17193 | 313 |
| Kütahya | 5950 | 4845 | 4887 | 90 |
| Malatya | 10997 | 7616 | 7682 | 140 |
| Muş | 4930 | 4020 | 4055 | 74 |
| Susurluk | 22575 | 18482 | 18588 | 341 |
| Turhal | 25146 | 20520 | 20698 | 381 |
| Uşak | 5560 | 4522 | 4561 | 83 |

Çizelge 7.4. Şeker Fabrikalarının Hergün ve Kampanya Süresince Oluşturdukları Kirlilik

| Kirlilik | Hergün | Kampanya Sonu |
|------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Debi | 1805547 m ³ /gün | 291,5 milyon m ³ |
| BOİ ₅ | 1472439 kg/gün | 236 milyon kg |
| TAKM | 1485279 kg/gün | 238 milyon kg |
| Eşdeğer Kirlilik | 27895179 kişi/gün | 4,35 milyon kişi/gün |

Bu değerler kirlilik düzeyinde ortalama değerler alınarak yan işletmeler, göz önüne alınmaksızın bir yaklaşım oluşturmak amacıyla yapılmıştır. Bu çizelge, şeker fabrikalarının çalışma döneminde kurulu buldukları kentlerin nüfuslarını birkaç kat aşar kirliliğe neden olduklarını, kampanya süresince toplam kirliliğin dünya nüfusuna yaklaştığını göstermektedir. Dolayısıyla şeker endüstrisinin kirlenme profili, atıksu kaynakları arasında segregasyonu ve geri kullanma olanaklarının alabildiğine zorlanması ile yoğun atık bazında havasız arıtımı zorunlu kılmaktadır.

Bu nedenle şeker fabrikalarında uygulanması gereken çevre koruma programı aşağıdaki ilkeler çerçevesinde düzenlenmelidir.

- Çok yüksek bir kirletici kaynak olmaları ve genellikle iç sulara atıksularını deşarj etmeleri nedeniyle, şeker fabrikalarına ivedi olarak arıtma sistemleri yapılmalıdır.
- Uygulanacak arıtma teknolojisi seçimi, atıksuların geri kullanımı ile su tüketiminin azaltılmasını, enerji bilânçosuna girdi sağlayacak sistem seçeneklerinin tercihini temel esas olarak kabul etmelidir (Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş, 1991).

8. KAYNAKTA KİRLENMEYİ ÖNLEYİCİ DÜZENLEMELER VE GERİ KAZANMA UYGULAMALARI

8.1. Su Kullanımında Tasarruf Uygulamaları

Bu ilkeler ışığı altında, ileride ayrıntılı olarak önerilecek arıtma sistemleri programının temelini oluşturacak kavramlar belirlenmiştir.

- Pancar yüzdürme ve yıkama suları geri dönüşlü olarak kullanılacaktır. Bu amaçla çamur çökeltme sisteminin oluşturulması gereklidir. Böylelikle bu atıksu kaynağının kirlilik yükü de %45-65 dolaylarında azalacaktır.
- Difüzör hücre yıkama, küspe presi, kok-kireç çamuru, çökeltme tankları, çukurlar ve saha drenajı, torba filtreler ve çevre temizleme atıksuları havasız biyolojik sistemde arıtılarak, oluşacak biogazdan enerji gereksiniminin karşılanmasında yararlanacaktır.
- Havasız sistem çıkışı, basıçlı yoğuşturucu atıksuları, gaz yıkama atıksuları ve evsel nitelikli atıksular havalı biyolojik sistemde arıtıldıktan sonra deşarj edileceklerdir.
- Fabrikanın soğutma amaçları için kullanılan ve kirlili olmayan sularının geri kullanımı teşvik edilecektir.

8.2. Geri Kazanma ve Tekrar Kullanma

8.2.1. Pancar yıkama ve yüzdürme suyu

Pancar yıkama ve yüzdürme suları için uygulanabilecek ilk işlem yüzdürme ve yıkama sularından çökebilir maddelerin ayrılmasıdır. Yüzdürme ve yıkama suları akarsuya verilmeden önce mutlaka çökebilir maddelerden temizlenmelidir. Aksi halde çöken toprak kütlesi akarsuyun yatağının değişmesine neden olabileceği gibi, suyolunu tıkayarak akışını dahi önleyebilir. Çöken maddelerin ayrılması işlemi ya çamur havuzlarında, veya mekanik olarak çamuru atan çökeltme tesislerinde yapılabilir.

8.2.2. Çamur havuzları

Çamur havuzları ile çalışmada, topraklı pancar yüzdürme ve pancar yıkama suları çamur havuzlarına gönderilir. Bu havuzlarda suyun hareketi çok az olduğundan, su ile birlikte gelen toprak, çok küçük pancar ve parçaları havuzların dibine çöker. Durultma sırasında su çamur tabakalarının üzerinde toplanır ve bu çamurdaki organik kirler tekrar suya geçer.

Havuzların büyüklüğü, yeteri kadar su toplanabildiği takdirde çöken çamur, içinde yeterli miktarda yer alacak şekilde seçilmelidir. Diğer taraftan havuzları çok da büyük sememelidir. Çünkü yüzdürme ve yıkama sularının çok uzun zaman havuzlarda beklemesi sonucu, özellikle havuzların hareketsiz olan kısımlarında, istenmeyen bir tepkime oluşabilir. Aynı nedenlerden dolayı, çok sayıda çamur kaynağı bulunan işletmelerde havuzlar birbiri ile bağlantılı olarak yapılır ve daima ilk baştaki işletmeye alınır ve ancak bu havuz çamur ile dolduktan ve yararlanılmaz hale geldikten sonra, diğer havuz işletmeye alınır. Eğer istenilen sayıda çamur havuzu yapacak alan yok ise, mevcut havuzlarda toplanan çamurun çıkartılması ve taşınması çok masraflı olduğundan, yüzdürme suyundan pancar ile gelen toprağı ayırmak için çamuru mekanik olarak ayırabilecek durultma havuzları kurulmakta ve bunlar üzerinde çalışmalar yapılmaktadır.

8.2.3. Çamur atıcılı çökeltme havuzları

Buğn amur atıcılı çökeltme yahut durultma havuzlarında, durultma havuzunda toplanan çamuru aralıklı olarak veya sürekli temizlemek olanağı vardır ve böylece çamur ile suyun temas süresi nispeten kısa olduğundan arzu edilmeyen tepkimeler oluşmaz. Koyu amur da borularla, çamurun çökelmeye bırakılabileceği uzak mesafelere gönderilir. Bu şekilde tarıma uygun olmayan verimsiz topraklar tarıma uygun hale getirilebilmektedir.

8.2.4. Pancar yüzdürme ve yıkama sularının geri alınması

Pancarın yüzdürülmesi ve yıkanmasından arta kalan çok miktardaki kirli su, içindeki toprak uzaklaştırıldıktan sonra ancak büyük akarsulara verilebilir. Çünkü, bu artık su sadece organik maddeler tarafından kirlenmiş kirliliği kapsar.

Suyu geri kazanmadan çalışan işletmeler ile geri kazanarak çalışan işletmelerin sularının kirliliğini karşılaştırmak güçtür. Genellikle yüzdürme ve yıkama sularını geri kazanan çalışan fabrikalar için, çamur havuzlarının taşkınlarda veya koyu çamurun iletilmesinde kullanılan sularda 10'dan 15'e kadar spesifik kirlilik (B değeri) bulunmuştur. Miktarın bu kadar azaltılması kirli suyun genellikle arıtma olanağını sağlamaktadır.

Suyun geri kazanıldığı çalışmalarda doğal olarak kirlilik oranı önemli derecede artmakta ise de (geniş çapta geri kazanan fabrikalarda 4500 mg BOİ₅/L'ye kadar çıkabilir) mutlak kirlilik oldukça küçüktür. Suyu geri kazanmadan çalışan işletmelerde B değeri yaklaşık olarak 28 bulunduğu halde, geniş ölçüde geri kazananlarda ise B değeri 10-15 arası olmaktadır. Geri döndürülen sudan atılan suyun mutlak kirliliği, suyu geri kazanmadan atan işletmelere oranla yaklaşık olarak %45-65 civarında düşüktür.

Yüzdürme ve yıkama sularının kapalı sistem olarak geri kazanımında suyun kirliliği daha azalmış olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak her sistemde pancar ve topraktaki organik maddelerin, suyu geri döndürmeyen sistemlerdeki gibi devamlı olarak suya geçeceği ve bunun sonucu olarak organik maddelerin zenginleşmesi ile kirliliğin de geniş çapta artabileceği düşünülebilir.

Kirliliğin az olmasına, geri kazanılan sistemlerden devamlı olarak organik maddelerin uzaklaştırılması ve özellikle mikroorganizmaların kuvvetli faaliyeti sonucu anaerobik tepkime ile organik maddelerin kısmen parçalanması neden olmaktadır.

8.2.5. Yoğuşturucu soğutma suyu

Eğer şeker fabrikası büyük ve suyu az kirli olan akarsuların yanında ise, yoğuşturucu soğutma suyu genellikle bir defa kullanılır ve sonra tekrar akarsuya

verilir. Yoğuşturucu soğutma suyunu geri almayan fabrikalarda bu suyu ırmaklara vermeden önce sadece 30°C' ye soğutmak gereklidir. Çünkü yeteri kadar büyüklükte şerbet tutucusu var ise genel olarak organik maddeler tarafından kirlenmesi çok azdır. Yapılan araştırmalara göre kirlilik derecesi 5-15 mg BOİ₅/L arasındadır. Yoğuşturucu soğutma suyunun sıcaklığı, genellikle fabrikanın diğer soğutma suları ile karıştırılarak düşürülür.

Yoğuşturucu soğutma sularının geri döngüsü genellikle çevrenin ve akarsuların durumu göz önüne alınarak gerçekleştirilmesidir. Rafinerilere büyük şerbet tutucularının konmasından bu yana, kirlilik derecesi bakımından, KMnO₄ tüketimi 400-600 mg/L ve BOİ₅ 150-200 mg/L civarında bulunmaktadır. Geri kazanılan yoğuşturucu soğutma suyunun bu değerleri bugün de yüksek olduğundan suyun fazlası doğrudan doğruya akarsuya verilemez.

Yoğuşturucu soğutma suyunun tamamını geri alabilmek ancak yalnız sıcaklığın artması ile değil, bründelerin de ilavesi ile oluşan hacim artmasını, kullanılan tesislerde suyun buharlaşması sonucu pratik olarak su fazlası olmayacak şekilde dengelemek de olanaklıdır.

Daha önce de değinildiği gibi, yoğuşturucu soğutma suyunun geridöngüsü, organik maddeler ile kirlenme derecesini artırır. Pancar yüzdürme suyunun geri alınmasında olduğu gibi suyun kirliliği o derece yükselir ki, aynı miktar kirlilik bründe ile devreden suya karışır ve kirlilik suyun atılması ile veya mikrobiyolojik parçalanması sonucu uzaklaştırılabilir.

8.2.6. Süreç atıksuyunun geri kazanımı

Şeker üretiminde amaç ekonomik olarak belirlenen bir kampanya süresinde fabrika kapasitesi ile belirlenen maksimum miktarda pancar işleyip ondan maksimum miktarda şeker üretmektir. İşletmede kullanılan su yönünden aynı durum incelendiğinde amaç, işletmede çok az taze su kullanarak kirliliği yüksek az miktarda kirli su çıkarmaktır. Bunu gerçekleştirmek için işletmede iyi bir su ekonomisi uygulamak tekrar fabrikaya alınabilecek su devrelerini gerçekleştirmek gerekir. Suların büyük bir kısmı, yağ ve şeker kaçakları olmadığı

sürece, basit bir şekilde durultularak veya soğutularak tekrar fabrikaya alınır ve kullanılabilir.

Fabrikada geri alınarak tekrar kullanılabilen sular temiz, oldukça temiz veya az kirlenmiş sulardır. Fazla kirli suda pancar taşınımı suyun yüzey geriliminin azalması nedeniyle zorlaşacağı gibi pancarın gerektiği nitelikte yıkanmaması dolayısıyla bakteriyolojik enfeksiyon da artacaktır. Bu nedenle pancar yüzdürme ve yıkama suyu da mekanik ve kimyasal durultma sistemlerinde arıtılıp tekrar fabrikaya geri alınır.

Ayrıca, temiz, az kirli ve çok kirli su devrelerini birbirinden ayırıp, temiz su devrelerinden çıkabilecek atıksuları az kirli su devrelerinde ve oradan çıkan suları çok kirli su devrelerinde kullanarak fabrikada kullanılan suların miktarını azaltmak mümkündür. Örneğin pancar bıçakları ve pompa soğutma suları kendi içinde devrettirdikten sonra artan suları pancar yıkamada ve pancar yıkama ve yüzdürme suları da yine kendi içinde devrettirilerek artan suları döner filtre çamurunu sulandırıp atmakta kullanılabilir. Sulandırılmadan fabrikadan atılabilecek atıkları da bu durumda atmak fabrikada su ekonomisini düzenlemeye yardımcı olacaktır. Bu nedenle döner filtre çamurunu filtreden çıktığı gibi atmak yoluna gidilmelidir. Bu şekilde hem su ekonomisi sağlanır, hem de çevre kirli su ile kirlenmemiş olur (Çınar, 2001).

9. ARITMA SEÇENEKLERİ

9.1. Başlıca Kontrol Parametreleri

Şeker pancarından şeker üretimi sonucu çıkan şeker rafine atıksuları karakteristiği BOİ₅, KOİ, askıda katı madde, alkalinite, çözülmüş katılar, azot formları, toplam fosfor derişimleri, toplam ve fekal koliform, sıcaklık ve pH değerleri ile tanımlanabilir. BOİ₅, askıda katı maddeler ve pH değeri en önemli çıkış suyu parametreleridir.

9.2. Kontrol ve Arıtma Teknolojisi

Şeker pancarı süreç sularına uygulanabilecek başlıca arıtma ve deşarj yöntemleri atıksuların yeniden kullanımı, pıhtılaştırma, havuz veya lagünlerde bekletme ve sulamadır.

Fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerin karma kullanımı da uygulanabilir. Ancak yukarıda belirtilen yollardan başarılı sonuçlar elde etmek daha kolaydır. Şeker pancarı endüstrisindeki mevsimsel karakteristikler, lagünler ve araziye bırakma gibi basit yöntemlerin uygulanmasını çekici kılmıştır. Şeker fabrikaları atıksuyunun Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ne göre deşarj standartları Çizelge 9.1 ve 9.2' de verilmiştir (SKKY, 2005).

Çizelge 9.1. Kondensasyon suları ile seyrelme yoksa

| PARAMETRE | BİRİM | KOMPOZİT NUMUNE 2 SAATLİK | KOMPOZİT NUMUNE 24 SAATLİK |
|------------------|--------|---------------------------------|----------------------------------|
| BOİ ₅ | (mg/L) | 50 | 40 |
| KOİ | (mg/L) | 500 | 450 |
| AKM | (mg/L) | 100 | 80 |
| ZSF | - | 4 | - |

Çizelge 9.2. Kondensasyon suları ile seyrelme var ise

| PARAMETRE | BİRİM | KOMPOZİT NUMUNE 2 SAATLİK |
|------------------|--------|---------------------------------|
| BOİ ₅ | (mg/L) | 30 |
| KOİ | (mg/L) | 60 |
| ZSF | - | 4 |

9.3. Arıtma Süreçleri

Şeker pancarı süreci atıksuları, fabrikanın yeri, atık arıtım ve deşarjı için gerekli arazi olup olmadığına göre değişen yöntemlerle ele alınır.

Pek çok fabrikada, derin anaerobik havuzlar kullanılırken bazı fabrikalar aerobik havuzlar ve süreçler kullanırlar. Bazı fabrikalar, atıkların alıcı ortama hiç deşarj edilmeden araziye ya da havuzlara serilmesi yöntemini kullanırlar. Kuru iklimlerde, lagün veya havuzlardan çıkan sular tarımsal sulamada kullanılabilir.

Ülkemizde ise geri döngü uygulamaları yapılmakla beraber atıkların alıcı ortama verilmeden deşarj standardını sağlayacak derecede bir kontrol sistemi olmamakta, yine atıksuların büyük bir kısmı arıtılmadan alıcı ortama deşarj edilmektedir.

Kullanılan havuzlar ise çökebilen maddelerin ayrılmasını bir ölçüde sağlayan ve bu havuzların üst kısmındaki nispeten duru suyun fabrika içi süreçlerde (pancar yüzdürme ve yıkama süreci) tekrar kullanılabilmesine imkan veren bir çeşit dengeleme havuzu niteliğinde olup bu doğal tasfiye dışında ayrıca çöktürme havuzları kullanılmakta ve bu havuzlarda biriken çamur da çamur havuzları adıyla bilinen havuzlar yardımıyla araziye serilerek uzaklaştırılmaktadır.

Bu çamur havuzlarının drenaj suyu da yine atıksu olarak alıcı ortama deşarj edilmektedir. Bütün bunlardan da görüleceği üzere şeker fabrikaları için deşarj standardını sağlayacak havasız ve havalı sistemler kullanılmalıdır (Middlebrooks, 1979).

9.4. Şeker Endüstri Atıksularının Arıtım Sistemleri

Fabrikada kullanılan bazı sular çok fazla miktarda kirlilik içerdiklerinden, bu suların fabrikada tekrar kullanılma olanağı yoktur ve bu suların arıtılarak akarsulara verilmesi gerekmektedir. İyi bir su bilânçosu uygulayan fabrikalarda arıtılması gerekli atık kirli su miktarı %30 ile %50 dolaylarındadır. Başka bir deyimle 100 ton pancarın işlenmesiyle ortaya çıkacak arıtılması gerekli su miktarı 30 ile 50 m³ arasında bulunmaktadır.

Şeker fabrikası atıksularının arıtılması; fabrikadaki çalışma koşullarına, kullanılan süreçlere ve alıcı suyun çeşidine ve büyüklüğüne bağlıdır. Soğutma suları gibi az kirli suların arıtımında özel işlemler gerekmez, sadece suyun sıcaklığının düşürülmesi yeterlidir. Kimyasal olarak kirletilmiş suların arıtılmasında ise büyük güçlükler ortaya çıkmaktadır.

Şeker fabrikaları atıksularının arıtım teknikleri aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- Fiziksel Arıtım
- Kimyasal Arıtım
- Biyolojik Arıtım

Şeker pancarı yıkayıcılarından gelen sular, flume suyu ve kazan alt suyu gibi katı haldeki kirlilikleri içeren sular için en önemli nokta askıda katı maddelerin ve yüzer haldeki katıların (toprak, kum, yapraklar ve kökler) uzaklaştırılmasıdır. Bunun için fiziksel arıtım yöntemleri kullanılır.

9.4.1. Fiziksel arıtım

Su, çöktürme havuzlarından geçirilerek yüzen kirlilikler alınır ve ondan sonra çeşitli tipteki döner ızgaralardan ve eleklerden geçirilerek iri katı maddeler uzaklaştırılır. Bundan sonra atıklar kum tutucu ve ön çökeltim havuzlarına verilir. Kum tutucularda atıksulardaki kum ayrılır.

Toprak havuzlar (lagünler) çoğunlukla çok ince askıda katı maddelerin (çoğunlukla iyi kalite, verimli toprak), ayrılması için kullanılır. Çamur bu lagünlerden çalışma sezonu sonunda uzaklaştırılır. Bu çökeltim havuzları yüzeyde

oksijen aktarımını engelleyen köpük tabakası oluşması nedeniyle çok yeterli değildir. Çamur kolaylıkla çürüyebilir, çıkış suyu ile uzun zaman temasta kalabilir ve çamurun anaerobik ayrışma ürünleri suyun içine difüze olabilir. En iyi sonuçlar bağıl olarak hızlı akan atıksular ile beslenen çökeltim havuzlarında elde edilir.

9.4.2. Kimyasal arıtım

Süreç sularının kimyasal arıtımı, bu sular kapalı çevrimde geri döndürüldüklerinde gerekli olmaktadır. Bu durumda iki arıtım yöntemi uygulanabilir:

- Kireçleme
- Sülfürik asit ile kimyasal muamele

Kireçleme işlemi albuminli bileşiklerin ve çok ince parçacıkların yumaklaşma ve çökmesine yardım eder. Aynı zamanda bakteri giderme özelliği de vardır. Çamur dikey çökeltme tankından periyodik olarak alınır ve atıklar sürekli çalışan CO₂ doyurucusuna verilir. Çıkış akımının pH' ı 8,5' tir. Çökelen kalsiyum karbonat süspansiyonda kalır ve şeker pancarı parçacıkları ile birlikte çökler.

İkinci yöntemde, kolloidal bileşikler süreç suyundan sülfürik asit ile koagüle edilir. %0,03-0,05 (şeker pancarı ağırlığı) oranında sülfürik asit kullanılarak iyi bir koagülasyon ve çökeltme elde edilir. Kuru kolloidler, atıklardan melas ve şeker pancarı hamuru ile birlikte geri kazanılır ve hayvan yemi olarak kullanılır. İşlenen 100 000 ton şeker pancarı için, yaklaşık 100 ton kuru koloid elde edilir ve 30-50 ton sülfürik asit kullanılır. Bu yöntem atıkların sürece tamamen döndürülmesini amaçlamaktadır. Koagüle edilmiş çamur, doğrudan inek yemi olarak kullanılmaz; çünkü inorganik tuzların derişimi yüksektir. Uygun kurutucularla, şeker pancarı hamuru ve melas ile birlikte işleme tabi tutulur. Kurutma ve öğütmeden sonra ürün inek yemi olarak piyasaya sunulur.

9.4.3. Biyolojik arıtım

Toplam Biyolojik Arıtım

Şeker fabrikaları atıksuları ana madde olarak önemli miktarda şeker içerdiğinden tek yönlü kirlenmiş sulardır. Fabrika atıksularının temizlenmesi için anaerobik ve aerobik biyolojik arıtıma ihtiyaç duyulur. Biyolojik arıtımda, anaerobik arıtım aerobik arıtıma yardımcı bir ön hazırlık olarak yapılır. Şeker fabrikaları atıksuları önemli miktarda şeker içerdiğinden, bu suların aerobik arıtıma alınmadan önce şekerin parçalanarak organik asitlere dönüştürülmesi gerekir. Bu işlem yapılmadığı zaman şeker aerobik arıtımda parçalanmayarak *Bac. Subtilis* ve *Leuconostoc dekstrancum* bakterileri tarafından poli fruktoz ve poli glikoz polimerlerine dönüştürülür. Bunun sonucunda suyun kirliliği artacağından aktif çamur oluşumu engellenmiş olur ve aerobik arıtım istenen verimde gerçekleşmez.

Çamur çökeltme havuzları ile bez ve torba yıkamadan gelen atıksular biyolojik arıtıma gönderilir. Bu işlem de anaerobik ve aerobik olmak üzere iki aşamada yapılır.

Anaerobik arıtım oksijensiz bir ortamda yapılır. Anaerobik arıtımda anaerobik bakteriler tarafından önce kolay parçalanabilir nitelikte olan karbonhidratlar, sonra da proteinler parçalanarak uçucu organik asitlere ve CO, CO₂, H₂, CH₄, H₂S ve N₂' ye dönüşür. Bu dönüşüm esnasında bakteriler de yaşamları ve çoğalmaları için gerekli kirlilikleri ortamdan alarak uzaklaştırır. Anaerobik arıtım biyolojik arıtımın temel basamağı olan aerobik arıtıma yardımcı bir basamak olarak yapılır. Anaerobik arıtımdan optimum bir arıtım elde edilmesi için 25-30°C' de çalışması önerilmektedir. Bu kademede bekleme 5-7 gün olarak kabul edilir ve %30-50 arasında bir ön arıtım sağlanır.

Anaerobik arıtımı terk eden atıksu, aktif çamurla aşılanarak ve hava ile devamlı karıştırılarak aerobik arıtıma bırakılır. Aktif çamur bakterilerinin özelliği kolayca bir araya gelip yumak oluşturmalarıdır. Bu şekilde kolayca çökebilmeleri sonucu üst yüzeyinde oluşan arıtılmış sudan ayrılarak tekrar aerobik arıtım

kademesine geri alınabilir veya istenmeyen fazla aktif çamur ortamdan uzaklaştırılır.

Şeker fabrikasının kirli suları, kullanılan mikroorganizmalar için gerekli fosfat ve azotlu maddeleri yeteri kadar içermediğinden su fermentere girmeden önce üre ve fosfat gübresi ilave edilir. İlavesi gerekli azot ve fosfat miktarı suyun BOİ'sine göre hesaplanır. 100 kg BOİ için 3 kg azot ve 0.5 kg fosfor gereklidir. Arıtmadan çıkan su 400-600 mg/L O₂ içerir. Bu su akarsulara verilecek kadar temiz olmadığından geri alınarak pancar yıkamada tekrar kullanılır.

Doğal Arıtım

Şeker fabrikası atıksularına bazen doğal arıtım yöntemleri de uygulanmaktadır. Bu yöntemde atıksular, önce toprak ve tortu tanelerinden dinlendirilerek ayrıldıktan sonra doğal arıtım için su toplama havuzlarına, toprak veya çim araziye yağmurlama veya salma sulama şeklinde verilirler. Doğal arıtmada su kendi kendini doğal olarak içerdiği bakteriler yardımıyla arıtacağından bu işlem çok uzun zaman almaktadır.

Su toplama havuzlarında yapılan doğal arıtmada havuz güneş ışınlarının ve oksijenin yeter miktarda nüfuz edeceği bir derinlikte (1.5 m) olmalıdır. Bu da havuz derinliğinin az ve yüzeyin fazla olmasıyla sağlandığından büyük alanlara gereksinme duyulan bir yöntem oluşturur.

9.5. Arıtılan Atıksuyun Değerlendirilmesi

Belli bir düzeye kadar arıtılabilen atıksuların fabrikada pancar yüzdürme ve çamur sulandırmada kullanılma olanakları doğabileceği için su ekonomisi yönünden de faydaları olmaktadır. Arıtılan veya belli bir düzeye kadar arıtılabilen bu sular ekili alanları sulamakta da kullanılabilir.

9.5.1. Şilempenin uzaklaştırılması

- Toprağa enjeksiyon,
- Aerobik ve anaerobik arıtım,
- Buharlaştırma ve yakma,
- Doğal arıtım yöntemlerinden biriyle gerçekleştirilmiş arıtım için geniş bir arazi gereklidir. Yüksekliği 120 cm civarında olmalıdır. Çünkü ışık ve oksijen ancak bu derinliğe kadar inebilmektedir. Derinlik daha fazla ise, oksijen ve ışık giremeyeceği için, doğal arıtım yapılamaz. Su, 40-45 cm'den düşürülürse oksijen almaktadır, arıtım için oldukça faydalıdır.

9.6. Elektrokimyasal Arıtım Yöntemleri

Elektrokimyasal atıksu arıtımı, Elektrokimya ve elektrokimya mühendisliğinin temel ilkelerinin kullanıldığı arıtım yöntemidir. Bu nedenle hem elektrokimyasal atıksu arıtımı tekniklerinin hem de elektrokimyasal tekniklerin iyi bilinerek bir araya getirilmesini gerektirmektedir.

Elektrokimyasal reaktörler modern toplumlarda hayati derecede önemli rol oynamaktadır. Günlük yaşamda elektriğin geniş ölçüde kullanılması ve yeni teknolojilerin uygulanmasındaki artış elektrokimyasal reaktörlerin sayısı, tip ve uygulamalarında da son derece büyük bir artışa neden olmuştur.

Bir elektrokimyasal reaktör, kimyasal reaktöre ek olarak elektrotlar içerir. Böyle bir sistemde elektrokimyasal tepkimeler elektrotlar arasında gerilim farkı oluşturularak gerçekleştirilir. Genellikle, bir elektrokimyasal reaktörde, elektrolit çözeltisini oluşturan bileşenlerin elektrotlarda ayrışması söz konusudur.

Elektrokimyasal reaktörlerde gerçekleşen elektrot tepkimeleri, katı-sıvı ara yüzeylerinde yer alan heterojen indirgeme ve yükseltgeme tepkimeleridir. Elektrot tepkimeleri, ana çözeltiden ara yüzeye madde difüzyonu, elektrotta bir yüzey tepkimesi ve ara yüzeyden ana çözeltiliye doğru ürünün difüzyonu şeklinde üç kademede gerçekleşir. Ara yüzeyde, kalınlığı çözeltinin hareketine bağlı olan bir difüzyon tabakası bulunur.

Elektrokimyasal işlemler sürekli ve kesikli olmak üzere iki farklı yolla gerçekleştirilir. Birçok elektrokimyasal reaktör sürekli şekilde işletilir; yani, reaktöre sürekli yeni elektrolit beslenir ve işlem görmüş elektrolit uzaklaştırılır. Elektrokimyasal kesikli reaktörler, elektrolitteki derişimin artmasıyla karakterize edilirler. Kesikli tepkime bittikten sonra, genellikle, elektrolit ve elektrotlar değiştirilir. Sürekli ve kesikli çalışmalarda elektrolitin bir kısmı tekrar reaktöre döndürülebilir.

Elektrokimyasal reaktörlerin tasarımı; termodinamik, elektrot kinetiği ve taşınım özellikleri temeline dayanır (Yavuz, 1998).

9.6.1. Elektrokimyasal yükseltgeme

Literatürde kirletici organik bileşiklerin elektrokimyasal yükseltgemesi için iki ayrı yol tarif edilmiştir; 1) elektrokimyasal dönüşüm, 2) Elektrokimyasal yanma:

1) Elektrokimyasal dönüşümde toksik biyolojik uyumsuzluğu olan kirleticilerin, biyolojik uygunluğu olan organik bileşiklere dönüşümü söz konusudur, ancak elektrokimyasal yükseltgeme sonrası yine de biyolojik arıtım gereksinimi vardır.

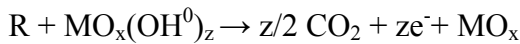
2) Elektrokimyasal yanmada CO₂ ve H₂O oluşur ve daha fazla giderim gerektirmez.

Daha önce yapılmış çalışmalar; elektrot dokusuna oksijen girişinin dönüşüm ile sonuçlandığını, OH⁰ radikallerinin oluşumunun ise yanma tepkimesini hızlandırdığını ortaya koymaktadır (Grimm ve ark. 2000).

Literatürde Tahar ve Savall (1999) tarafından, bir oksit anotta MO_x(OH⁰) radikallerinin oluşum mekanizması aşağıdaki gibi verilmiştir:



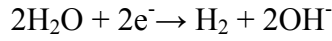
Organik bileşiklerin parçalanması aşağıdaki tepkime uyarınca devam eder;



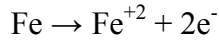
9.6.2. Elektrokimyasal çöktürme

Elektrokimyasal çöktürme; çözünebilen ve pıhtılaştırıcı özelliğe sahip metal bir elektrotun (alüminyum ve demir gibi) kullanıldığı elektrokimyasal atıksu arıtım sürecidir. Elektrokimyasal çöktürmede, pıhtılaşma ve çökeltme mekanizmaları sisteme kimyasal madde ilavesiyle değil; elektrokimyasal reaktördeki elektrotlar aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Elektrokimyasal çöktürmede anot olarak kullanılan metal, iyon şeklinde çözünür. Örneğin anodun demir olması durumunda, Fe^{+2} iyonları oluşacaktır. Suyun elektrolizi ile katotta hidrojen gazı yanında OH^- iyonları da oluşacaktır (Filibeli ve Büyükkamacı 2002).

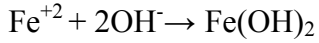
Katotta:



Anotta:



Anotta üretilen demir iyonları ile katotta üretilen hidroksil iyonlarının tepkimesi sonucu $Fe(OH)_2$ oluşur.



Sudaki OH^- iyonları ile;



Bu aşamada sudaki kirleticiler, oluşan $Fe(OH)_3$ yumağına tutunarak çökler.

Elektrokimyasal çöktürme, su ve atıksu arıtımında etkili ve basit bir yöntemdir. Tekstil atıksuları, içme suları, lokanta atıksuları, metal endüstrisi, galvanize sanayi, gıda endüstrisi, otomobil endüstrisi, yem endüstrisi, petrol rafineri ve petrokimya endüstrileri atıksularının arıtılmasında başarı ile uygulanan bir yöntemdir. Kısaca elektrokimyasal çöktürme süreci;

- Ağır metaller
- Askıda ve koloidal katılar
- Sudaki yağ emülsiyonları
- Yağ ve gres
- Kompleks organik bileşikler

- Bakteri ve virüsler giderilebilir.

Elektrokimyasal çöktürmenin avantajları aşağıdaki gibidir.

- İlk yatırım maliyeti alternatif teknolojilerden belirgin bir şekilde düşüktür.
- İşletme maliyeti alternatif teknolojilerden belirgin bir şekilde düşüktür.
- Düşük enerji ihtiyacı gerektirir.
- Kimyasal madde ilavesi yoktur.
- Fazla bakım gerektirmez.
- İşgücü ihtiyacı düşüktür.
- Çamur azaltımı sağlar.
- Birçok kirleticiyi bir arada giderir. Alternatif süreçlerde belli kirleticileri gidermede birkaç süreç artarda kullanılırken elektrokimyasal çöktürme ile bu kirleticiler tek bir süreçle giderilebilmektedir.

Elektrokimyasal çöktürme aşağıdaki işlemlerde başarıyla uygulanmaktadır:

- Gıda süreç atıksularından yağ, protein ve lif geri kazanımında,
 - Atıksulardan metal ve yağ gideriminde,
 - Yağ, kir ve metallerin uzaklaştırılmasıyla antifriz yenilenmesi,
 - Ters ozmoz gibi membran teknolojilerinin öncesinde ön arıtma olarak,
 - Silis, sertlik, AKM, vb.lerin giderimiyle kazan besleme suyunun ön şartlandırması,
 - Kazan için gereken kimyasal arıtma ihtiyacını ortadan kaldırarak çözülmüş katıların giderimiyle kazan blöf suyunun yeniden şartlandırılması,
 - Atıksulardan BOI, AKM, yağ ve gres, toplam çözülmüş katı madde gibi kirliliklerin gideriminde,
 - Arıtma çamuru susuzlaştırma ve atıksudan ağır metal gideriminde,
 - İçme suyu şartlandırmada,
 - Suyun deşarj veya tekrar kullanımından önce klor ve bakteri gideriminde
- (http-2)

9.6.3. Elektroflotasyon

Elektroflotasyon yöntemi endüstriyel atıksuların arıtımı yanında evsel atıksuların arıtımında da kullanılmaya başlanmıştır. Atıksu arıtımında ön arıtma veya ikinci kademe, evsel atıksuyun arıtımında ise üçüncü kademe arıtma birimi olarak kullanılabilir. Bu süreçte sıvı ortamdan elektriksel akım geçirilmekte ve elektrotlarda oluşan hidrojen ve oksijen gazları kolloidlere yapışarak bunları sıvı yüzeyine doğru çıkarmaktadır. Yüzeydeki köpük, köpük sıyrıcılar vasıtasıyla alınabilmektedir.

Elektroflotasyonda da elektrokimyasal çöktürmedeki gibi demir ve alüminyum elektrotlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu elektrotlar ucuz, temini kolay ve etkisi kanıtlanmış elektrotlardır (İnan ve ark., 2002).

9.7. Konuyla İlgili Önceden Yapılmış Çalışmalar

M.Pena ve ark. (2003) tarafından melas fermentasyon atıksuyunun ozonla kimyasal yükseltgenmesi çalışılmıştır. Biyolojik olarak arıtılmış melas atıksuyunda ozonla kimyasal yükseltgeme yapılarak renk giderimi araştırılmıştır. Kesikli deneylerde ozon dozajının etkisi, renk gideriminde tepkime süresi incelenmiştir. Uygulanan ozon dozajına bağlı olarak, 30 dakika sonra renk giderimi %71'den % 93' e ve KOİ giderimi %15' den %25' e artmıştır. TOK değerleri ozonlama boyunca sabit kalmıştır.

M. Bogliolo ve ark (1996) şeker özütleme sürecinde temiz su geridöngüsünü araştırmıştır. Şeker pancarı üretiminde, basınç suyu genellikle seyreltik bir çözüldür.(%1-3 toplam katı) ve şekerin yanında (toplam katıların %60-80), çözülmüş tuzlar, kolloidler ve askıda katı maddeler içerir. Bu çalışmada şeker özütlemeye temiz suyun geridöngüsünü yapabilmek için basınç suyunun ters ozmoz ile arıtımının fizibilitesi üzerine çalışılmıştır.

Antonia M. ve ark.(2003) tarafından pancar melasının alkolik fermentasyon atıksuyunun aerobik ve anaerobik parçalanması araştırılmıştır. Pancar melasının alkolik fermentasyon atıksuyunun aerobik parçalanması çalışması için atıksu % 50 seyreltilmiş (KOİ 82 g/L) ve *Penicillium sp.*,

Aspergillus. Türleri ile arıtma araştırılmıştır. Ortalama KOİ giderimi yaklaşık %52,1 olarak belirlenmiştir.

T. Ramjeawon (2000) şeker kamışı fabrikalarında temiz üretimi araştırmıştır. Çevre kirliliğinin etkilerinin farkına varılmasındaki artışla beraber çevreci yazarları şeker fabrikalarının, yerinde su ve atıksu yönetim sistemlerine başlamaya ihtiyacı olduğu açıklamıştır. Şeker kamışı fabrikası 3 yıl boyunca yasal çıkış standartlarına uyacak, bu 3 yıllık süreçte endüstri temiz üretim koşullarını geliştirecek ve uygun atık arıtım teknolojileri seçilecektir. Teknoloji ile deneyim ve güven kazanacak ve çevre yönetim sistemlerine başlayacaktır.

Konuyla ilgili, elektrokimyasal arıtım ve ileri arıtım yöntemleri üzerine çalışmalar çok fazla değildir. Bu konuyla ilgili yapılan bazı çalışmalar şu şekildedir.

A.G. Vlyssides, ve ark.(1997) tarafından pancar melası vinasının elektrokimyasal arıtımı araştırılmıştır. Bu teknikte, atıksuya sodyum klorür eklenmiş ve karışım elektrolitik hücreden geçirilmiştir. Deneylerin bir kısmı laboratuvar ölçeğinde gerçekleştirilmiştir. Elektrokimyasal işlemde klor, kloratlar ve diğer yükseltgenler kullanılmıştır. Bu kimyasal maddelerin güçlü yükseltgeme potansiyeli yüzünden organik kirleticiler yükseltgenerek CO₂ ve H₂O üretilmiştir. Bu sonuçlardan arıtımın anodun katalitik aktivitesine dayandığı belirlenmiştir. Giriş KOİ derişiminin 72 000 mg/L olduğu durumda çıkış KOİ derişimi 8000 mg/L 'olmuştur. Bu sonuçlar pancar vinasının elektrokimyasal arıtımının uygun ve verimli olabileceğini göstermektedir.

10. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

10.1. Elektrokimyasal Yükseltgeme Çalışmaları: Rashig Halkası Şeklindeki Bor Katkılı Elmas Kaplı Niyobyum Elektrot

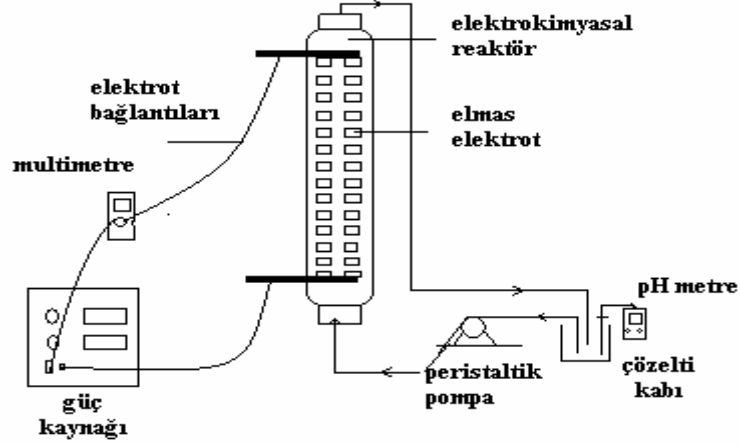
Bu çalışmada kullanılan iki kutuplu tıkaç akım reaktör, iç içe yerleştirilmiş 2,5 ve 4 cm çapında 21,5 cm uzunluğunda iki adet cam borudan oluşmaktadır. Reaktörde bor katkılı elmas kullanılarak şeker endüstrisi atıksularının elektrokimyasal yükseltgenmesi çalışılmıştır. Bor katkılı elmas kaplı niyobyum elektrotların dış çapı 0,8cm, iç çapı 0,55 cm' dir. Elektrokimyasal reaktör her bir tabakası 4 elektrot içeren 26 tabakadan oluşmaktadır. Tabakalar arasına yalıtkan polyesterler yerleştirilerek elektrotlar birbirinden ayrılmış ve reaktörde çift kutupluluk sağlanmıştır. Anot ve katot bağlantısı için iki adet grafit çubuk kullanılmıştır. Atıksu reaktöre bir peristaltik pompa yardımıyla reaktörün alt kısmından yukarı doğru beslenmiştir. Deneysel çalışma düzeneği Şekil 10.1' de verilmiştir.

Şeker ve Alkol fabrikaları atıksuları ile yapılan çalışmalar kesikli ve geri döngülü olarak gerçekleştirilmiştir. Reaktörden çıkan çözelti, bir peristaltik pompa yardımı ile reaktöre geri döndürülmüştür. Geri döngülü çalıştırılan elektrokimyasal reaktörde, alkol fabrikası atıksuyu için akım yoğunluğu, destek elektrolit derişimi, akış hızı, pH ve sıcaklığın, şeker fabrikası atıksuyu için akım yoğunluğu, destek elektrolit derişimi ve akış hızının KOİ giderim verimine etkileri incelenmiştir. Atıksu hacmi her iki atıksu için de 300 mL alınarak deneyler gerçekleştirilmiştir.

Alkol fabrikası atıksuyu reaktörden 37,5, 47,5 ve 59,4 mL/dak akış hızlarında geçirilmiş ve deneyler 6, 8 ve 10 mA/cm² akım yoğunluğu değerlerinde, 0,2M, 0,3M, 0,5M, 1M Na₂SO₄ destek elektrolit derişimlerinde, pH 4, 5, 7, 9, 11 ve orijinal pH değerlerinde ve 30, 40 ve 50°C sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.

Şeker fabrikası atıksuyu reaktörden 37,5, 47,5 ve 59,4 mL/dak akış hızlarında geçirilmiş ve deneyler 4, 7 ve 10mA/cm² akım yoğunluğu değerlerinde,

0,1M, 0,2 M, 0,3M, 0,4 M, 0,5M Na₂SO₄ destek elektrolit derişimlerinde gerçekteşirilmifitir.



Şekil 10.1. Tıkak akım reaktör ve deneysel çalışma düzeneği

10.2. Kullanılan Elektrot Malzemeleri

Bütün elektrokimyasal süreçlerde olduğu gibi organik maddelerin elektrokimyasal yükseltgenmesinde de elektrot malzemesi sistemin en önemli parçalarındandır. Elektrot malzemesi yükseltgenme mekanizmasını ve sonuçta oluşan anodik tepkime ürünlerini doğrudan etkilemektedir.

Deneysel çalışmalarda Rashig halkası şeklindeki bor katkılı elmas kaplı niyobyum elektrotlar kullanılmıştır.

Bor katkılı elmas anotlar, suyun elektroliziyle yüksek akım verimlerinde doğrudan hidroksil radikali oluşumuna olanak tanımaktadır. Bu olay, elmas anotların oksijen üretimi ve daha birçok anot süreci için çok yüksek gerilime sahip olması ile açıklanabilmektedir (Kraft ve ark.). Elmas çok iyi bir yalıtkan olmasına rağmen, bor ilave edildiğinde elektrokimyasal çalışmalar için uygun bir malzeme haline gelmektedir (Gürel, 2006) .

Elmasın önemli özellikleri arasında;

- Son derece yüksek mekanik sertlik, bilinen en sert malzeme,
- Oda sıcaklığında bilinen en yüksek ısıl iletkenlik,
- Çok geniş dalga boyu aralığında ışık için geçirimsizlik,
- Kimyasal korozyona karşı çok dirençlilik (kimyasal olarak inert)

- Biyolojik uyumluluk,
- Çok düşük ısıl genleşme katsayısı sayılabilir.

Elmasın elektrokimyasal özellikleri ise şöyledir.

- Sıra dışı elektrokimyasal penceresi nedeniyle hem anodik hem de katodik tepkimelerde yeni olasılıklar sunar.
- Hidroksil radikallerinin oluşumuyla organik maddelerin kinonlar gibi toksik ara ürünler oluşturmadan CO₂' e yükseltgenmesi ve siyanürün tamamen yükseltgenmesini sağlar.
- Elektrot yüzeyinde bozunma olmaksızın klor üretimi, yüzeydeki elmas tabakasını tüketmeden ozon üretimi sağlar (http-3).

10.3. Kullanılan Kimyasal Maddeler

Destek elektrolitin etkisinin incelendiği çalışmalarda sodyum sülfat (Na₂SO₄, MERCK), pH ayarlamalarında sülfürik asit (H₂SO₄, MERCK) ve sodyum hidroksit (NaOH, MERCK) kullanılmıştır. Ayrıca KOİ analizlerinde potasyum dikromat (K₂Cr₂O₇, MERCK), gümüş sülfat (Ag₂SO₄, MERCK) ve sülfürik asit (H₂SO₄, MERCK) kullanılmıştır.

10.4. Kullanılan Yardımcı Araçlar

Deneysel çalışmalarda yardımcı araç olarak; Statron marka 3234.4 ve 3234.9 model güç kaynakları, multifix MC 1000 PEC model peristaltik pompa, tartım işlemleri için Ohaus marka Explorer Pro model analitik terazi, Thermo Marka Orion 420 A model pH metre, Elektromag M 615 M model santrifüj, Hach marka KOİ reaktörü, kullanılmıştır.

10.5. Hesaplamalarda Kullanılan Eşitlikler

Yüzde Giderim;

$$\%Giderim = \frac{(C_0 - C)}{C_0} 100 \quad (10.1)$$

C_0 = Başlangıçtaki KOİ derişimi (mg/L),

C = Reaktörden çıkan atıksudaki KOİ derişimi (mg/L).

Enerji Tüketimi;

$$(kWhm^{-3}) = \frac{IV}{Q.1000} \quad (10.2)$$

$$(kWhg^{-1}) = \frac{IV}{(C_0 - C).Q.1000} \quad (10.3)$$

I = Akım (amper),

V = Gerilim (V).

Q = Akış hızı (m^3 /saat).

Kütle aktarım katsayısı, k_m ;

$$k_m = -\frac{Q}{A} \ln\left(\frac{C}{C_0}\right) \quad (10.4)$$

Q = Akış hızı (m^3 /s),

A = Anot yüzey alanı (m^2).

Akım verimi;

$$\text{Akım verimi} = \frac{V \cdot (C_0 - C) \cdot 2F}{16 \cdot I \cdot t} \quad (10.5)$$

V = elektrolitin hacmi (L),

F = Faraday sabiti (96485 A.s),

I = Akım (amper),

t = Elektroliz süresi (s),

C₀ = Başlangıçtaki KOİ derişimi (g/L),

C = Reaktörden çıkan atıksudaki KOİ derişimi (g/L).

11. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI

Çalışmada kullanılan alkol fabrikası ve şeker fabrikası atıksularının özellikleri Çizelge 11.1’ de belirtilmiştir.

Çizelge 11.1.Alkol fabrikası ve Şeker fabrikası atıksularının özellikleri

| Parametre | Alkol Fabrikası | Şeker Fabrikası |
|-------------------|-----------------|-----------------|
| KOİ, mg/L | 4500 | 880 |
| pH | 5,15 | 6,60 |
| Bulanıklık, NTU | 34,9 | 40,5 |
| İletkenlik, mS/cm | 2,09 | 46 |

11.1. Elektrokimyasal Yükseltgeme: Rashig halkası şeklindeki bor katkılı elmas kaplı niyobyum elektrot

Elektrokimyasal yükseltgeme hem alkol hem de şeker fabrikası atıksularında gerçekleştirilmiştir.

11.1.1. Alkol Fabrikası Atıksuları İle Yapılan Elektrokimyasal Yükseltgeme çalışmaları

Alkol fabrikası atıksuyu destek elektrolit ilavesi olmaksızın elektroyükseltgemeye tabi tutulmuş ve $0,795 \text{ mA/cm}^2$ akım yoğunluğunda %50,9 KOİ giderimi elde edilmiştir. Elde edilen deney sonuçları Çizelge11.2’ de verilmiştir.

Çizelge 11.2. Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları

$$i = 0,795 \text{ mA/cm}^2, Q = 59,4 \text{ mL/dak}$$

| Zaman (dak) | Gerilim (V) | pH | T (°C) | KOİ (mg/L) | Giderim (%) | Enerji Tüketimi (kWhm ⁻³) | Enerji Tüketimi (kWhg ⁻¹) |
|-------------|-------------|------|--------|------------|-------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 0 | 190 | 5,43 | 17 | 4500 | - | - | - |
| 30 | 190 | 5,97 | 21,6 | 4095 | 9 | 7,47 | 0,0153 |
| 60 | 193 | 5,70 | 22 | 4014 | 10,8 | 7,59 | 0,013 |
| 90 | 198 | 5,28 | 22,2 | 3438 | 23,6 | 7,79 | 0,0061 |
| 120 | 196 | 5,28 | 23,1 | 2457 | 45,4 | 7,71 | 0,032 |
| 180 | 199 | 5,41 | 22,1 | 2209,5 | 50,9 | 7,83 | 0,029 |

Kütle aktarım katsayısı (k_m) = $2,15 \times 10^{-5}$ m/s

Alkol fabrikası atıksuyu için farklı destek elektrolit derişiminin (0,2M, 0,3M, 0,5M, 1M Na₂SO₄) etkisini incelemek amacıyla, atıksu, 59,4 mL/dak akış hızında, 10 mA/cm² akım yoğunluğunda, 3 saat süreyle elektroliz edilmiş ve 30 dakikalık zaman dilimlerinde örnek alınarak KOİ analizleri yapılmıştır. Yapılan deney sonuçları Çizelge 11.3-11.6' da verilmiştir. KOİ derişiminin, % KOİ gideriminin, enerji tüketiminin, akım veriminin ve pH'ın zamanla değişimi Şekil 11.1-11.5' de görölmektedir.

Çizelge 11.3. Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları

$$i = 10 \text{ mA/cm}^2, 0,2\text{M Na}_2\text{SO}_4, V = 300 \text{ mL}, Q = 59,4 \text{ mL/dak}$$

| Zaman (dak) | Gerilim (V) | pH | T (°C) | KOİ (mg/L) | Giderim (%) | Enerji Tüketimi kWhm ⁻³ | Enerji Tüketimi kWhg ⁻¹ | k_m 10 ⁻⁵ m/s | Akım verimi % |
|-------------|-------------|------|--------|------------|-------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------------|---------------|
| 0 | 198 | 5,24 | 15,6 | 4500 | - | - | - | - | - |
| 30 | 215 | 7,09 | 49,7 | 3577,5 | 20,5 | 106,29 | 0,115 | 1,29 | 105,4 |
| 60 | 231 | 8,25 | 48,5 | 2452,5 | 45,5 | 114,20 | 0,171 | 3,41 | 116,9 |
| 90 | 235 | 8,69 | 41,5 | 1737 | 61,4 | 116,18 | 0,213 | 5,35 | 105,2 |
| 120 | 225 | 8,85 | 42,3 | 1327,5 | 70,5 | 111,24 | 0,248 | 6,86 | 90,6 |
| 150 | 227 | 8,70 | 50,3 | 922,5 | 79,5 | 112,23 | 0,279 | 8,91 | 81,7 |
| 180 | 225 | 8,68 | 50,3 | 513 | 88,6 | 111,24 | 0,307 | 12,2 | 75,9 |

Çizelge 11.4. Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları

$i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,3 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$

| Zaman (dak) | Gerilim (V) | pH | T (°C) | KOİ (mg/L) | Giderim (%) | Enerji Tüketimi kWhm^{-3} | Enerji Tüketimi kWhg^{-1} | k_m 10^5 m/s | Akım verimi % |
|-------------|-------------|------|--------|------------|-------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------|---------------|
| 0 | 234 | 5,20 | 14,9 | 4500 | - | - | - | - | - |
| 30 | 200 | 8,20 | 41,6 | 2749,5 | 38,9 | 98,88 | 0,056 | 2,77 | 199,9 |
| 60 | 203 | 8,50 | 40,8 | 1669,5 | 62,9 | 100,36 | 0,092 | 5,57 | 161,7 |
| 90 | 209 | 9,11 | 43,0 | 918 | 79,6 | 103,33 | 0,121 | 8,93 | 136,4 |
| 120 | 201 | 9,36 | 41,7 | 499,5 | 88,9 | 99,37 | 0,146 | 12,4 | 114,3 |
| 150 | 200 | 9,38 | 40,6 | 333 | 92,6 | 98,88 | 0,169 | 14,6 | 95,2 |
| 180 | 196 | 9,39 | 40,7 | 144 | 96,8 | 96,89 | 0,192 | 19,3 | 82,9 |

Çizelge 11.5. Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları

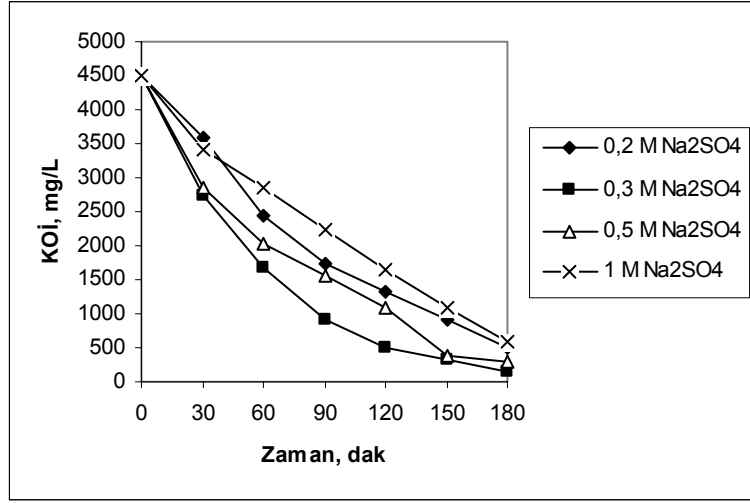
$i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,5 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$

| Zaman (dak) | Gerilim (V) | pH | T (°C) | KOİ (mg/L) | Giderim (%) | Enerji Tüketimi kWhm^{-3} | Enerji Tüketimi kWhg^{-1} | k_m 10^5 m/s | Akım Verimi % |
|-------------|-------------|------|--------|------------|-------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------|---------------|
| 0 | 153 | 5,20 | 14,2 | 4500 | - | - | - | - | - |
| 30 | 160 | 8,12 | 45 | 2848,5 | 28,3 | 79,10 | 0,048 | 2,57 | 188,6 |
| 60 | 165 | 8,86 | 42,9 | 2025 | 50 | 81,57 | 0,081 | 4,49 | 141,4 |
| 90 | 164 | 9,22 | 40,2 | 1566 | 65,2 | 81,07 | 0,108 | 5,93 | 111,7 |
| 120 | 166 | 9,24 | 45 | 1075,5 | 76,1 | 82,06 | 0,132 | 8,04 | 97,79 |
| 150 | 172 | 9,49 | 43,8 | 391,5 | 91,3 | 85,03 | 0,153 | 13,7 | 93,86 |
| 180 | 169 | 9,38 | 42,6 | 292,5 | 93,5 | 83,55 | 0,173 | 15,4 | 80,1 |

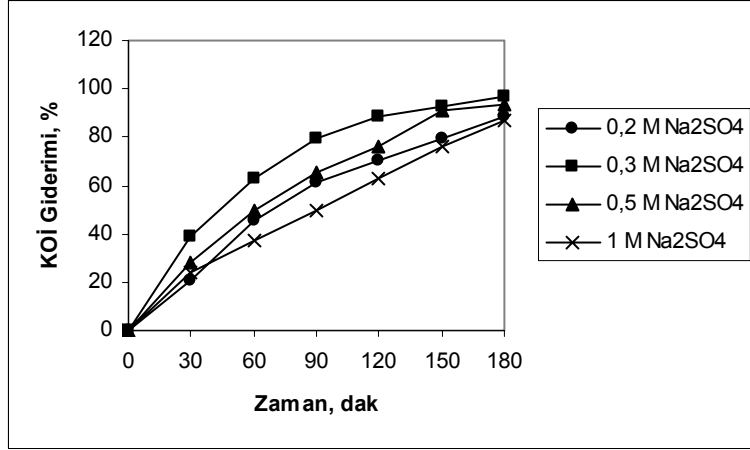
Çizelge 11.6. Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları

$i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $1 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$

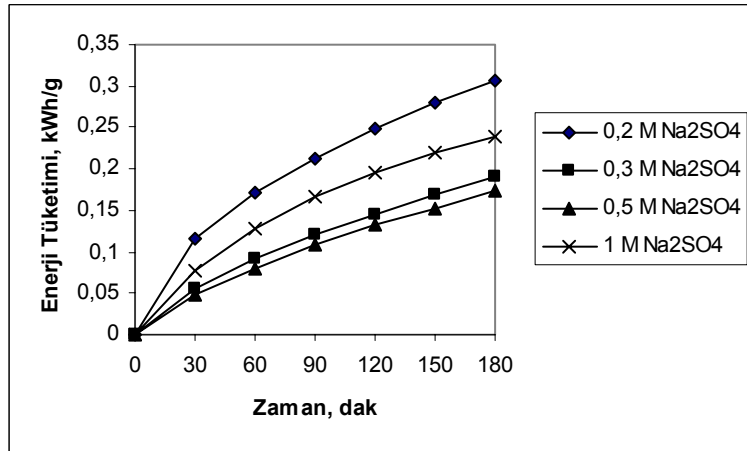
| Zaman (dak) | Gerilim (V) | pH | T (°C) | KOİ (mg/L) | Giderim (%) | Enerji Tüketimi kWhm^{-3} | Enerji Tüketimi kWhg^{-1} | k_m 10^5 (m/s) | Akım Verimi % |
|-------------|-------------|------|--------|------------|-------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------------|---------------|
| 0 | 170 | 5,13 | 16,9 | 4500 | - | - | - | - | - |
| 30 | 168 | 8,95 | 45,2 | 3424,5 | 23,9 | 83,06 | 0,077 | 1,53 | 122,9 |
| 60 | 168 | 9,10 | 44,5 | 2839,5 | 36,96 | 83,06 | 0,127 | 2,59 | 94,84 |
| 90 | 175 | 9,34 | 38,4 | 2250 | 50 | 86,52 | 0,166 | 3,9 | 85,67 |
| 120 | 165 | 9,27 | 39,3 | 1660,5 | 63,04 | 81,57 | 0,194 | 5,6 | 81,09 |
| 150 | 167 | 9,40 | 37,8 | 1075,5 | 76,09 | 82,56 | 0,219 | 8,05 | 78,23 |
| 180 | 160 | 9,87 | 34,2 | 589,5 | 86,96 | 79,1 | 0,239 | 11,4 | 74,45 |



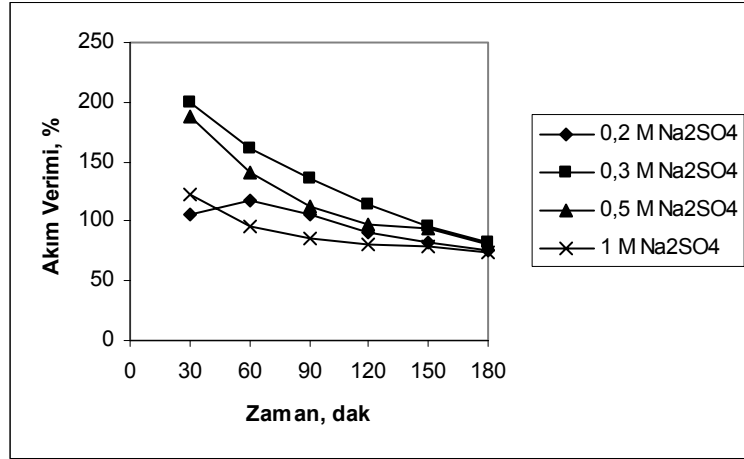
Şekil 11.1. KOİ derişiminin destek elektrolit derişimine bağlı olarak zamanla değişimi
($i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$)



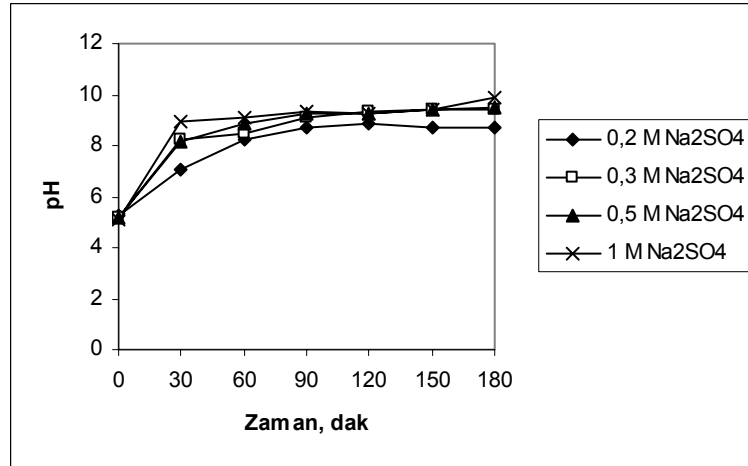
Şekil 11.2. %KOİ gideriminin destek elektrolit derişimine bağlı olarak zamanla değişimi
($i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$)



Şekil 11.3. Enerji tüketiminin destek elektrolit derişimine bağlı olarak zamanla değişimi
($i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$)



Şekil 11.4. Akım veriminin destek elektrolit derişimine bağlı olarak zamanla değişimi
($i= 10 \text{ mA/cm}^2$, $V= 300 \text{ mL}$, $Q=59,4 \text{ mL/dak}$)



Şekil 11.5. pH değişiminin destek elektrolit derişimine bağlı olarak değişimi
($i= 10 \text{ mA/cm}^2$, $V= 300 \text{ mL}$, $Q=59,4 \text{ mL/dak}$)

Alkol Fabrikası atıksuyu için farklı akım yoğunluklarının (6, 8 ve 10 mA/cm^2) etkisini incelemek amacıyla, atıksu, $59,4 \text{ mL/dak}$ akış hızında, $0,3 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$ destek elektrolit derişiminde, 3 saat süreyle elektroliz edilmiş ve 30 dakikalık zaman dilimlerinde örnek alınarak KOİ analizleri yapılmıştır. Yapılan deney sonuçları Çizelge 11.7-11.9' de verilmiştir. KOİ derişiminin, % KOİ gideriminin, enerji tüketiminin, akım veriminin ve pH'ın zamanla değişimi Şekil 11.6-11.10' de görülmektedir.

Çizelge 11.7. Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları

$i = 6 \text{ mA/cm}^2$, $0,3 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$

| Zaman (dak) | Gerilim (V) | pH | T (°C) | KOİ (mg/L) | Giderim (%) | Enerji Tüketimi kWhm ⁻³ | Enerji Tüketimi kWhg ⁻¹ | $k_m 10^{-5}$ m/s | Akım Verimi % |
|-------------|-------------|------|--------|------------|-------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------|---------------|
| 0 | 184 | 5,37 | 14,5 | 4500 | - | - | - | - | - |
| 30 | 170 | 6,77 | 30,6 | 3649,5 | 18,9 | 50,43 | 0,059 | 1,18 | 161,9 |
| 60 | 172 | 7,69 | 32,4 | 3055,5 | 32,1 | 51,02 | 0,095 | 2,18 | 137,5 |
| 90 | 175 | 8,53 | 34,3 | 2376 | 47,2 | 51,91 | 0,119 | 3,59 | 134,8 |
| 120 | 179 | 8,77 | 35,1 | 1782 | 60,4 | 53,1 | 0,139 | 5,21 | 129,4 |
| 150 | 180 | 9,01 | 34,6 | 1102,5 | 75,5 | 53,39 | 0,154 | 7,9 | 129,4 |
| 180 | 182 | 9,12 | 34,3 | 760,5 | 83,02 | 53,99 | 0,169 | 9,99 | 118,7 |

Çizelge 11.8. Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları

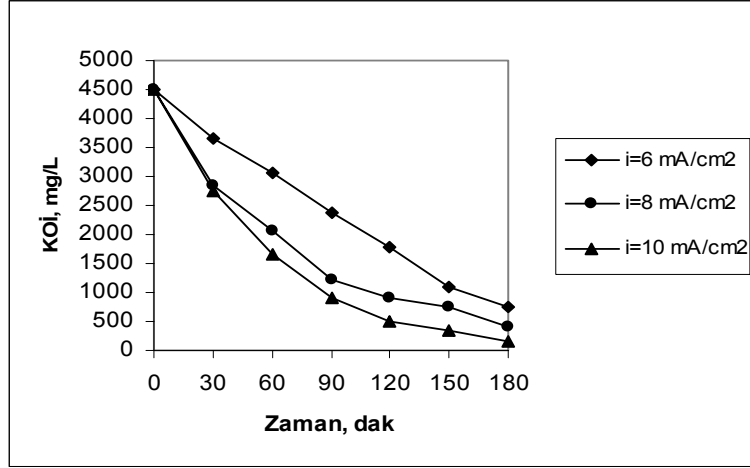
$i = 8 \text{ mA/cm}^2$, $0,3 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$

| Zaman (dak) | Gerilim (V) | pH | T (°C) | KOİ (mg/L) | Giderim (%) | Enerji Tüketimi kWhm ⁻³ | Enerji Tüketimi kWhg ⁻¹ | $k_m 10^{-5}$ m/s | Akım Verimi % |
|-------------|-------------|------|--------|------------|-------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------|---------------|
| 0 | 196 | 5,16 | 14,8 | 4500 | - | - | - | - | - |
| 30 | 199 | 8,07 | 42,7 | 2839,5 | 39,9 | 78,71 | 0,047 | 2,59 | 237,1 |
| 60 | 208 | 8,27 | 45,3 | 2047,5 | 54,5 | 82,27 | 0,081 | 4,42 | 175,1 |
| 90 | 196 | 8,68 | 41,2 | 1228,5 | 72,7 | 77,52 | 0,105 | 7,3 | 155,7 |
| 120 | 204 | 9,05 | 39,3 | 900 | 80,0 | 80,68 | 0,127 | 9,04 | 128,5 |
| 150 | 206 | 9,13 | 39,4 | 738 | 83,6 | 81,47 | 0,149 | 10,2 | 107,4 |
| 180 | 209 | 9,15 | 41,9 | 409,5 | 90,9 | 82,66 | 0,169 | 13,5 | 097,3 |

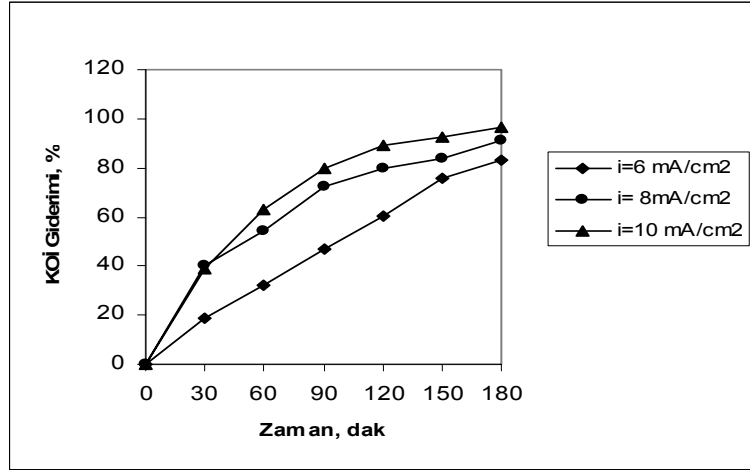
Çizelge 11.9. Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları

$i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,3 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$

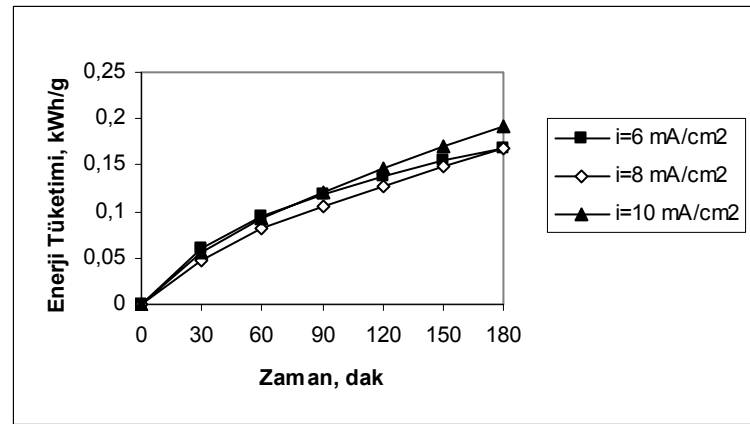
| Zaman (dak) | Gerilim (V) | pH | T (°C) | KOİ (mg/L) | Giderim (%) | Enerji Tüketimi kWhm ⁻³ | Enerji Tüketimi kWhg ⁻¹ | $k_m 10^{-5}$ m/s | Akım Verimi % |
|-------------|-------------|------|--------|------------|-------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------|---------------|
| 0 | 234 | 5,20 | 14,9 | 4500 | - | - | - | - | - |
| 30 | 200 | 8,20 | 41,6 | 2749,5 | 38,9 | 98,876 | 0,056 | 2,77 | 200 |
| 60 | 203 | 8,50 | 40,8 | 1669,5 | 62,9 | 100,36 | 0,092 | 5,57 | 161,7 |
| 90 | 209 | 9,11 | 43,0 | 918 | 79,6 | 103,33 | 0,121 | 8,93 | 136,4 |
| 120 | 201 | 9,36 | 41,7 | 499,5 | 88,9 | 99,371 | 0,146 | 12,4 | 114,2 |
| 150 | 200 | 9,38 | 40,6 | 333 | 92,6 | 98,876 | 0,169 | 14,6 | 95,2 |
| 180 | 196 | 9,39 | 40,7 | 144 | 96,8 | 96,899 | 0,192 | 19,3 | 82,93 |



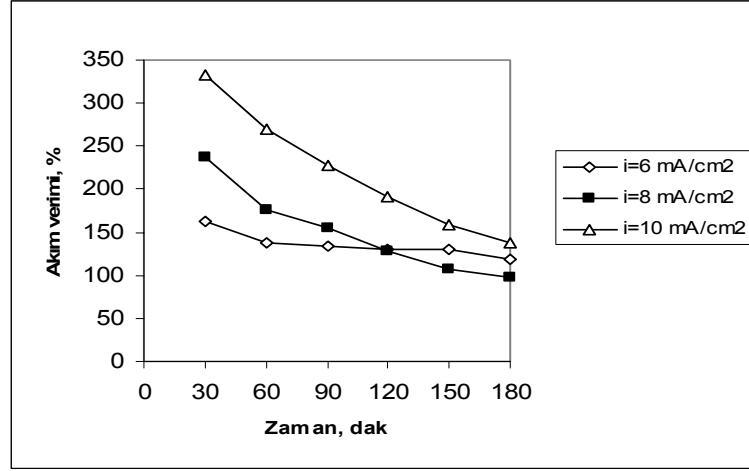
Şekil 11.6. KOİ derişiminin akım yoğunluğuna bağlı olarak zamanla değişimi
(0,3 M Na₂SO₄, V= 300 mL, Q=59,4 mL/dak)



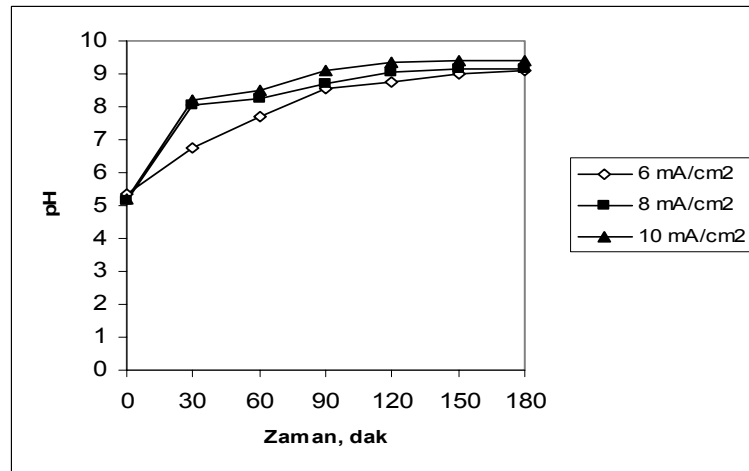
Şekil 11.7. % KOİ gideriminin akım yoğunluğuna bağlı olarak zamanla değişimi
(0,3 M Na₂SO₄, V= 300 mL, Q=59,4 mL/dak)



Şekil 11.8. Enerji tüketiminin akım yoğunluğuna bağlı olarak zamanla değişimi
(0,3 M Na₂SO₄, V= 300 mL, Q=59,4 mL/dak)



Şekil 11.9. Akım veriminin akım yoğunluğuna bağlı olarak zamanla değişimi
(0,3 M Na₂SO₄, V= 300 mL, Q=59,4 mL/dak)



Şekil 11.10. pH'in akım yoğunluğuna bağlı olarak zamanla değişimi
(0,3 M Na₂SO₄, V= 300 mL, Q=59,4 mL/dak)

Alkol fabrikası atıksuyu için farklı akış hızlarının (37,5, 47,5, 59,4 mL/dak) etkisini incelemek amacıyla, atıksu, 10 mA/cm² akım yoğunluğunda, 0,5 M Na₂SO₄ destek elektrolit derişiminde, 3 saat süreyle elektroliz edilmiş ve 30 dakikalık zaman dilimlerinde örnek alınarak KOİ analizleri yapılmıştır. Yapılan deney sonuçları Çizelge 11.10-11.12'de verilmiştir. KOİ derişiminin, %KOİ gideriminin, enerji tüketiminin, akım veriminin ve pH'in zamanla değişimi Şekil 11.11-15 de görülmektedir.

Çizelge 11.10. Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları

$i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,5\text{M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 37,5 \text{ mL/dak}$

| Zaman (dak) | Gerilim (V) | pH | T (°C) | KOİ mg/L | Giderim % | Enerji Tüketimi kWhm ⁻³ | Enerji Tüketimi kWhg ⁻¹ | $k_m 10^{-5}$ m/s | Akım Verimi % |
|-------------|-------------|-------|--------|----------|-----------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------|---------------|
| 0 | 190 | 5,51 | 21,1 | 4500 | - | - | - | - | - |
| 30 | 190 | 8,25 | 43,3 | 3244,5 | 27,9 | 148,6 | 0,118 | 1,1 | 143,4 |
| 60 | 184 | 9,06 | 42,7 | 2511 | 44,2 | 148,6 | 0,193 | 2,0 | 113,6 |
| 90 | 178 | 9,26 | 43,3 | 1777,5 | 60,5 | 143,9 | 0,246 | 3,3 | 103,7 |
| 120 | 174 | 9,94 | 43,3 | 1359 | 69,8 | 139,2 | 0,29 | 4,2 | 89,7 |
| 150 | 175 | 10,10 | 44,4 | 1048,5 | 76,7 | 136,1 | 0,33 | 5,1 | 78,85 |
| 180 | 178 | 10,11 | 40,9 | 733,5 | 83,7 | 136,9 | 0,366 | 6,4 | 71,71 |

Çizelge 11.11. Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları

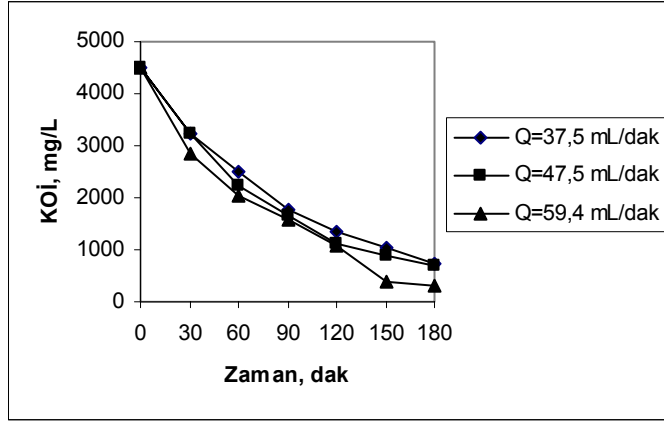
$i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,5\text{M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 47,5 \text{ mL/dak}$

| Zaman (dak) | Gerilim (V) | pH | T (°C) | KOİ mg/L | Giderim % | Enerji Tüketimi kWhm ⁻³ | Enerji Tüketimi kWhg ⁻¹ | $k_m 10^{-5}$ m/s | Akım Verimi % |
|-------------|-------------|------|--------|----------|-----------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------|---------------|
| 0 | 152 | 5,20 | 13,7 | 4500 | - | - | - | - | - |
| 30 | 165 | 8,15 | 45,4 | 3226,5 | 36,7 | 93,87 | 0,074 | 1,5 | 145,5 |
| 60 | 170 | 8,64 | 42,5 | 2250 | 55 | 101,9 | 0,119 | 3,1 | 128,5 |
| 90 | 176 | 9,00 | 43,7 | 1651,5 | 63,3 | 105 | 0,156 | 4,5 | 108,5 |
| 120 | 174 | 9,11 | 41,4 | 1125 | 75 | 108,7 | 0,188 | 6,2 | 96,38 |
| 150 | 170 | 9,12 | 41,5 | 900 | 80 | 107,5 | 0,218 | 7,2 | 82,24 |
| 180 | 170 | 9,62 | 41,9 | 675 | 85 | 105 | 0,245 | 8,5 | 72,82 |

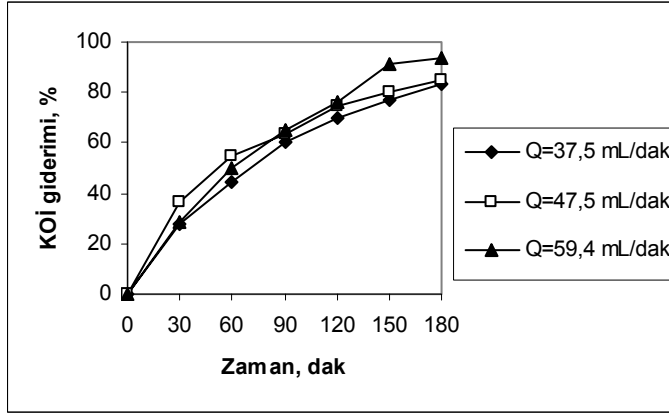
Çizelge 11.12. Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları

$i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,5\text{M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$

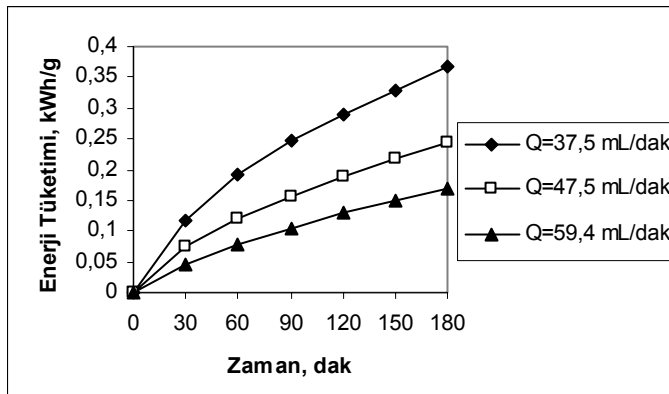
| Zaman (dak) | Gerilim (V) | pH | T (°C) | KOİ mg/L | Giderim % | Enerji Tüketimi kWhm ⁻³ | Enerji Tüketimi kWhg ⁻¹ | $k_m 10^{-5}$ m/s | Akım Verimi % |
|-------------|-------------|------|--------|----------|-----------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------|---------------|
| 0 | 153 | 5,20 | 14,2 | 4500 | - | - | - | - | - |
| 30 | 160 | 8,12 | 45 | 2848,5 | 28,3 | 75,64 | 0,046 | 2,5 | 188,6 |
| 60 | 165 | 8,86 | 42,9 | 2025 | 50 | 79,1 | 0,078 | 4,4 | 141,4 |
| 90 | 164 | 9,22 | 40,2 | 1566 | 65,2 | 81,57 | 0,106 | 5,9 | 111,7 |
| 120 | 166 | 9,24 | 45,0 | 1075,5 | 76,1 | 81,08 | 0,129 | 8,0 | 97,79 |
| 150 | 172 | 9,49 | 43,8 | 391,5 | 91,3 | 82,07 | 0,149 | 13,7 | 93,86 |
| 180 | 169 | 9,38 | 42,6 | 292,5 | 93,5 | 85,03 | 0,169 | 15,4 | 80,1 |



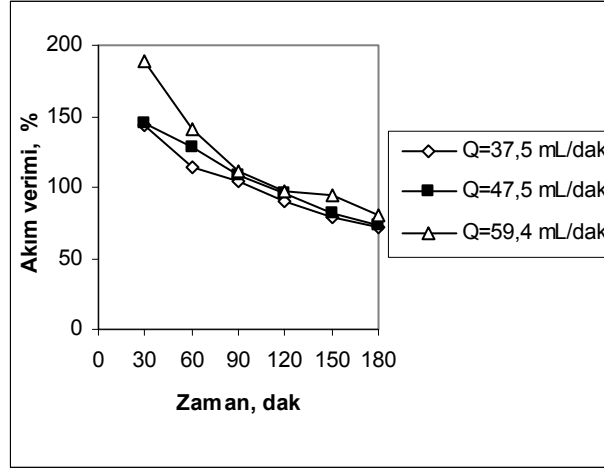
Şekil 11.11. KOİ derişiminin akış hızına bağılı olarak zamanla değişimi
($i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,5\text{M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$)



Şekil 11.12. % KOİ gideriminin akış hızına bağılı olarak zamanla değişimi
($i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,5\text{M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$)

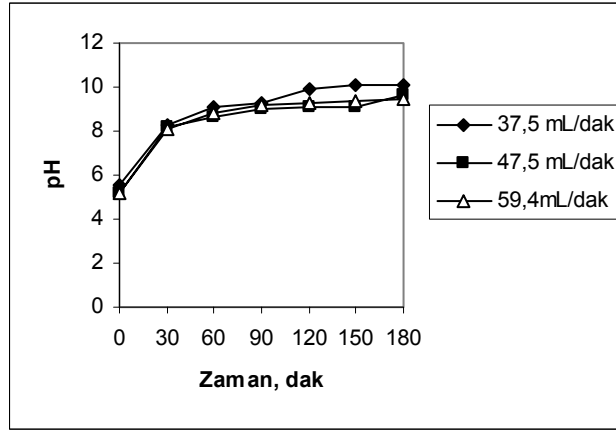


Şekil 11.13. Enerji tüketiminin akış hızına bağılı olarak zamanla değişimi
($i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,5\text{M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$)



Şekil 11.14. Akım veriminin akış hızına bağlı olarak zamanla değişimi

($i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,5\text{M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$)



Şekil 11.15. pH'in akış hızına bağlı olarak zamanla değişimi

($i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,5\text{M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$)

Alkol fabrikası atıksuyu için farklı sıcaklıkların (30, 40 ve 50°C) etkisini incelemek amacıyla, atıksu, 10 mA/cm^2 akım yoğunluğunda, $0,3 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$ destek elektrolit derişiminde, $59,4 \text{ mL/dak}$ akış hızında 3 saat süreyle elektroliz edilmiş ve 30 dakikalık zaman dilimlerinde örnek alınarak KOİ analizleri yapılmıştır. Yapılan deney sonuçları Çizelge 11.13-11.15 verilmiştir. KOİ derişiminin, % KOİ gideriminin, enerji tüketiminin, akım veriminin ve pH'ın zamanla değişimi Şekil 11.16-11.20'de görülmektedir

Çizelge 11.13. Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları

$i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,3 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$, $t = 30^\circ\text{C}$

| Zaman (dak) | Gerilim (V) | pH | KOİ mg/L | Giderim % | Enerji Tüketimi kWhm ⁻³ | Enerji Tüketimi kWhg ⁻¹ | $k_m 10^{-5}$ m/s | Akım Verimi % |
|-------------|-------------|------|----------|-----------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------|---------------|
| 0 | 220 | 5,25 | 4500 | - | - | - | - | - |
| 30 | 227 | 8,14 | 3564 | 20,8 | 108,76 | 0,116 | 1,3 | 106,9 |
| 60 | 235 | 8,49 | 2439 | 45,8 | 112,22 | 0,171 | 3,4 | 117,7 |
| 90 | 234 | 9,14 | 1593 | 64,6 | 116,18 | 0,211 | 5,8 | 110,7 |
| 120 | 228 | 9,20 | 1219,5 | 72,9 | 115,69 | 0,246 | 7,3 | 93,68 |
| 150 | 210 | 9,70 | 841,5 | 81,3 | 112,72 | 0,277 | 9,4 | 83,58 |
| 180 | 212 | 9,82 | 279 | 93,8 | 103,82 | 0,301 | 15,6 | 80,36 |

Çizelge 11.14. Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları

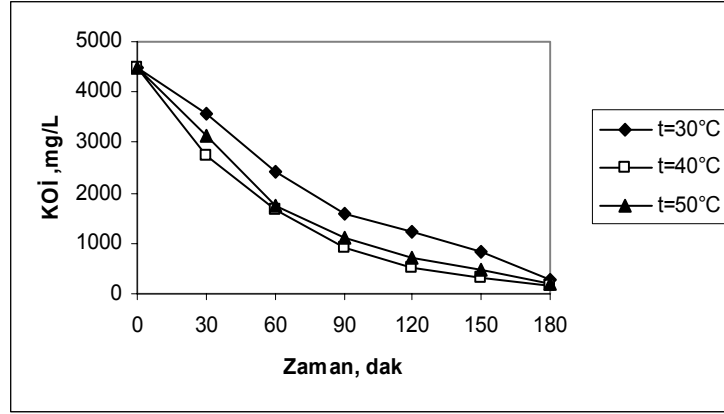
$i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,3 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$, $t = 40^\circ\text{C}$

| Zaman (dak) | Gerilim (V) | pH | KOİ (mg/L) | Giderim (%) | Enerji Tüketimi kWhm ⁻³ | Enerji Tüketimi kWhg ⁻¹ | $k_m 10^{-5}$ m/s | Akım Verimi % |
|-------------|-------------|------|------------|-------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------|---------------|
| 0 | 234 | 5,20 | 4500 | - | - | - | - | - |
| 30 | 200 | 8,20 | 2749,5 | 38,9 | 98,876 | 0,056 | 2,77 | 200 |
| 60 | 203 | 8,50 | 1669,5 | 62,9 | 100,36 | 0,092 | 5,57 | 161,7 |
| 90 | 209 | 9,11 | 918 | 79,6 | 103,33 | 0,121 | 8,93 | 136,4 |
| 120 | 201 | 9,36 | 499,5 | 88,9 | 99,371 | 0,146 | 12,4 | 114,2 |
| 150 | 200 | 9,38 | 333 | 92,6 | 98,876 | 0,169 | 14,6 | 95,2 |
| 180 | 196 | 9,39 | 144 | 96,8 | 96,899 | 0,192 | 19,3 | 82,93 |

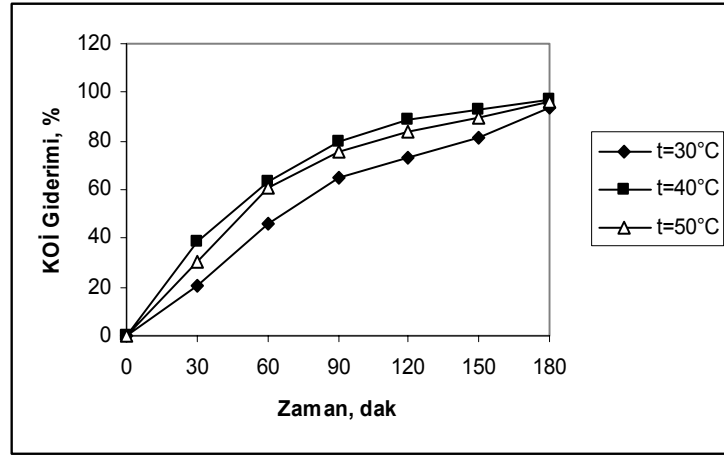
Çizelge 11.15. Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları

$i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,3 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$, $t = 50^\circ\text{C}$

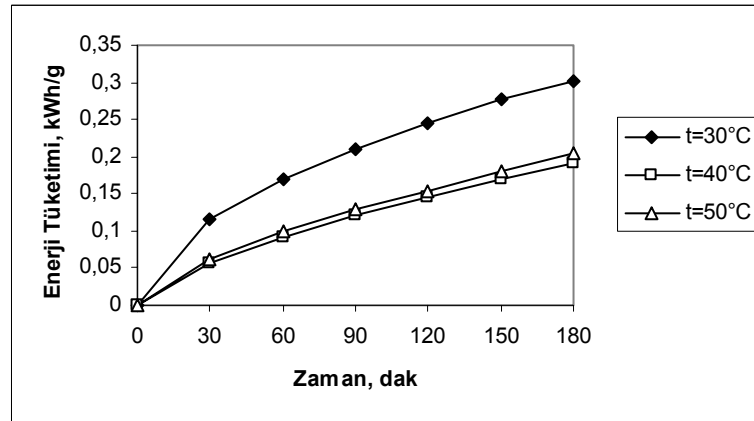
| Zaman (dak) | Gerilim (V) | pH | KOİ mg/L | Giderim % | Enerji Tüketimi kWhm ⁻³ | Enerji Tüketimi kWhg ⁻¹ | $k_m 10^{-5}$ m/s | Akım Verimi % |
|-------------|-------------|------|----------|-----------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------|---------------|
| 0 | 171 | 5,29 | 4500 | - | - | - | - | - |
| 30 | 175 | 7,28 | 3123 | 30,6 | 86,517 | 0,063 | 2,0 | 157,3 |
| 60 | 198 | 8,16 | 1746 | 61,2 | 97,888 | 0,098 | 5,3 | 157,3 |
| 90 | 210 | 8,47 | 1098 | 75,6 | 103,82 | 0,129 | 7,9 | 129,5 |
| 120 | 197 | 8,52 | 733,5 | 83,7 | 97,393 | 0,155 | 12 | 107,6 |
| 150 | 215 | 8,66 | 459 | 89,8 | 106,29 | 0,181 | 12,8 | 92,32 |
| 180 | 208 | 8,90 | 184,5 | 95,9 | 102,83 | 0,205 | 17,9 | 82,16 |



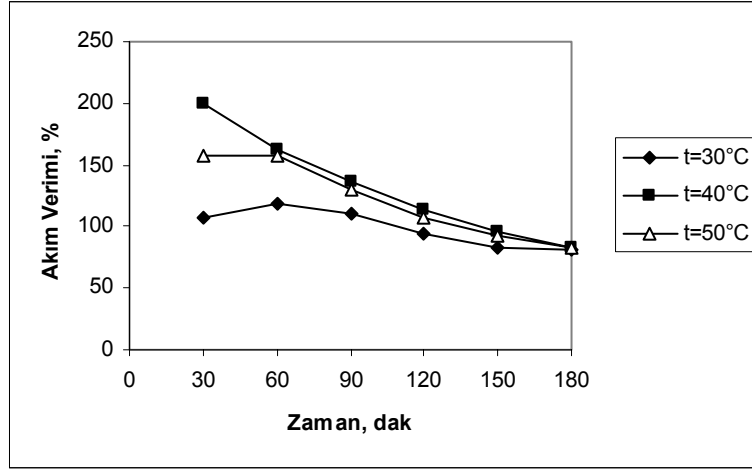
Şekil 11.16. KOİ derişiminin sıcaklığa bağı olarak zamanla değişimi
($i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,3 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$)



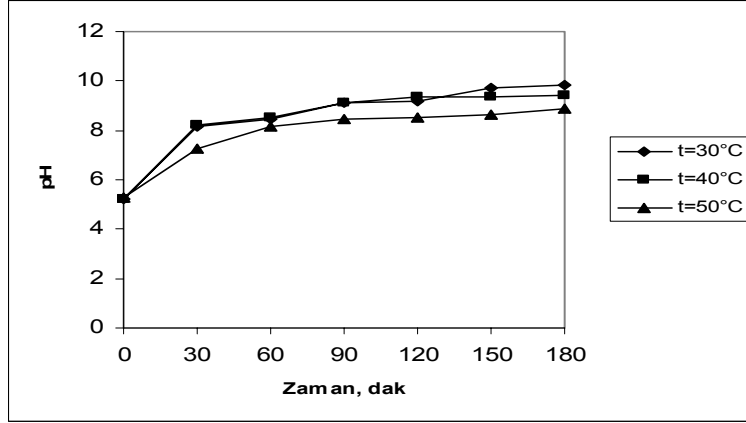
Şekil 11.17. % KOİ gideriminin sıcaklığa bağı olarak zamanla değişimi
($i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,3 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$)



Şekil 11.18 Enerji tüketiminin sıcaklığa bağı olarak zamanla değişimi
($i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,3 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$)



Şekil 11.19. Akım veriminin sıcaklığa bağlı olarak zamanla değişimi
($i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,3 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$)



Şekil 11.20. pH'nin sıcaklığa bağlı olarak zamanla değişimi
($i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,3 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$)

Alkol fabrikası atıksuyu için farklı sabit pH değerlerinin ($\text{pH}=4,00$, $\text{pH}=5,00$, $\text{pH}=7,00$, $\text{pH}=9,00$, $\text{pH}=11,00$, $\text{pH}=\text{orijinal}$) etkisini incelemek amacıyla, atıksu, 10 mA/cm^2 akım yoğunluğunda, $0,3 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$ destek elektrolit derişiminde, $59,4 \text{ mL/dak}$ akış hızında 3 saat süreyle elektroliz edilmiş ve 30 dakikalık zaman dilimlerinde örnek alınarak KOİ analizleri yapılmıştır. Yapılan deney sonuçları Çizelge 11.16-11.20'da verilmiştir. KOİ derişiminin, % KOİ gideriminin, enerji tüketiminin ve akım veriminin zamanla değişimi Şekil 11.21-11.24'de görülmektedir

Çizelge 11.16. Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları
 $i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,3 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$, $\text{pH} = 4,00$

| Zaman (dak) | Gerilim (V) | T (°C) | KOİ mg/L | Giderim % | Enerji Tüketimi kWhm ⁻³ | Enerji Tüketimi kWhg ⁻¹ | $k_m 10^{-5}$ m/s | Akım Verimi % |
|-------------|-------------|--------|----------|-----------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------|---------------|
| 0 | 200 | 18,3 | 4500 | - | - | - | - | - |
| 30 | 208 | 48,7 | 3132 | 30,4 | 102,8 | 0,075 | 2,0 | 156,3 |
| 60 | 215 | 45,9 | 1858,5 | 58,7 | 106,3 | 0,115 | 4,9 | 150,9 |
| 90 | 210 | 46,2 | 1368 | 69,6 | 103,8 | 0,149 | 6,6 | 119,3 |
| 120 | 212 | 47 | 882 | 80,4 | 104,8 | 0,178 | 9,1 | 103,3 |
| 150 | 200 | 44,1 | 783 | 82,6 | 98,88 | 0,204 | 9,8 | 84,92 |
| 180 | 201 | 43,0 | 490,5 | 89,1 | 99,37 | 0,229 | 12,5 | 76,33 |

Çizelge 11.17. Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları
 $i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,3 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$, $\text{pH} = 5,00$

| Zaman (dak) | Gerilim (V) | T (°C) | KOİ mg/L | Giderim % | Enerji Tüketimi kWhm ⁻³ | Enerji Tüketimi kWhg ⁻¹ | $k_m 10^{-5}$ m/s | Akım Verimi % |
|-------------|-------------|--------|----------|-----------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------|---------------|
| 0 | 145 | 7 | 4500 | - | - | - | - | - |
| 30 | 140 | 44 | 3892,5 | 13,5 | 69,21 | 0,114 | 8,15 | 69,39 |
| 60 | 154 | 45 | 3028,5 | 32,7 | 76,13 | 0,166 | 2,23 | 84,04 |
| 90 | 165 | 44 | 2250 | 50 | 81,57 | 0,202 | 3,9 | 85,67 |
| 120 | 185 | 45 | 1557 | 65,4 | 91,46 | 0,233 | 5,9 | 84,04 |
| 150 | 184 | 45 | 1210,5 | 73,1 | 90,97 | 0,261 | 7,3 | 75,15 |
| 180 | 178 | 48 | 778,5 | 82,7 | 88 | 0,284 | 9,8 | 70,85 |

Çizelge 11.18. Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları
 $i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,3 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$, $\text{pH} = 7,00$

| Zaman (dak) | Gerilim (V) | T (°C) | KOİ mg/L | Giderim % | Enerji Tüketimi kWhm ⁻³ | Enerji Tüketimi kWhg ⁻¹ | $k_m 10^{-5}$ m/s | Akım Verimi % |
|-------------|-------------|--------|----------|-----------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------|---------------|
| 0 | 191 | 17,3 | 4500 | - | - | - | - | - |
| 30 | 189 | 38 | 3559,5 | 20,9 | 93,44 | 0,099 | 1,3 | 107,4 |
| 60 | 186 | 43,2 | 3136,5 | 30,3 | 91,96 | 0,167 | 2,0 | 77,88 |
| 90 | 190 | 45,0 | 1777,5 | 60,5 | 93,93 | 0,201 | 5,2 | 103,7 |
| 120 | 196 | 44,0 | 1467 | 67,4 | 96,9 | 0,233 | 6,3 | 86,61 |
| 150 | 196 | 45,0 | 1152 | 74,4 | 96,9 | 0,262 | 7,6 | 76,49 |
| 180 | 195 | 45,0 | 522 | 88,4 | 96,4 | 0,286 | 12,1 | 75,73 |

Çizelge 11.19. Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları
 $i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,3 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$ $\text{pH} = 9,00$

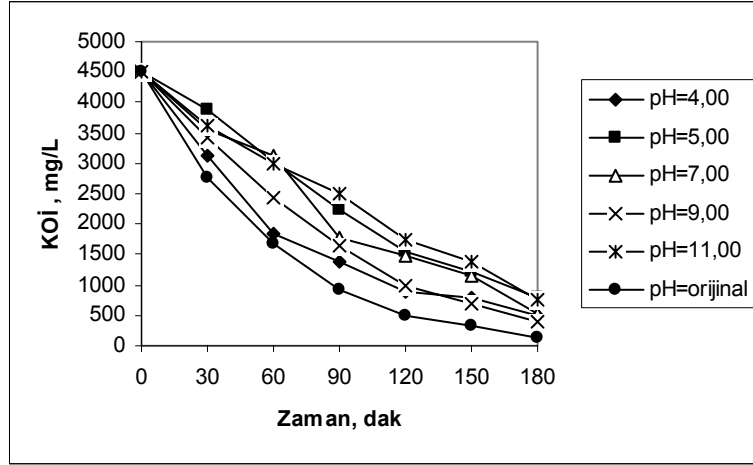
| Zaman (dak) | Gerilim (V) | T (°C) | KOİ mg/L | Giderim % | Enerji Tüketimi kWhm ⁻³ | Enerji Tüketimi kWhg ⁻¹ | $k_m 10^{-5}$ m/s | Akım Verimi % |
|-------------|-------------|--------|----------|-----------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------|---------------|
| 0 | 184 | 20 | 4500 | - | - | - | - | - |
| 30 | 157 | 44 | 3424,5 | 23,9 | 77,62 | 0,072 | 1,53 | 122,9 |
| 60 | 150 | 45 | 2443,5 | 45,7 | 74,16 | 0,108 | 3,43 | 117,5 |
| 90 | 160 | 44 | 1660,5 | 63,04 | 79,1 | 0,136 | 5,6 | 108,1 |
| 120 | 160 | 46 | 976,5 | 78,3 | 79,1 | 0,159 | 8,59 | 100,6 |
| 150 | 154 | 44 | 684 | 84,8 | 76,13 | 0,178 | 10,6 | 87,18 |
| 180 | 145 | 43 | 391,4 | 91,3 | 71,69 | 0,196 | 13,7 | 78,22 |

Çizelge 11.20. Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları
 $i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,3 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$, $\text{pH} = 11,00$

| Zaman (dak) | Gerilim (V) | T (°C) | KOİ mg/L | Giderim % | Enerji Tüketimi kWhm ⁻³ | Enerji Tüketimi kWhg ⁻¹ | $k_m 10^{-5}$ m/s | Akım Verimi % |
|-------------|-------------|--------|----------|-----------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------|---------------|
| 0 | 196 | 17 | 4500 | - | - | - | - | - |
| 30 | 200 | 44 | 3627 | 19,4 | 98,88 | 0,113 | 1,2 | 99,72 |
| 60 | 190 | 45 | 3001,5 | 33,3 | 93,93 | 0,176 | 2,2 | 85,59 |
| 90 | 190 | 45 | 2502 | 44,4 | 93,93 | 0,223 | 3,3 | 76,08 |
| 120 | 189 | 44 | 1750,5 | 61,1 | 93,44 | 0,257 | 5,3 | 78,52 |
| 150 | 175 | 39 | 1377 | 69,4 | 86,52 | 0,285 | 6,6 | 71,35 |
| 180 | 172 | 43 | 751,5 | 83,3 | 85,03 | 0,307 | 10,1 | 71,36 |

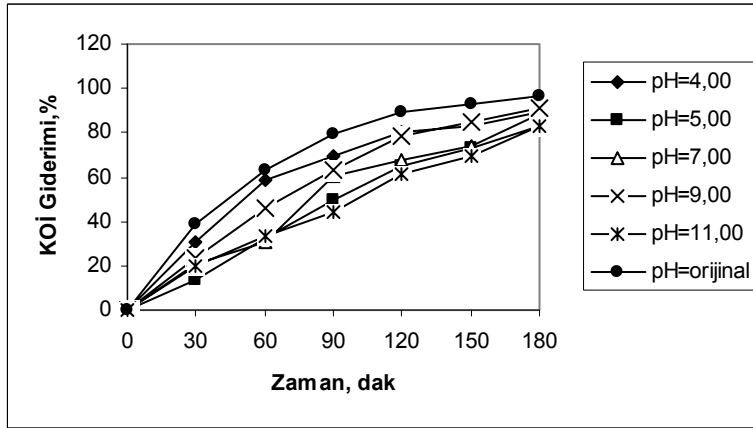
Çizelge 11.21. Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları
 $i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,3 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$, $\text{pH} = \text{orijinal}$

| Zaman (dak) | Gerilim (V) | T (°C) | KOİ mg/L | Giderim % | Enerji Tüketimi kWhm ⁻³ | Enerji Tüketimi kWhg ⁻¹ | $k_m 10^{-5}$ m/s | Akım Verimi % |
|-------------|-------------|--------|----------|-----------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------|---------------|
| 0 | 234 | 14,9 | 4500 | - | - | - | - | - |
| 30 | 200 | 41,6 | 2749,5 | 38,9 | 98,88 | 0,056 | 2,77 | 200 |
| 60 | 203 | 40,8 | 1669,5 | 62,9 | 100,4 | 0,092 | 5,57 | 161,7 |
| 90 | 209 | 43,0 | 918 | 79,6 | 103,3 | 0,121 | 8,93 | 136,4 |
| 120 | 201 | 41,7 | 499,5 | 88,9 | 99,37 | 0,146 | 12,4 | 114,2 |
| 150 | 200 | 40,6 | 333 | 92,6 | 98,88 | 0,169 | 14,6 | 95,2 |
| 180 | 196 | 40,7 | 144 | 96,8 | 96,9 | 0,192 | 19,3 | 82,93 |



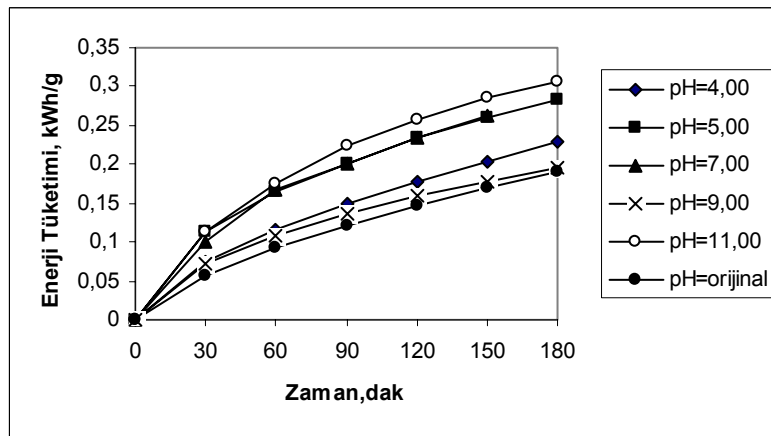
Şekil 11.21. KOİ derişiminin pH 'a bağı olarak zamanla değişimi

($i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,3 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$.)



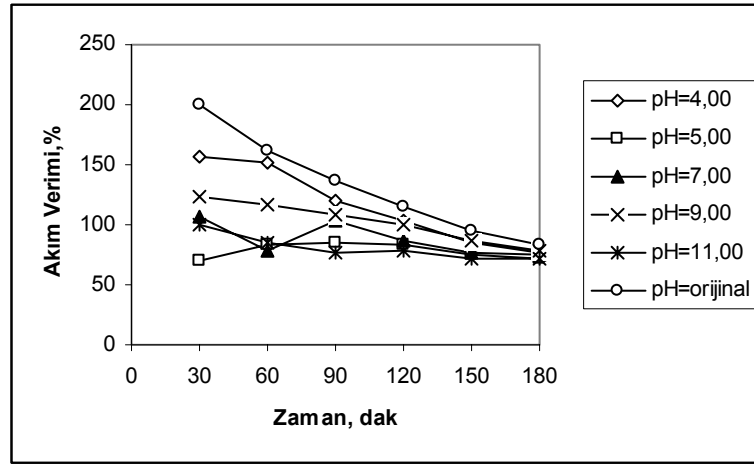
Şekil 11.22. % KOİ gideriminin pH 'a bağı olarak zamanla değişimi

($i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,3 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$.)



Şekil 11.23. Enerji tüketiminin pH 'a bağı olarak zamanla değişimi

($i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,3 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$.)



Şekil 11.24. Akım veriminin pH 'a bağlı olarak zamanla değişimi
($i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,3 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$.)

11.1.2. Şeker Fabrikası Atıksuları İçin Yapılan Elektrokimyasal Yükseltgeme çalışmaları

Şeker fabrikası atıksuyu için farklı destek elektrolit derişimlerinin ($0,1\text{M}$, $0,2\text{M}$, $0,3\text{M}$, $0,4\text{M}$, $0,5\text{M Na}_2\text{SO}_4$) etkisini incelemek amacıyla, atıksu, $59,4 \text{ mL/dak}$ akış hızında, 10 mA/cm^2 akım yoğunluğunda, 3 saat süreyle elektroliz edilmiş ve 30 dakikalık zaman dilimlerinde örnek alınarak KOİ analizleri yapılmıştır. Yapılan deney sonuçları Çizelge 11.22-11.26 verilmiştir. KOİ derişiminin, % KOİ gideriminin, enerji tüketiminin, akım veriminin ve pH'ın zamanla değişimi Şekil 11.25-11.29' da görülmektedir.

Çizelge 11.22. Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları

$i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,1\text{M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$

| Zaman (dak) | Gerilim (V) | pH | T (°C) | KOİ (mg/L) | Giderim (%) | Enerji Tüketimi kWhm^{-3} | Enerji Tüketimi kWhg^{-1} | $k_m \cdot 10^{-5}$ m/s | Akım verimi % |
|-------------|-------------|------|--------|------------|-------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------|---------------|
| 0 | 263 | 6,83 | 12 | 1116,5 | - | - | - | - | - |
| 30 | 220 | 8,50 | 42 | 803,5 | 28,03 | 108,8 | 0,51 | 5,7 | 9,82 |
| 60 | 219 | 9,30 | 41 | 625,1 | 44,01 | 108,3 | 0,711 | 2 | 15,1 |
| 90 | 223 | 9,63 | 43,1 | 536 | 51,99 | 110,2 | 0,881 | 2,8 | 13,5 |
| 120 | 215 | 9,71 | 41,7 | 446,5 | 60,0 | 106,3 | 1,024 | 3,9 | 12,7 |
| 150 | 219 | 9,86 | 41,7 | 268 | 75,9 | 108,3 | 1,147 | 6,7 | 14,2 |
| 180 | 218 | 9,47 | 41,5 | 178,6 | 84 | 107,8 | 1,255 | 9 | 13,5 |

Çizelge 11.23. Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları

$i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,2 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$

| Zaman (dak) | Gerilim (V) | pH | T (°C) | KOİ (mg/L) | Giderim (%) | Enerji Tüketimi kWhm ⁻³ | Enerji Tüketimi kWhg ⁻¹ | $k_m 10^{-5}$ m/s | Akım verimi % |
|-------------|-------------|------|--------|------------|-------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------|---------------|
| 0 | 235 | 6,59 | 12,7 | 1005,5 | - | - | - | - | - |
| 30 | 222 | 8,96 | 37,1 | 731,5 | 27,3 | 109,8 | 0,536 | 1,1 | 18 |
| 60 | 216 | 9,44 | 40,8 | 503 | 49,9 | 106,8 | 0,856 | 3,2 | 22,1 |
| 90 | 205 | 9,50 | 41,9 | 411,5 | 59,1 | 101,3 | 1,026 | 4,3 | 18,2 |
| 120 | 200 | 9,48 | 42,5 | 274 | 72,7 | 98,88 | 1,171 | 6,6 | 17,6 |
| 150 | 195 | 9,46 | 40,8 | 91,5 | 90,9 | 96,4 | 1,314 | 13 | 18,2 |
| 180 | 191 | 9,37 | 40,9 | 46 | 95,4 | 94,43 | 1,449 | 17 | 16,1 |

Çizelge 11.24. Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları

$i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,3 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$

| Zaman (dak) | Gerilim (V) | pH | T (°C) | KOİ (mg/L) | Giderim (%) | Enerji Tüketimi kWhm ⁻³ | Enerji Tüketimi kWhg ⁻¹ | $k_m 10^{-5}$ m/s | Akım verimi % |
|-------------|-------------|------|--------|------------|-------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------|---------------|
| 0 | 212 | 6,51 | 7,5 | 889,5 | - | - | - | - | - |
| 30 | 193 | 9,33 | 42,1 | 702,5 | 21,02 | 95,42 | 0,695 | 1,3 | 21,4 |
| 60 | 190 | 9,49 | 45,3 | 421,5 | 52,62 | 93,93 | 0,971 | 4,2 | 26,7 |
| 90 | 193 | 9,50 | 45,3 | 327,8 | 63,15 | 95,42 | 1,183 | 5,6 | 21,4 |
| 120 | 190 | 9,51 | 42,2 | 234,0 | 73,7 | 93,93 | 1,344 | 7,5 | 18,7 |
| 150 | 174 | 9,59 | 41,7 | 187,5 | 78,9 | 86,02 | 1,464 | 8,7 | 16 |
| 180 | 175 | 9,44 | 43,7 | 93,68 | 89,5 | 86,52 | 1,576 | 13 | 15,2 |

Çizelge 11.25. . Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları

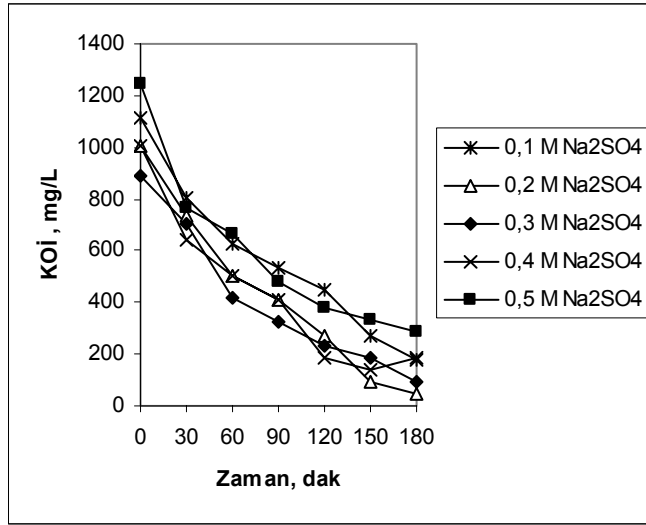
$i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,4 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$

| Zaman (dak) | Gerilim (V) | pH | T (°C) | KOİ (mg/L) | Giderim (%) | Enerji Tüketimi kWhm ⁻³ | Enerji Tüketimi kWhg ⁻¹ | $k_m 10^{-5}$ m/s | Akım verimi % |
|-------------|-------------|------|--------|------------|-------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------|---------------|
| 0 | 190 | 6,80 | 8,7 | 1005,5 | - | - | - | - | - |
| 30 | 180 | 9,32 | 34,2 | 640 | 36,4 | 88,99 | 0,357 | 1,8 | 28,5 |
| 60 | 176 | 10,3 | 37,3 | 503 | 49,9 | 87,01 | 0,582 | 3,2 | 22,1 |
| 90 | 175 | 10,3 | 37,5 | 411,5 | 59,1 | 86,52 | 0,763 | 4,3 | 18,2 |
| 120 | 177 | 10,4 | 35,1 | 183 | 81,8 | 87,51 | 0,887 | 8,9 | 20,2 |
| 150 | 180 | 9,96 | 38,9 | 137 | 86,4 | 88,99 | 1,005 | 11 | 17,2 |
| 180 | 180 | 9,74 | 41,2 | 183 | 81,8 | 88,99 | 1,131 | 8,9 | 13,5 |

Çizelge 11.26. Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları

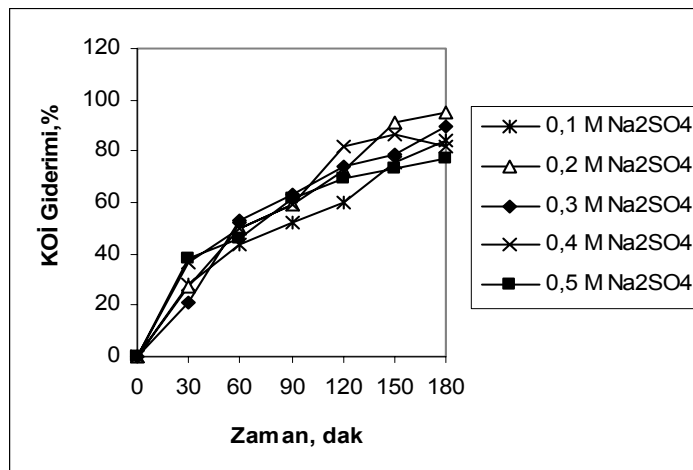
$i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,5 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$

| Zaman (dak) | Gerilim (V) | pH | T (°C) | KOİ (mg/L) | Giderim (%) | Enerji Tüketimi kWhm^{-3} | Enerji Tüketimi kWhg^{-1} | $k_m 10^{-5}$ m/s | Akım verimi % |
|-------------|-------------|------|--------|------------|-------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------|---------------|
| 0 | 143 | 7,33 | 13,3 | 1241,5 | - | - | - | - | - |
| 30 | 136 | 9,59 | 33,8 | 764 | 38,5 | 67,24 | 1,265 | 8,5 | 14,3 |
| 60 | 143 | 9,57 | 37,9 | 668,5 | 46,2 | 70,7 | 1,674 | 1,6 | 12,6 |
| 90 | 142 | 9,54 | 37,5 | 477,5 | 61,5 | 70,2 | 1,986 | 3,5 | 15,7 |
| 120 | 149 | 9,53 | 35,9 | 382 | 69,2 | 73,66 | 2,226 | 4,7 | 14,5 |
| 150 | 160 | 9,29 | 35,6 | 334,3 | 73,1 | 79,1 | 2,4 | 5,5 | 12,7 |
| 180 | 165 | 9,18 | 40,5 | 286,6 | 76,9 | 81,57 | 2,552 | 6,4 | 11,5 |



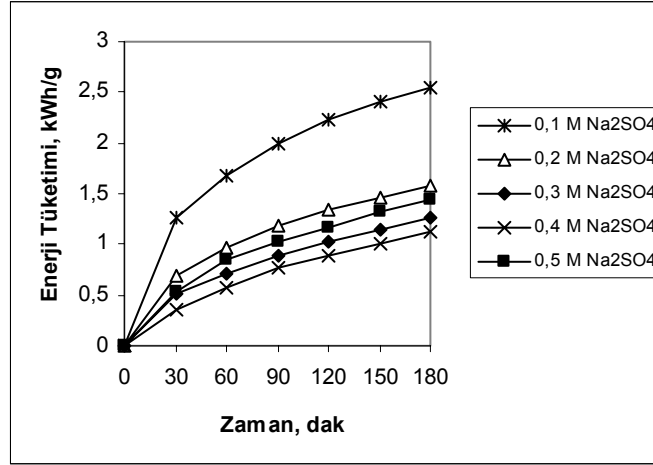
Şekil 11.25. KOİ derişiminin destek elektrolit derişimine bağlı olarak zamanla değişimi

($i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$.)

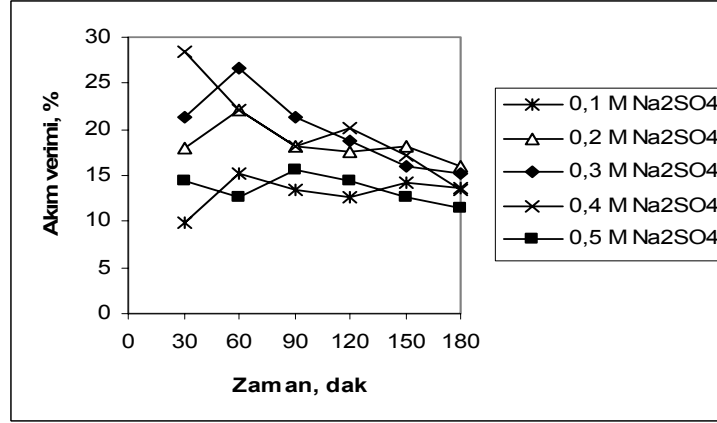


Şekil 11.26. % KOİ gideriminin destek elektrolit derişimine bağlı olarak zamanla değişimi

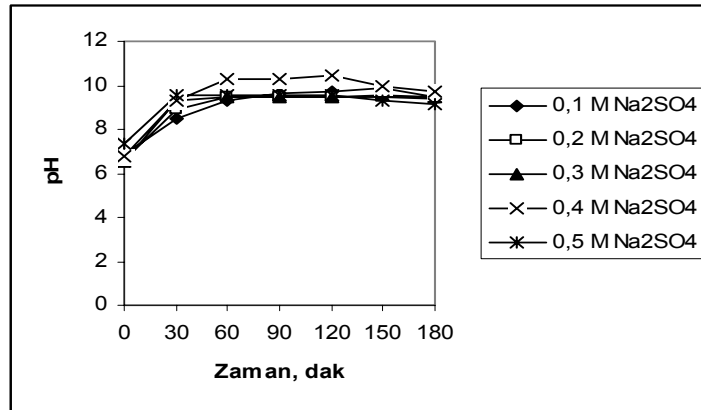
($i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$.)



Şekil 11.27. Enerji Tüketiminin destek elektrolit derişimine bağlı olarak zamanla değişimi
($i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$.)



Şekil 11.28. Akım verimini destek elektrolit derişimine bağlı olarak zamanla değişimi
($i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$.)



Şekil 11.29. pH'nin destek elektrolit derişimine bağlı olarak zamanla değişimi
($i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$.)

Şeker fabrikası atıksuyu için farklı akım yoğunluklarının (4, 7 ve 10 mA/cm²) etkisini incelemek amacıyla, atıksu, 59,4 mL/dak akış hızında, 0,2 M Na₂SO₄ destek elektrolit derişiminde, 3 saat süreyle elektroliz edilmiş ve 30 dakikalık zaman dilimlerinde örnek alınarak KOİ analizleri yapılmıştır. Yapılan deney sonuçları Çizelge 11.27-11.29’ da verilmiştir. KOİ derişiminin, % KOİ gideriminin, enerji tüketiminin, akım veriminin ve pH’ ın zamanla değişimi Şekil 11.30-11.34’de görülmektedir.

Çizelge 11.27. Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları

$i = 4 \text{ mA/cm}^2$, $0,2\text{MNa}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$

| Zaman (dak) | Gerilim (V) | pH | T (°C) | KOİ (mg/L) | Giderim (%) | Enerji Tüketimi kWhm ⁻³ | Enerji Tüketimi kWhg ⁻¹ | k_m 10 ⁻⁵ m/s | Akım verimi % |
|-------------|-------------|------|--------|------------|-------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------------|---------------|
| 0 | 186 | 6,69 | 8,4 | 823 | - | - | - | - | - |
| 30 | 176 | 9,86 | 29,4 | 640 | 22,2 | 34,8 | 0,19 | 1,41 | 52,26 |
| 60 | 170 | 10,0 | 30,1 | 503 | 38,9 | 33,62 | 0,295 | 2,77 | 45,69 |
| 90 | 171 | 9,63 | 31,1 | 480,2 | 41,7 | 33,82 | 0,394 | 3,03 | 32,63 |
| 120 | 172 | 9,71 | 30,6 | 380,4 | 53,8 | 34,01 | 0,471 | 4,34 | 31,6 |
| 150 | 170 | 9,72 | 31,3 | 335,1 | 59,3 | 33,62 | 0,54 | 5,05 | 27,87 |
| 180 | 170 | 9,82 | 30,9 | 298,9 | 63,7 | 33,62 | 0,604 | 5,69 | 24,94 |

Çizelge11.28. Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları

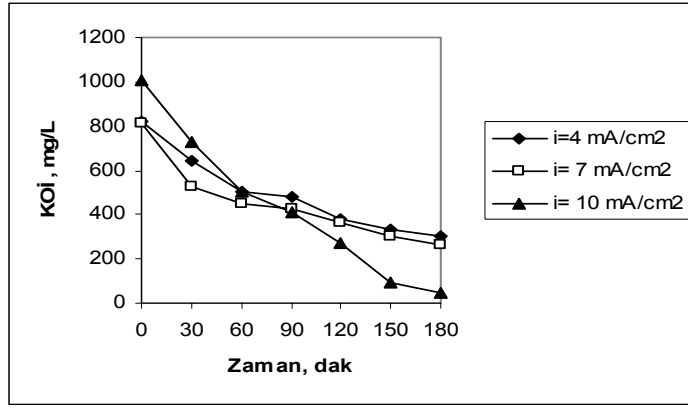
$i = 7 \text{ mA/cm}^2$, $0,2\text{M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$

| Zaman (dak) | Gerilim (V) | pH | T (°C) | KOİ (mg/L) | Giderim (%) | Enerji Tüketimi kWhm ⁻³ | Enerji Tüketimi kWhg ⁻¹ | k_m 10 ⁻⁵ m/s | Akım verimi % |
|-------------|-------------|------|--------|------------|-------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------------|---------------|
| 0 | 184 | 6,84 | 8,4 | 815,1 | - | - | - | - | - |
| 30 | 182 | 9,55 | 35,7 | 525,3 | 35,6 | 62,98 | 0,212 | 2,52 | 48,58 |
| 60 | 180 | 9,59 | 36,4 | 452,8 | 44,4 | 62,29 | 0,38 | 3,36 | 30,21 |
| 90 | 182 | 10,1 | 34,9 | 425,7 | 47,8 | 62,98 | 0,538 | 3,7 | 21,61 |
| 120 | 180 | 10,1 | 35,1 | 362,3 | 55,6 | 62,29 | 0,674 | 4,61 | 18,79 |
| 150 | 178 | 10,1 | 35,3 | 298,9 | 63,3 | 61,6 | 0,791 | 5,69 | 17,1 |
| 180 | 179 | 9,85 | 35,6 | 262,6 | 67,8 | 61,95 | 0,902 | 6,42 | 15,24 |

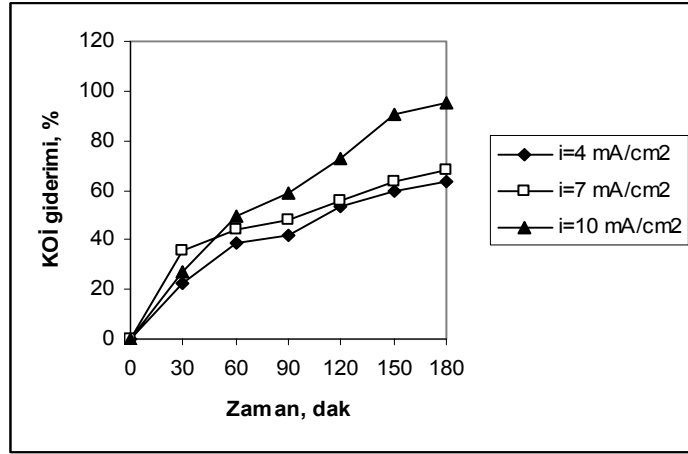
Çizelge 11.29. Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları

$i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,2\text{M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$

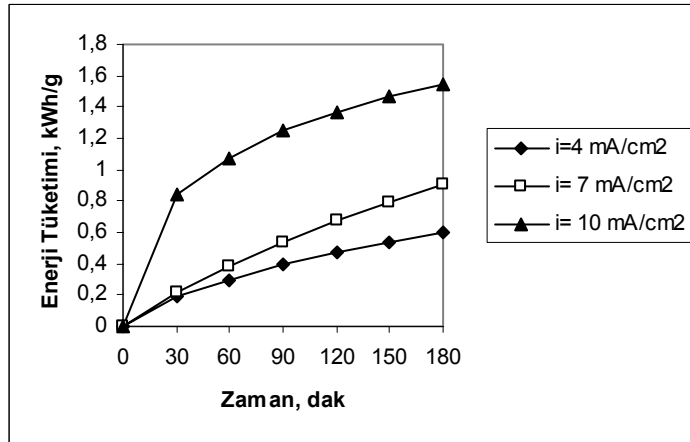
| Zaman (dak) | Gerilim (V) | pH | T (°C) | KOİ (mg/L) | Giderim (%) | Enerji Tüketimi kWhm ⁻³ | Enerji Tüketimi kWhg ⁻¹ | k_m 10 ⁻⁵ m/s | Akım verimi % |
|-------------|-------------|------|--------|------------|-------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------------|---------------|
| 0 | 235 | 6,59 | 12,7 | 1005,5 | - | - | - | - | - |
| 30 | 222 | 8,96 | 37,1 | 731,5 | 27,3 | 76,83 | 0,84 | 0,66 | 14,93 |
| 60 | 216 | 9,44 | 40,8 | 503 | 49,9 | 74,75 | 1,073 | 2,77 | 26,11 |
| 90 | 205 | 9,50 | 41,9 | 411,5 | 59,1 | 70,94 | 1,246 | 3,9 | 22,38 |
| 120 | 200 | 9,48 | 42,5 | 274 | 72,7 | 69,21 | 1,372 | 6,18 | 22,4 |
| 150 | 195 | 9,46 | 40,8 | 91,5 | 90,9 | 67,48 | 1,464 | 12,3 | 23,87 |
| 180 | 191 | 9,37 | 40,9 | 46 | 95,4 | 66,1 | 1,549 | 16,2 | 21,13 |



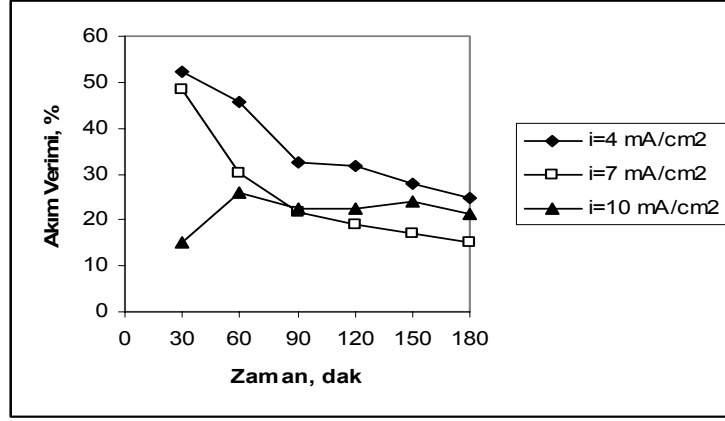
Şekil 11.30. KOİ derişiminin akım yoğunluğuna bağlı olarak zamanla değişimi
(0,2M Na₂SO₄, V= 300 mL, Q=59,4 mL/dak.)



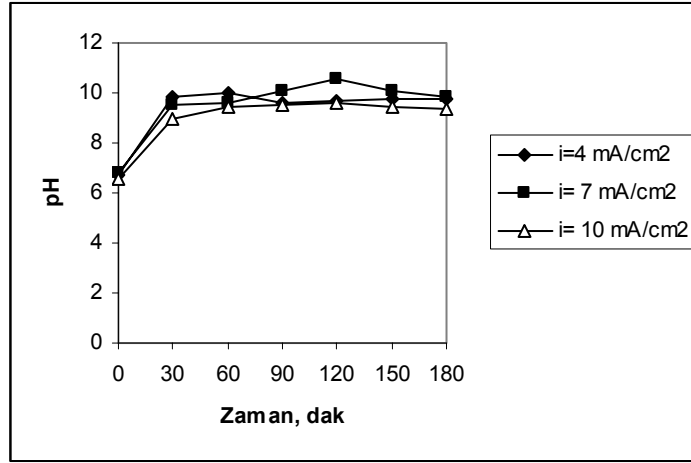
Şekil 11.31. % KOİ gideriminin akım yoğunluğuna bağlı olarak zamanla değişimi
(0,2M Na₂SO₄, V= 300 mL, Q=59,4 mL/dak.)



Şekil 11.32. Enerji tüketiminin akım yoğunluğuna bağlı olarak zamanla değişimi
(0,2M Na₂SO₄, V= 300 mL, Q=59,4 mL/dak.)



Şekil 11.33. Akım veriminin akım yoğunluğuna bağlı olarak zamanla değişimi
(0,2M Na₂SO₄, V= 300 mL, Q=59,4 mL/dak,)



Şekil 11.34. pH'nin akım yoğunluğuna bağlı olarak zamanla değişimi
(0,2M Na₂SO₄, V= 300 mL, Q=59,4 mL/dak,)

Şeker fabrikası atıksuyu için farklı akış hızlarının (37,5, 47,5 ve 59,4 mL/dak) etkisini incelemek amacıyla, atıksu, 10 mA/cm² akım yoğunluğunda, 0,2 M Na₂SO₄ destek elektrolit derişiminde, 3 saat süreyle elektroliz edilmiş ve 30 dakikalık zaman dilimlerinde örnek alınarak KOİ analizleri yapılmıştır. Yapılan deney sonuçları Çizelge 11.30-11.32'de verilmiştir. KOİ derişiminin, % KOİ gideriminin, enerji tüketiminin, akım veriminin ve pH'nın zamanla değişimi Şekil 11.35-11.39'da görülmektedir.

Çizelge 11.30. Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları

$i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,2\text{M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 59,4 \text{ mL/dak}$

| Zaman (dak) | Gerilim (V) | pH | T (°C) | KOİ (mg/L) | Giderim (%) | Enerji Tüketimi kWhm^{-3} | Enerji Tüketimi kWhg^{-1} | $k_m 10^{-5}$ m/s | Akım verimi % |
|-------------|-------------|------|--------|------------|-------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------|---------------|
| 0 | 235 | 6,59 | 12,7 | 1005,5 | - | - | - | - | - |
| 30 | 222 | 8,96 | 37,1 | 731,5 | 27,3 | 85,03 | 0,671 | 2,97 | 54,96 |
| 60 | 216 | 9,44 | 40,8 | 503 | 49,9 | 84,04 | 1,016 | 3,68 | 31,03 |
| 90 | 205 | 9,50 | 41,9 | 411,5 | 59,1 | 86,02 | 1,301 | 5,44 | 25,42 |
| 120 | 200 | 9,48 | 42,5 | 274 | 72,7 | 85,03 | 1,52 | 6,06 | 20,08 |
| 150 | 195 | 9,46 | 40,8 | 91,5 | 90,9 | 85,03 | 1,691 | 6,58 | 16,68 |
| 180 | 191 | 9,37 | 40,9 | 46 | 95,4 | 84,04 | 1,85 | 6,77 | 14,07 |

Çizelge 11.31. Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları

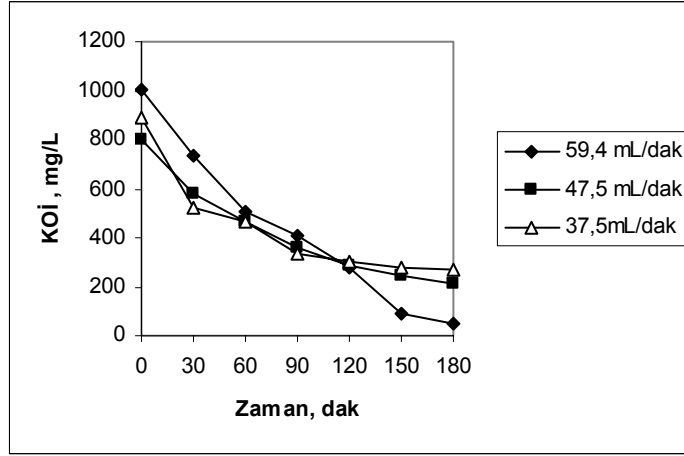
$i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,2\text{M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 47,5 \text{ mL/dak}$

| Zaman (dak) | Gerilim (V) | pH | T (°C) | KOİ (mg/L) | Giderim (%) | Enerji Tüketimi kWhm^{-3} | Enerji Tüketimi kWhg^{-1} | $k_m 10^{-5}$ m/s | Akım verimi % |
|-------------|-------------|------|--------|------------|-------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------|---------------|
| 0 | 178 | 6,55 | 8,5 | 800 | - | - | - | - | - |
| 30 | 156 | 8,64 | 39,6 | 577,8 | 27,8 | 77,12 | 0,248 | 2,42 | 48,86 |
| 60 | 154 | 8,94 | 41,7 | 462,2 | 42,2 | 76,13 | 0,426 | 3,68 | 31,03 |
| 90 | 149 | 9,20 | 40,9 | 355,6 | 55,6 | 73,66 | 0,564 | 5,15 | 24,75 |
| 120 | 150 | 9,29 | 41,4 | 284,4 | 64,4 | 74,16 | 0,687 | 6,4 | 20,59 |
| 150 | 150 | 9,29 | 43,4 | 248,9 | 68,9 | 74,16 | 0,803 | 7,15 | 17,29 |
| 180 | 153 | 9,33 | 42,5 | 213,3 | 73,3 | 75,64 | 0,915 | 8,02 | 15,08 |

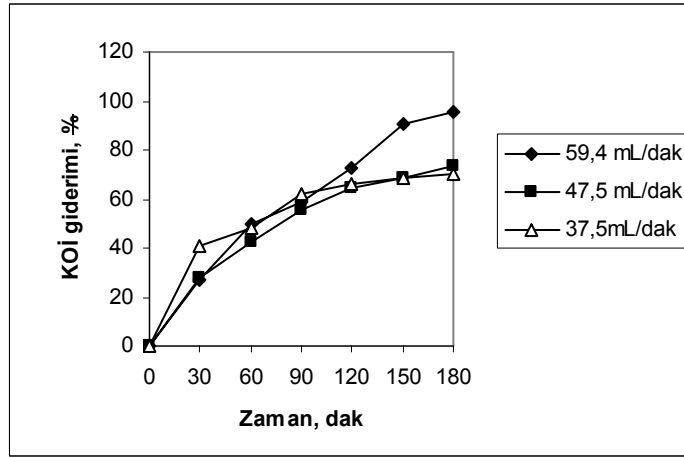
Çizelge 11.32. Elektrokimyasal yükseltgeme çalışma sonuçları

$i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,2\text{M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$, $Q = 37,5 \text{ mL/dak}$

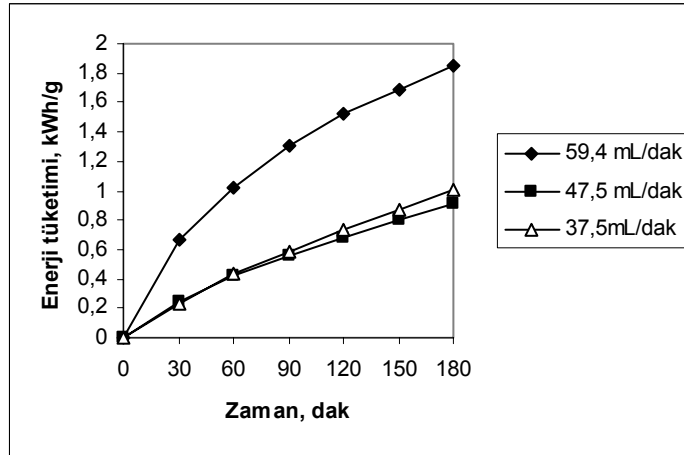
| Zaman (dak) | Gerilim (V) | pH | T (°C) | KOİ (mg/L) | Giderim (%) | Enerji Tüketimi kWhm^{-3} | Enerji Tüketimi kWhg^{-1} | $k_m 10^{-5}$ m/s | Akım verimi % |
|-------------|-------------|------|--------|------------|-------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------|---------------|
| 0 | 190 | 6,70 | 9,7 | 889 | - | - | - | - | - |
| 30 | 172 | 8,79 | 41,5 | 524,4 | 41,01 | 183,8 | 0,233 | 1,13 | 31,3 |
| 60 | 170 | 9,76 | 39,7 | 462,2 | 48,01 | 173,7 | 0,43 | 2,46 | 28,7 |
| 90 | 174 | 9,31 | 43,9 | 337,8 | 62 | 169 | 0,586 | 3,17 | 22,62 |
| 120 | 172 | 9,30 | 42,9 | 302,2 | 66 | 160,4 | 0,731 | 4,62 | 20,89 |
| 150 | 172 | 9,28 | 43,1 | 275,6 | 68,9 | 156,4 | 0,87 | 8,51 | 20,88 |
| 180 | 170 | 9,53 | 42,5 | 266,7 | 70 | 152,5 | 1,005 | 11 | 18,27 |



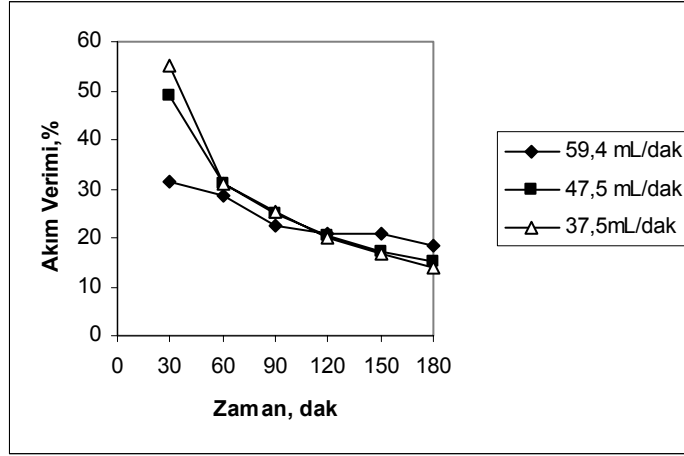
Şekil 11.35. KOİ derişiminin akış hızına bağı olarak zamanla değişimi
($i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,2\text{M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$)



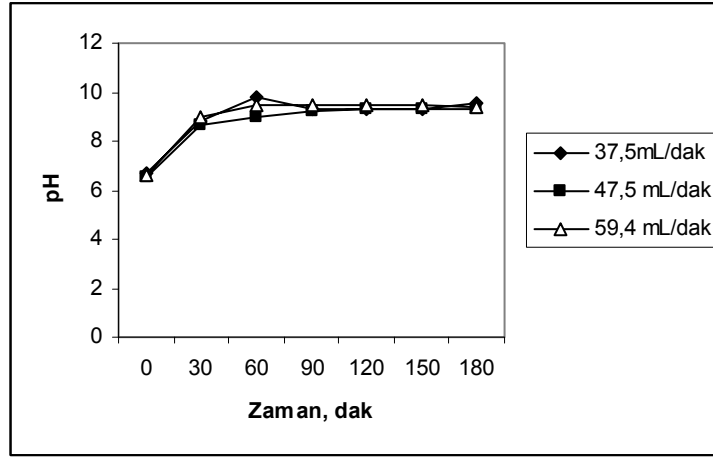
Şekil 11.36 % KOİ gideriminin akış hızına bağı olarak zamanla değişimi
($i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,2\text{M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$)



Şekil 11.37 Enerji Tüketiminin akış hızına bağı olarak zamanla değişimi
($i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,2\text{M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$)



Şekil 11.38. Akım veriminin akış hızına bağlı olarak zamanla değişimi
($i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,2\text{M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$)



Şekil 11.39. pH'nin akış hızına bağlı olarak zamanla değişimi
($i = 10 \text{ mA/cm}^2$, $0,2\text{M Na}_2\text{SO}_4$, $V = 300 \text{ mL}$)

12. BULGULARIN TARTIŞILMASI

Alkol fabrikası atıksuyu için yapılan elektrokimyasal yükseltgeme çalışmalarında, çalışma sıcaklığı, akım yoğunluğu, pH, destek elektrolit derişimi ve akış hızı, şeker fabrikası atıksuları için ise destek elektrolit derişimi, akım yoğunluğu ve akış hızının KOİ giderim verimine etkisi araştırılmıştır.

Alkol fabrikası atıksuyu için çalışma sıcaklığının etkisi 30, 40 ve 50°C' de gerçekleştirilen deneylerle incelenmiş ve elektrokimyasal yükseltgemedeki sıcaklığın KOİ gideriminde önemli ölçüde etkili olduğu gözlenmiştir. En iyi KOİ giderimi 40°C sıcaklıkta % 96,8 olarak gerçekleştirilmiştir.

Akım yoğunluğunun elektrokimyasal yükseltgemeye etkisi ise alkol fabrikası atıksuyu için 6, 8, 10 mA/cm², şeker fabrikası atık suyu için ise 4, 7 ve 10 mA/cm² olarak denenmiş ve akım yoğunluğu artıkça KOİ gideriminin beklendiği gibi her iki atıksu için de artığı gözlenmiştir.

Alkol fabrikası atıksuyunun arıtımına pH' ın etkisini araştırmak için deneyler sabit pH değerlerinde tekrarlanmış ve en iyi arıtımın öncelikle orijinal pH' ta(deney sırasında pH'a müdahale olmadan), daha sonra pH=9' da gerçekleştiği görülmüştür.

Alkol fabrikası atıksuyu için 4 farklı, şeker fabrikası atıksuyu için 5 farklı destek elektrolit derişimi için yapılan deneylerde, belirli bir değerden sonra destek elektrolit miktarını artırmanın bir önemi olmadığı ve en iyi giderimin gerçekleştirildiği destek elektrolit derişiminin alkol fabrikası atıksuyu için 0,3 M Na₂SO₄, şeker fabrikası atıksuyu için 0,2 M Na₂SO₄ olduğu belirlenmiştir.

Akış hızının giderim verimine etkisi, her iki atıksu için 3 farklı akış hızı denenerek araştırılmış ve akış hızının artışı ile KOİ giderim veriminin arttığı görülmüştür.

13. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, tıkaç akım reaktörde elmas elektrotlar kullanılarak elektrokimyasal yükseltgeme ile şeker endüstrisi atıksularının arıtımı araştırılmıştır.

Alkol fabrikası atıksuları ile yapılan çalışmalarda %96,8 KOİ giderimi sağlanmıştır. En iyi giderimin 10 mA/cm² akım yoğunluğu, 0,3 M Na₂SO₄ destek elektrolit derişimi ve 59,4 mL/dak akış hızında gerçekleştiği görülmüştür.

Şeker fabrikası atıksuyu ile yapılan çalışmalarda ise %95,4 KOİ giderimi sağlanmış ve en iyi giderimin 10 mA/cm² akım yoğunluğu, 0,2 M Na₂SO₄ destek elektrolit derişimi ve 59,4 mL/dak akış hızında gerçekleştiği görülmüştür.

Bu çalışmalar sonucunda belirli bir değerden sonra destek elektrolit miktarını artırmanın bir önemi olmadığı belirlenmiştir.

Ayrıca yapılan çalışmalar sonucunda şeker endüstrisi atıksuları için elektroyükseltgemenin KOİ gideriminde etkin bir arıtım yöntemi olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Bogliolo, M. Bottino, A., Capannelli, G. De Petro, M. Servida, A. Pezzi, G. ve Valini, G. (1996), *Clean water recycle in sugar extraction process: Performance analysis of reverse osmosis in the treatment of sugar beet pres water*, Desalination, 108, 261-271.
- Çınar, H. (2001), *Endüstriyel Atıksuların Özellikleri ve Arıtılması*, Lisans Bitirme tezi, 54-70, Eskişehir.
- Erdinç, Z. (2000), “*Şeker Pancarı Ziraatı İle Şeker Sanayii'nin Ekonomik Gelişmeye Etkileri*”, Anadolu Üniversitesi Yayınları, Eskişehir.
- Esad, B. (1958), “*Türkiye Şeker Sanayinin Dünü, Bugünü Ve Yarını*”, Türkiye Şeker Fabrikaları, Ankara.
- Filibeli, A. ve Büyükkamacı, M.. (2002), *Karasuyun Anaerobik Yöntemlerle Arıtılabilirliğinin Değerlendirilmesi, I.Zeytinyağı Üretiminde Çevre Sorunları ve Çözümleri Uluslar arası Çalıştayı Bildiriler Kitabı*, 67-77, Balıkesir.
- Geerdes, Thomas (1966), “*Ana Besin Maddelerinden Şeker ve Tarihi*”, Türkiye Şeker Fabrikaları, Ankara.
- Grimm, J.H., Bessarabov, D.G., Simon, U. ve Sanderson, R.D. (2000), *Characterization Of Doped Tin Dioxide Anodes Prepared By A Sol-Gel Technique And Their Application in An Spe Reactor*, Journal Of Applied Electrochemistry, 30, 293-302.
- Gürel, C. (2006), *Tekstil atıksularından boyar maddelerin Elektrokimyasal Yükseltgeme ile giderimi*, Yüksek Lisans Tezi, 31-32, Eskişehir.
- http-1 : Pancar İşleme Kapasiteleri 2004
<http://www.turkseker.gov.tr/istatistikler>
- http-2 : Elektrokoagülasyon
<http://www.cevremuhendisleri.com/articles.asp?process=2&procid=8&page=1>
- http-3 : Diamond Electrodes For Electrochemistry,
http://www.csem.ch/detailed/b_441-diam-electrodes.html

- İnan, H., Şimşek, H., Karpuzcu, M. ve Domigla, A. (2002), *Elektrokimyasal Yöntemler ile Zeytin Yağı Endüstrisi Karasuyunun Arıtılabilirliği, I.Zeytinyağı Üretiminde Çevre Sorunları ve Çözümleri Uluslar arası Çalıştayı Bildiriler Kitabı*, 165-178, Balıkesir.
- Jimenez, Antonia M., Borja Rafael, Martin Antonio (2003), *Aerobic-anaerobic biodegradation of beet molasses alcoholic fermentation wastewater*, Process Biochemistry, 38, 1275-1284.
- Kraft, A., Stadelmann, M. ve Blaschke, M. (2003), *Anodic oxidation with doped diamond electrodes: a new advanced oxidation process*, Journal of Hazardous Materials, B103, 247-260.
- Pena, M., Coca, M., Gonzalez, G., Rioja, R., Garcia M.T. (2003), *Chemical oxidation of wastewater from molasses fermentation with ozone*, Chemosphere, 51, 893-900.
- Pancar, (1991) “*Üç Aylık 1.Tarım–Türkiye–Sürelî Yayınlar*”, Türkiye Şeker Fabrikaları, Ankara.
- Ramjeawon, T. (2000), *Cleaner production in Mauritian cane-sugar factories*, Journal of Cleaner Production , 8, 503D510.
- Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği (3 Şubat. 2005).
- Tahar, N. B. ve Savall, A. (1999), *Electrochemical Degradation of Phenol in Aqueous Solution on Bismuth doped Lead Dioxide: A Comparison of The Activities of Various electrode Formulations*, Journal of Applied Electrochemistry, 29, 277-283.
- Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş. Yayınları (2003), *Cumhuriyetin 80. Yılında Türk Şeker Sanayi*”, No.221, Ankara.
- Üçok, O., Akıncı, Minci ve Diğerleri (1973), “*Cumhuriyetimizin 50.Yılında Şeker Sanayimiz*”, Sf.13, Ankara.
- Veldet, T. (1965), “*Vücudumuzun En Önemli, En Tatlı, En Saf, En Ucuz Kuvvet Kaynağı Şekerdir*”, Pancar Dergisi, S.159, Sf.3, 15 Aralık.
- Veldet, T., (1958) “*30. Yılında Türkiye Şeker Sanayi*”, Türkiye Şeker Fabrikaları, Ankara.

- Vlyssides, A. G., Israilides, C. J., Lozizidou, M., Karvouni G., ve Mourafeti, V. (1997), *Electrochemical treatment of vinasse from beet molasses*, Water Science Tech. Vol.36, No.2-3, pp 271-278.
- Whalley, H.C.S. De. (1969), “*International Commission For Uniform Methods Of Sugar Analysis*”, Çeviren, Perihan Güray, Ankara.
- Yavuz, Y.(1998), *Tekstil Atıksularından Boyar Maddelerin Elektroadsorpsiyonla Giderimi, Yüksek Lisans Tezi*, 12-24, Eskişehir.
- Zeytinoğlu, E. (1964), “*Türkiye’deki Şeker Endüstrisi*”, İstanbul.

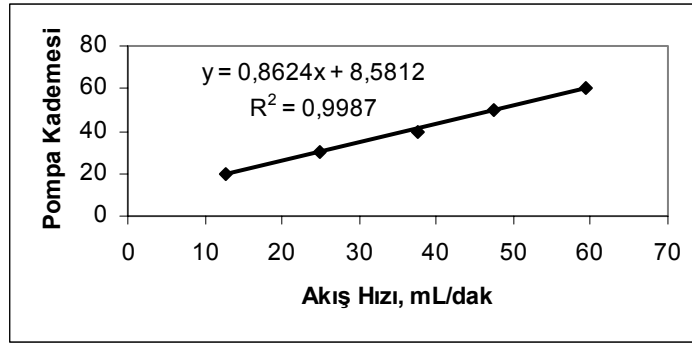
PERİSTALTİK POMPA KALİBRASYONU

EK.1.1 Peristaltik Pompa Kalibrasyonu

Değişik kademelere ayrılmış peristaltik pompadan belli zaman aralıklarında geçen çözelti hacimleri kaydedilmiş ve bu değerler grafiğe geçirilerek standart çalışma doğrusu elde edilmiştir.(Şekil EK1.1)

ÇizelgeEK1.1. Peristaltik pompa kalibrasyonunda kullanılan veriler

| Kademe | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|------------------------|-------|----|------|------|------|
| Akış Hızı (mL/dak) | 12,75 | 25 | 37,5 | 47,5 | 59,4 |



Şekil EK1.1. Peristaltik pompa için standart çalışma doğrusu

ÖRNEK HESAPLAMALAR

Örnek hesaplamalarda, Çizelge 11.3'de yer alan deneysel çalışma sonuçlarının verileri kullanılmıştır.

EK 2.1 Yüzde Giderim

Yüzde giderim eşitlik (10.1) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\%Giderim = \frac{(C_0 - C)}{C_0} 100$$

$$\%Giderim = \frac{(4500 - 513)}{4500} 100 = \%88,6$$

EK 2.2. Enerji Tüketimi

Enerji tüketimi (10.3-10.4) eşitlikleri yardımıyla hesaplanmıştır.

$$(kWhm^{-3}) = \frac{I.V}{Q.1000} = \frac{1,76A.225V}{0,0036.m^3 / h.1000} = 111,24$$

$$(kWhg^{-1}) = \frac{I.V}{(C_0 - C).Q.1000}$$

$$= \frac{1,76A.225V}{(4500-513)mg / L.0,0036m^3 / h.1000} = 0,0279$$

EK 2.3. Kütle Aktarım Katsayısı

Kütle Aktarım Katsayısı (10.4) eşitliği yardımıyla hesaplanmıştır.

$$k_m = \frac{-9,9.10^{-7} m^3 / sn}{176.10^{-4} m^2} \ln\left(\frac{513}{4500}\right) = 1,2.10^{-4}$$

EK 2.4. Akım Verimi

Akım Verimi (10.5) eşitliği yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\begin{aligned} \text{Akım verimi} &= \frac{V.(C_0 - C).2F}{16.I.t} \\ &= \frac{0,3L.(4500 - 513mg/L).296500As}{1000.16.1,76A.180dk.60s/1dk} = 0,76 \end{aligned}$$

$$= \%76$$

İKİ KUTUPLU REAKTÖRÜN ANOT YÜZEY ALANI HESABI

EK 3. Anot Yüzey Alanı Hesabı

Anot, 0,8 cm yüksekliğindeki bir elektrodun yarısıdır. Elektrodun yüzey alanı, dış ve iç yanal yüzeylerin toplamına eşittir.

$$\text{Elektrodun dış yüzey alanı} = \frac{D_L}{2} D_d \pi$$

$$\text{Elektrodun iç yüzey alanı} = \frac{D_L}{2} D_e \pi$$

Bir elektrodun yüzey alanı =

$$\frac{D_L}{2} D_d \pi + \frac{D_L}{2} D_e \pi = \frac{0,8}{2} 0,8 \pi + \frac{0,8}{2} 0,55 \pi = 1,696 \text{ cm}^2$$

$$\text{Toplam anot yüzey alanı} = 1,696 \text{ cm}^2 \times 26 \times 4 = 176,43 \text{ cm}^2 = 176,43 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$