

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

İLERİ BİYOLOJİK ARITMA TESİSİ ÇAMURLARININ
MEZOFİLİK ANAEROBİK ÇÜRÜTÜLMESİ ÜZERİNE BİR
ARAŞTIRMA

İnş.Yük.Müh.Osman ÜÇÜNCÜ

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"Doktor"
Ünvanının Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Haziran - 1994
TRABZON

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

İLERİ BİYOLOJİK ARITMA TESİSİ ÇAMURLARININ
MEZOFİLİK ANAEROBİK ÇÜRÜTÜLMESİ ÜZERİNE BİR
ARAŞTIRMA

İnş.Yük.Müh. Osman ÜÇÜNCÜ

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"Doktor"
Ünvanının Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih :10.06.1994

Tezin Savunma Tarihi :29.08.1994

Tez Danışmanı : Doç.Dr.Ali KALENDER

Jüri Üyesi : Doç.Dr.İzzet ÖZTÜRK

Jüri Üyesi : Prof.Dr.Mehmet BERKÜN

Enstitü Müdürü : Prof.Dr. Temel SAVAŞKAN

Mayıs - 1994
TRABZON

ÖNSÖZ

Bu çalışmada yararlanılan veriler Chemnitz-Heinersdorf atıksu tesisinin büyütülmesi için yapılmış çeşitli çalışmalardan elde edilmiştir. Bu çalışmalar esnasında yakın ilgisini gördüğüm Dr. Lange'ye ve tesisin çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Bana F.Almanya'da bu imkanı sağlayan Prof.Dr.Uhlmann'a özellikle teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bana her türlü desteği sağlayan, değerli görüşlerinden çok faydalandığım saygı değer hocam Doç.Dr.İzzet ÖZTÜRK'e teşekkür ediyorum.

Tez çalışmaları öncesi ve esnasında bana yardımcı olan tez danışmanı hocam Doç.Dr.Ali KALENDER'e teşekkür ederim.

Trabzon, Haziran 1994

Osman ÜÇÜNCÜ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
SEMBOLLER.....	V
ŞEKİL LİSTESİ.....	VI
TABLO LİSTESİ.....	VII
ÖZET.....	X
SUMMARY.....	XI
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
1.1. Genel.....	1
1.2. Konunun Anlam ve Önemi.....	1
1.3. Çalışmanın Amaç ve Kapsam.....	2
BÖLÜM 2. ANAEROBİK PROSESLER.....	4
2.1. Genel.....	4
2.2. Anaerobik Proseslerin Tarihçesi.....	8
2.3. İşletmeye Alma ve Anaerob Prosesleri Etkileyen Çevre Faktörleri.....	10
2.4. Anaerobik Arıtmada Reaksiyon Kinetiğinin Temelleri.....	13
BÖLÜM 3. TEMEL BİYOKİMYASAL ESASLAR.....	17
3.1. Anaerobik Ayrışmanın Esas Reaksiyonları.....	17
3.1.1. Karbonhidratların Ayrışması.....	17
3.1.2. Yağların Anaerobik Ayrışması.....	21
3.1.3. Proteinlerin Ayrışması.....	23
3.1.4. Asit Oluşum Fazı Nihai Ürünlerinin Ayrışması	24
3.2. Anaerobik Proseslerin Mikroorganizma Florası...	26
3.2.1. Asit Fazının Mikroorganizmaları.....	26
3.2.2. Metan Fazının Mikroorganizmaları.....	27
BÖLÜM 4. TEK KADEMELİ YÜKSEK HIZLI ÇAMUR ÇÜRÜTME SİSTEMİ..	30
4.1. Genel.....	30
4.2. Tek Kademeli Çürütmenin Reaksiyon Kinetiği.....	36

BÖLÜM 5. KAPİLER EMME SÜRESİ (CST) İLE FİLTRE EDİLEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ.....	39
5.1. Genel.....	39
5.2. Kapiler Emme Süresi (CST).....	40
BÖLÜM 6. MODEL TESİS ÇALIŞMASI VE DENEYSEL ÇALIŞMA PLANI..	45
6.1. Genel.....	45
6.2. Çamurların Alındığı Merkezi Arıtma Tesisinin Tanımı.....	45
6.2.1. Ön Çalışmalar.....	46
6.3. Modelin Kurulması.....	54
6.3.1. Model Ölçeğinin Seçilmesi.....	54
6.4. Deneysel Çalışma Planı.....	54
BÖLÜM 7. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI.....	57
7.1. Genel.....	57
7.2. Merkezi Arıtma Tesisinin Çalışmalar Sırasındaki Durumu.....	57
7.3. Anaerobik Çürütme Deneyleri	58
7.3.1. Birincil (Primer) Çamurla Yapılan Çürütme Deneyleri.....	58
7.3.2. Primer Çamur ve Biyolojik Çamur Karışımı ile Yapılan Deneyler.....	60
7.3.3. Biyolojik Aktif Çamurla Yapılan Deneyler...	60
BÖLÜM 8. ELDE EDİLEN SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	71
8.1. Genel.....	71
8.2. Organik Madde Giderimi.....	71
8.3. Biyogaz Üretimi ve Bileşimi.....	73
8.4. pH ve Organik Asitler.....	74
8.5. Kapiler Emme Süresi Bakımından Değerlendirme...	78
8.6. Çürümüş Çamur Suyu Özellikleri.....	80
BÖLÜM 9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	83
KAYNAKLAR.....	85
EKLER.....	90
ÖZGEÇMİŞ.....	

SEMBOL LİSTESİ

Sembol	Birim	Açıklama
TKN		Toplam Kjeldahl azotu
TP		Toplam Fosfor
NH ₄ -N		Amonyak Azotu
BOİ ₅	(mg/l)	Biokimyasal Oksijen ihtiyacı
KOİ	(mg/l)	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
CST	(sn)	Kapılar Emme Süresi
CO ₂		Karbondioksit
CH ₄		Metan
O ₂		Oksijen
μ	(gün ⁻¹)	Spesifik Çoğalma Hızı
S	(mg/l)	Besin Konsantrasyonu
KM		Katı Madde
UKM		Uçucu Katı Madde
IKM		Inorganik Katı Madde
AOX		Klorlu Organik Bileşikler
PÇ		Primer Çamur
BÇ		Biyolojik Çamur
PÇ/BÇ		Karışık Çamur
R		Reaktör

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.	Kaltwasser'e göre sıcaklığın çürütme süresine etkisi.....	12
Şekil 2.	Kaltwasser ve Schlegel'e göre bakteri çoğalma fazları.....	14
Şekil 3.	Monod-Fonksiyonunun grafik gösterilmesi.....	15
Şekil 4.	Atıksu çamuru için ayrışma şeması KOI cinsinden stömetrik madde akımı % lik olarak gösterilmesi.	18
Şekil 5.	Nişasta molekülü.....	19
Şekil 6.	Bryant'a göre karbonhidratların kademeli olarak tam ayrışması.....	19
Şekil 7.	Sixt'e göre glikozun pyruvat ve gliserine ayrışması.....	20
Şekil 8.	Pyruvatın en önemli ayrışma yolu akış şeması....	21
Şekil 9.	Yağların anaerobik ayrışması.....	22
Şekil 10.	Metan oluşumunun şematik akışı.....	25
Şekil 11.	Sıcaklığın gaz üretimine tesiri.....	32
Şekil 12.	Organik asit konsantrasyonunun gaz üretimine tesiri.....	32
Şekil 13.	Katı madde yüzdesinin gaz üretimine tesiri.....	33
Şekil 14.	Fair ve Moor'e göre gaz üretimi.....	34
Şekil 15.	Tek fazlı bir reaktörde akış durumu.....	
Şekil 16.	CST ölçümü için iki değişik arıtma çamuru kutuları.....	43
Şekil 17.	Kapılar emme süresi ölçüm aletinin (CST) şematik görüntüsü.....	44
Şekil 18.	Chemnitz/Heinersdorf arıtma tesisi şematik planı.	48
Şekil 19.	Atıksu tesisinin ön çökeltim havuzundan primer çamurun çekilip alınması.....	49
Şekil 20.	Atıksu tasfiye tesisinin mekanik kısmından bir görünüm.....	50
Şekil 21.	Biyolojik aktif çamurun alındığı tesisten bir görünüm.....	50
Şekil 22.	Reaktörlerden genel bir görünüş.....	52

Şekil 23. Çürütme gazı (biyogaz) ölçüm kılıfları.....	53
Şekil 24. Model çürütme tesisinin şematik bir görüntüsü...	55
Şekil 25. Primer çamurun anaerobik mezofilik çürütülmesinde KOİ ve BOİ giderimlerinin zamana göre değişimi.	59
Şekil 26. Primer çamurun anaerobik mezofilik çürütmesinde KM gideriminin zamana göre değişimi.....	61
Şekil 27. Primer çamur için Biyogazda CH ₄ ve CO ₂ oranları- nın zamanla değişimi.....	61
Şekil 28. Primer çamur reaktöründe biyogaz miktarlarının zamanla değişimi.....	62
Şekil 29. Primer çamurun anaerobik mezofilik çürütülmesinde KM-KOİ giderimi ilişkisi.....	62
Şekil 30. Primer çamurun anaerobik mezofilik çürütmesinde KM-BOİ ₅ giderimi ilişkisi.....	63
Şekil 31. İki no'lu reaktörde KOİ ve BOİ ₅ Giderimin Değişimi.....	63
Şekil 32. İki No'lu reaktörde KM ve KOİ giderimi ilişkisi.	64
Şekil 33. İki No'lu reaktörde KM ve BOİ ₅ giderimi ilişkisi	64
Şekil 34. İki No'lu reaktörde biyogazında CH ₄ ve CO ₂ yüzdelerinin değişimi.....	65
Şekil 35. İki No'lu reaktörde biogaz üretiminin değişimi..	65
Şekil 36. Üç No'lu reaktörde KOİ ve BOİ ₅ giderimlerinin zamanla değişimi.....	65
Şekil 37. KM'nin zamana göre dağılımı.....	66
Şekil 38. Üç No'lu reaktörde KM ve KOİ giderimi ilişkisi..	66
Şekil 39. Üç No'lu reaktörde KM ve BOİ ₅ giderimi ilişkisi..	67
Şekil 40. Üç No'lu reaktörün biyogazında CH ₄ ve CO ₂ yüzde- lerinin değişimi.....	67
Şekil 41. Üç No'lu reaktörde biyogazın üretimin değişimi..	68
Şekil 42. KM'nin zamanla değişimi.....	68
Şekil 43. Anaerobik çürütmede çamur KM oranı KM giderimi ilişkisi.....	69
Şekil 44. Reaktörlerde KM gideriminin zamanla değişimi....	69
Şekil 45. Reaktörlerde üretilen biyogaz miktarlarının zamanla değişimi.....	70
Şekil 46. Sıcaklığa bağlı olarak spesifik gaz miktarı.....	73
Şekil 47. Reaktörlerin biyogazında CH ₄ oranının zamanla değişimi.....	75

Şekil 48. Reaktörlerin biyogazında CO ₂ oranının zamanla değişimi.....	76
Şekil 49. Anaerobik mezofilik çürütme işlemi süresince ham çamur pH değeri ve çürütme çamuru pH değeri arasındaki bağıntı.....	76
Şekil 50. Organik asitlerin çürüme süresi boyunca değişimi	77
Şekil 51. CST ölçüm cihazının görüntüsü.....	78
Şekil 52. CST cihazıyla yapılan ölçüm.....	79
Şekil 53. Atık çamur ve çürümüş atık çamurlarında ortalama CST (sn) değerleri.....	79
Şekil 54. Çürütme çamur suyunda KOİ'nin zamanla değişimi..	80
Şekil 55. Çürütme çamur suyunda BOİ ₅ 'nin zamanla değişimi..	81
Şekil 56. Anaerobik mezofilik çürütmeden çıkan çamur suyunda zamanla NH ₄ -N değişimi.....	81
Şekil 57. Çürütme çamur suyunda TKN (Toplam Azot)'un zamanla değişimi.....	82
Şekil 58. Anaerobik mezofilik ortamda çürümüş çamur suyunda TP (Toplam fosfor)'nin zamanla değişimi.....	82

TABLO LİSTESİ

	SAYFA
Tablo 1. Aerobik ve anaerobik ayrışma proseslerinin Karşılaştırılması.....	7
Tablo 2. Teorien ve Hattingh'e göre metan üretmeyen fazın önemli bakterileri.....	28
Tablo 3. Teorien'e göre metan bakteri çeşit ve cinsleri	28
Tablo 4. Tek fazlı çürümeye organik madde cinsine bağlı olarak literatür değerleri.....	35
Tablo 5. Tek kademeli çamur çürütücü tasarım parametreleri.....	36
Tablo 6. Kullanılan CST-Kağıdının özellikleri.....	42
Tablo 7. CST ölçü aletinin ebatları.....	43
Tablo 8. Topluca deneyler ölçme noktaları, ölçme sıklığı ve yöntemi.....	56
Tablo 9. Giriş ve çıkış atıksuyu Özellikleri.....	58
Tablo 10. Biyolojik tesisin işletme şartları.....	71
Tablo 11. Çürüme sonrası reaktörlerde çamur özellikleri ve giderim verimleri.....	72
Tablo 12. Reaktörlerdeki gaz miktarı ve içerikleri (Parantez içerisindeki değerler literatürde verilen değerlerdir).....	74
Tablo 13. Reaktörlerin giriş ve çıkış çamuru pH-değerleri.....	75
Tablo 14. Reaktörlerdeki organik asit değerleri (mg H _{AC} /lt olarak).....	77

ÖZET

İleri Biyolojik Arıtma Tesisi Çamurlarının Mezofilik Çürütülmesi Üzerine Bir Araştırma.

Bu çalışmada Chemnitz-Heinersdorf atıksu tesisinin ileri kademe atıksu tasviye tesisine dönüştürülmesi için yapılmış büyük bir deneme tesisinde (Biyolojik Azot ve Fosfor Giderimi) elde edilen biyolojik fazla çamurun, bu çamurlu mekanik tasfiyeden kazanılan birincil (primer) çamurun karışımının ve primer çamurun ayrı olarak mezofilik anaerobik bir ortamda çürütülebilirliği ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Bu çalışma dokuz bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölümde, konunun anlam ve önemi ile çalışmanın amaç ve kapsamı açıklanmıştır. İkinci bölümde, anaerobik arıtma prosesleri ve bu proseslerin reaksiyon kinetiğinin temelleri ile anaerobik prosesleri etkileyen çevre faktörleri incelenmiştir. Üçüncü bölümde karbonhidratlar, yağlar ve proteinlerin anaerobik ayrışması hakkında bilgiler verilerek anaerobik proseslerin mikroorganizma florasında asit ve metan safhası mikroorganizmaları hakkında bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde, tek kademeli yüksek hızlı çamur çürütme sistemi tanıtılarak tek kademeli çürümenin reaksiyon kinetiği açıklanmıştır. Beşinci bölümde, kapiler emme süresi (CST) ölçümü ile çamurların filtre edilebilirlik özelliklerinin belirlenmesi hakkında bilgi verilmiştir. Altıncı bölümde, bu tez çerçevesinde yapılan tesis çalışması deneysel çalışma planı hakkında geniş bilgi sunulmuştur. Yedinci bölümde, bu çalışma kapsamında yapılmış deney sonuçlarının bir değerlendirilmesi yapılmıştır. Sekizinci bölümde, çalışma süresince elde edilen sonuçların bir değerlendirilmesi verilmiştir. Dokuzuncu bölümde ise, çalışma sonucu ulaşılan sonuçlar ve ileri çalışmalar için öneriler verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Arıtma Çamurları, Mezofilik Çürütme, Anaerobik Arıtma, Kapiler Emme Süresi (CST), Tek Kademeli Çürütme, Biyolojik Aktif Çamur, Birincil (Primer) Çamur, Karışık Çamur.

SUMMARY

An Investigation on the Mesophilic Anaerobic Digestion of Advanced Wastewater Treatment Plant Sludges.

This study is performed to improve Chemnitz-Heinersdorf Waste Water foundation.

The mixture of (primer) sludge which obtained from mechanic liquidation and low loaded biologic sludge is examined in a mezophilic anaerobic environment.

This study consists of nine chapters.

In first chapter, some information is presented about meaning and importance of the topic, the objective and contents of this study.

In second chapter, some information is given about anaerob processes and kinetic reaction fundamentals of these processes, environmental factors which effects anaerob processes.

In fourth chapter, some information is given about the introductory values and kinetic reaction of single degree sludge decay.

In fifth chapter, some information is given about measurement of CST.

In sixth chapter, Broad information is presented about model work.

In seventh chapter, the results of experiments in the content of this study is evaluated.

In eighth chapter, the comparison of results is given.

In ninth chapter, the results and recommendations are given.

Key words: Waste Water Sludge, Mezophilic Anaerobic Digestion, Capilar Section Time, Introductory Values, Biologic Sludge, Primer Sludge, Primer Sludge/Biologic Sludge.

1. GİRİŞ

1.1. Genel

Yüzey ve yeraltı sularının korunması konusunda artan talepler nedeniyle, atıksu arıtma tesislerinden çıkan arıtılmış sularla ilgili deşarj standartlarının sıkılaştırılması sonucu bu tesislerin daha da geliştirilmeleri ve iyileştirilmelerini gerektirmiş ve bunun sonucunda arıtma çamurlarının ekonomik ve ekolojik açıdan en akılcı biçimde kullanılması gerekir. Arıtma çamurlarının zirai maksatlı kullanılması halinde bünyesindeki ağır metaller nedeniyle toprağı olumsuz yönde etkileyebilir.

Atıksuların anaerobik tasfiyesi yoluyla çevreye olan zararlı tesirlerin önlenmesi alanında çok sayıda araştırmalar yapılmışsa da, konudaki çalışmalar halen sona ermiş değildir. Atıksu arıtma çamurlarının havasız (anaerobik) stabilizasyonu çamurun çok kompleks yapısı dolayısıyla da ayrı bir önem taşır.

Bu çamurların yılların kazandırdığı tecrübe ve bilgi birikimi sonucu geliştirilen proseslerde yüksek hızlı arıtma sistemleri ile daha iyi arıtımı ve bu arada biyoenerji geri kazanımı mümkün olmaktadır.

1.2. Konunun Anlam ve Önemi

Anaerobik sistemlerindeki kararlı bir işletmenin proses kontrolü açısından mekanizması henüz tam olarak anlaşılmış değildir. Ayrıca bazı ticari düşünceler sebebiyle, elde edilen sonuçlar ve gelişmeler tam olarak yayınlanmamaktadır. Bu çalışma, havasız çamur arıtımı ile ilgili bilimsel ve teknolojik esasların daha iyi anlaşılması bakımından ülkemiz için önemlidir. Ülkemizde bu konu son zamanlarda tartışılmaya başlanmış fakat henüz yeterli ve kapsamlı bir teknolojik ve bilimsel çalışma yapılmamıştır. Bu konuda (özellikle katı atıklarla ilgili olarak) bazı çevre mevzuatı çıkarılmış, fakat henüz tam olarak uygulamaya geçilememiştir. Dört Eylül 1988 tarihli ve

Eylül 1988 tarihli ve 19919 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanan "Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğine" göre arıtma çamurları için getirilen kısıtlamalara ve uygulamalara Madde 6'da (F) bendin de, Madde 18'in (B) bendin de değinilmektedir. Fakat bunlar da daha ziyade depolama konusunda olup, bu yolla bertarafına değinilmiştir. Bunun dışında Madde 22'nin D, G, H ve I bendlerinde, Madde 23 ve Madde 26'nın D bendinde, çamurların alıcı ortama verilmeleri konularında, "akıcılığı kayboluncaya kadar suyu alınmış çamurların evsel katı atıklarla atık depolama alanına depolanması yasaktır" hükmü getirilmektedir.

Yine Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliğinin 40 ncı maddesinin geçici hükümler kısmında Geçici Madde 3'de "Arıtma Çamurlarının Analizi" başlığı altında arıtma çamurlarında yapılması istenen analizler belirtilmekte ve bu çamurların tarımda kullanılmasından önce belli analizlerin yaptırılması istenmektedir.

Bundan başka ülkemizde tarıma dayalı sanayi kolları atıksu çamurları bakımından da büyük bir potansiyele sahiptir. Bundan dolayı da bu konunun ehemniyeti daha da iyi anlaşılmaktadır. Şayet KOİ değeri 4000 mg/l'tyi aşarsa, oksijen limitasyonu dolayısıyla, havalı sistemler pratik olarak ekonomik olmaktan çıkmaktadır. Bu tür bir organik kirliliğin bulunduğu atıksu arıtma tesisi çamurları anaerobik bir çürütmeye tabii tutulursa hem CH₄ gibi yanıcı bir gaz elde edilir, hem de organiklerin büyük bir kısmı inorganik bir duruma geçerler.

Anaerobik çamur çürütme konusu, ülkemizde giderek yaygınlaşan arıtma tesislerinden çıkacak olan çamurların havasız ortamda stabilizasyonu konusunda öncülük etmesi gerekli laboratuvar düzeninin kurulması ve araştırmacı kadroların yetişmesi açısından da büyük önem taşımaktadır.

1.3. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Bu çalışmayla giderek fazlalaşan arıtma çamurlarının çevreye bırakılmadan (depolama) veya alıcı ortama verilmeden (deniz, göl, dere v.b.) önce mezofilik anaerobik bir ortamda arıtımı (stabilizasyonu) ile her geçen gün artan enerji tüketimi karşısında yeni bir enerji kaynağı olarak değerlendirilmesi ve

ekolojik kirliliğe meydan vermeyecek şekilde kullanımı hedeflenmiştir. Bu konu da memleketimizde henüz yeni başlamış benzer çalışmalara ve uygulamalara katkıda bulunulması düşünülmüştür. Daha da önemlisi, literatürde düşük hızlı (nötrüent gideren) biyolojik arıtma tesisinden çıkan fazla çamurların çürütülebilirliğinin gösterilmesidir.

Çalışmada gözetilen diğer bir hedef ise ham ve çürümüş çamurların filtre edilebilirlik özelliklerinin kapiler emme süresi ile belirlenmesi ve ayrıca çürütücü su fazının kirlilik yükünün ortaya konması olmuştur.

Çalışmanın kapsamı bu amaçlar doğrultusunda belirlenmiş ve ilk olarak bu konu ile ilgili olarak kaynak araştırması yapılmıştır. Buna paralel olarak, deneysel çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca giriş çamuru özellikleri birincil (primer) çamur, aktif çamur ve ikisinin 1:1 oranında karışımı incelenmiştir. Daha sonra Chemnitz-Heinersdorf/Almanya atıksu tesisi sahasında bir model anaerobik çürütücü kurulmuştur. Bunların yanında atıksu tesisi giriş ve çıkış suyu özellikleri ile işletme parametreleri incelenmiştir.

2. ANAEROBİK PROSESLER

2.1. Genel

Dünyamız üzerinde devamlı bir madde döngüsü ve enerji akımı bulunmaktadır. Organik maddeler ayrıştırıcı çeşitli mikroorganizmalar tarafından parçalanır ve daha küçük moleküllere, çoğu kez de mineral (inorganik) nihai ürünlere dönüşürler. Bu ürünlerden, üretici organizmalarca organik bileşikler ve yaşayan organizmada depolanır. Canlı hayatın bitmesinden sonra da bu depolanmış maddeler yeni canlılar için gıda olarak kullanılırlar ve böylece ekosistemdeki madde döngüsü çevrimi kapanır.

Hücrenin madde değişim süresi disimilasyon ve özümleme (asimilasyon) olarak tanımlanır. Disimilasyon yüksek moleküler bileşiklerin enerji kazanımı için basit maddelere parçalanmasıdır. Özümleme esnasında basit maddelerden yüksek yapıli bileşikler elde edilir. Tabiatın bütün prosesleri gibi asimilasyon ve disimilasyon hadiseleri de spesifik enerji şekillerine bağlıdır. Asimilasyon enerji tüketir, disimilasyon ise enerji açığa çıkarır. Bu iki proses birbirine çok sıkı bağlıdır. Bunlar, enerji veren yanma prosesleri ve birer oksidasyon olaylarıdır. Bu yanma olayı için gerekli oksijen ya serbest oksijen olarak atmosferde veya çözünmüş olarak su içerisinde ya da zemin içerisinde serbest olarak bulunur, veya bileşik olarak oksitler şeklinde mevcut olurlar.

Yüksek yapıli canlılar yalnızca serbest oksijeni kullanmayı ister. Onlar anaerobik bir şekilde hayatlarını sürdürürler. Alçak trofik kademe canlıları, bitkiler ve mikroorganizmalar diğerlerine karşın bileşik halde bulunan oksijeni kendi madde değişimi için kullanma imkanına sahiptirler. Bunlar serbest halde bulunan oksijene bağımlı değildirler ve anaerobiktirler. Bu tür canlılar havasız bir ortamda varlıklarını sürdürebilirler. Bu madde değişik olayları organik olarak kirlenmiş atıksuların biyolojik tasfiyesinde de kullanılır. Duruma

göre, oksijen takviyesi yapılarak (havalandırma) veya havasız şekillerde çalışılabilir. Böyle durumlarda aerobik ve anaerobik proses akışları arasında fark görülebilir. Aerobik ayrışma prosesi için karakteristik özellik ise çok büyük bir şekilde artan biyokitle büyümesi ve enerjice daha az madde değişim ürünleri, örneğin CO_2 , H_2O , nitrat ve fosfatlar şeklinde kendini gösterir. Bundan dolayı aerobik proseslerin oldukça anlamlı iki mahzuru ortaya çıkar. Bir diğer mahzur, biyokitle artması sonucu çok büyük miktarlarda çamur oluşumu ve bu çamurun daha sonra ayrıca arıtma gerektirmesidir. Çamur arıtmanın ilave bir mali külfeti vardır. Örneğin çamurun arıtılacağı tesislerin inşaatı ve işletme masrafları toplam arıtma sistemi maliyetinin çoğu kere % 50'sinden fazladır. Diğer mahzuru aerobik atıksu tasfiyesinin bir enerji tüketen proses olmasıdır. Organik maddelerin ayrışmasından kazanılan ve hücre (biyokitle) sentezinde kullanılan enerji ısı olarak atmosfere atılır ki doğrusu bu da kaybedilen bir enerjidir. Buna mukabil aerobik proseslerin avantajlı olan yönü, organik maddelerin çok hızlı olarak ayrışmasıdır.

Aerobik ayrışma hızının yüksek oluşu reaksiyon sürelerini kısaltır ve buna bağlı olarak arıtma tesislerinin hacimlerinin küçülmesine yol açar. Diğer önemli bir faktör aerobik arıtma sistemlerinin tamamen kokusuz olmasıdır. Önemli bir mahzur ise, oksijen verilmesinin zorunlu olmasıdır. Atıksu içerisindeki tabii oksijen miktarının yeterli olmayışı, yolda azalması (kanalizasyonda çürüme prosesleri meydana gelebilir) dolayısıyla, tasfiye hızının artırılması için ortama oksijen verilmesi gerekmektedir. Normal durumda bu bazen zor, ayrıca genelde çok külfetli ve pahalıdır. Esasen saf oksijen verilmesidir, ancak bu pahalı olduğundan onun yerine havalandırma yapılır. Günümüzde kullanılan sistemlerin oksijen temin kapasiteleri çok düşük olup, havalandırma enerji masrafı büyüktür.

Anaerobik ayrışma prosesleri, sarfedilen toplam enerji bakımından daha uygun bir durum gösterirler. Anaerobik proses'te asimilasyon fazı aerobik ayrışmadakinden çok daha az kendini gösterir. Bunun neticesinde daha az bir biyokitle (çamur) gerçekleşir. Bu biyokitle üretimi reaktör içerisinde

uygun bekletme sürelerinde ancak, sistemden çıkan kayıpları dengeleyebilecek seviyede olmaktadır.

Böylece fazla çamurun arıtma problemleri çok az olur. Yüksek yapılı (kompleks) organik maddelerin anaerobik ayrışması sonucu daha basit ürünler oluşur. Yukarıda da değinildiği gibi aerobik prosesler enerji harcanır veya açığa çıkar ve bunun sonucu enerjice daha fakir nihai ürünler oluşur. Buna mukabil anaerobik prosesler de bir tür enerji şekil değiştirmesi sözkonusudur.

Biyokitle sentezine harcanmayan enerji yanabilen gaz olan CH_4 şekline dönüşür. Yani ısı kaynağında metan halinde tutulur. Bu çürütme gazı yaklaşık % 70 CH_4 ile % 30 CO_2 ve diğer gazların karışımı olup herhangi bir maksatla kullanmak üzere depo edilir. Bu gaz ısıtma gazı olarak çok değerlidir.

Biyogazın ısı değeri yaklaşık 23000 kJ/m^3 civarında olup metan miktarına bağlıdır. Buna karşılık şehir gazı 16750 kJ/m^3 gibi bir ısı değerine sahiptir. Biyogaz anaerobik arıtmanın kullanılabilir nihai bir ürünü değildir. Çürümüş çamur azot ve fosforca zengin olduğundan organik gübre olarak ziraatta kullanılabilir. Anaerobik arıtma, aerobik arıtma gibi bir enerji kaybına yol açmaz ve özellikle CH_4 gibi değerli bir ürünün geri kazanılmasını sağlar. Gayet tabii anaerobik ayrışma proseslerinin de bazı mahzurları vardır. Tablo 1'de aerobik ve anaerobik proseslerin çeşit parametreler açısından karşılaştırılması yapılmıştır. Organik Maddelerin anaerobik arıtımı aerobik proseslerinden daha yavaş bir hızla gerçekleşir. Bunun sonucunda da yaklaşık aynı ayrışma derecesini elde etmek için daha uzun reaksiyon sürelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle organik katı maddelerin (çamurlar) arıtıldığı anaerobik tesislerde hidrolik bekletme süreleri 10 günden daha uzundur.

Dolayısıyla yüksek hidrolik kalış süreleri daha büyük reaktör hacimlerini gerektirmektedir. Böyle bir durum ilk yatırım masraflarının artmasına yol açar. Ayrıca anaerobik mikroorganizmaların normalde belli bir sıcaklıkta etkin faaliyet gösteren bakteriler olması münasebetiyle de ısıtma için belli bir işletme masrafı gerekir.

Sonuç olarak tespit edilebilir ki anaerobik sistemler aerobik proseslere göre oldukça önemli üstünlükler

Tablo 1: Aerobik ve Anaerobik Ayırışma Proseslerinin Karşılaştırılması

Parametre	Aerobik Ayırışma Prosesi	Anaerobik Ayırışma Prosesi
Ayırışma Olayı	Organik maddeler mikro-organizmalar yardımıyla CO_2 , H_2O , NO_3 , P_2O_5 , SO_4^{2-} ve biyokitleye dönüştürülür.	Organik maddeler mikroorganizmalar tarafından CO_2 , CH_4 , NH_3 , H_2S ve biyokitleye dönüştürülürler.
Organizma gelişmesi	Az miktarda artık kirlilik	Fazla miktarda artık kirlilik (özellikle N, P yüksek)
Organizmaların istekleri, işletme emniyeti	Çok hızlı gelişme, kısa bir yenilenme zamanı (ortalama 2 saat) yüksek miktarda biyokitle üretimi	Yavaş bir gelişme (özellikle metanojen bakteriler), uzun bir yenilenme zamanı (0.5-1.5 gün), sonuçta az miktarda biyokitle üretimi
Enerji ihtiyacı	Mevcut ayırışma spektrumunda büyük bir çeşit varlığı, çok hassas türler, stabil, basit bir gözetim, kısa süreli alıştırma	Fazla miktarda mikroorganizma grupları, çevre değişikliğine çok hassas düzenli bir gözetim, uzun bir süre olan alıştırma zamanı
Enerji kazainılması	H alıcı (Acceptor) olarak O_2 'ne ihtiyaç duyulur, ² böylece fazla miktarda ilave enerji kullanılır.	H. alıcı (Acceptor) olarak O_2 'ye ihtiyaç yoktur. Bundan dolayı da ilave enerji çok az kullanılır.
BOİ ₅	Başlangıç ve nihai ürünler arasında fazla miktarda bir enerji seviye farkı olur, böylece exoterm reaksiyonlardan dolayı da enerji açığa çıkar ve kendi kendini ısıtır. Nihai ürünler bakımından değersizdir.	Enerji bakımından çok değerli nihai ürün olan CH_4 (çürütme gazı) elde edilir. Başlangıç ve nihai ürünleri arasında çok az bir enerji seviye farkı olur. Bundan dolayıdır ki ısınma olmaz veya çok azdır.
Biyoloji	Uygun atıksu konsantrasyonları 100 mg/l $\leq$ BOİ ₅ $\leq$ 2000 mg/l	Uygun atıksu konsantrasyonları 2000 mg/l $\leq$ BOİ ₅
Reaktör sıvı ortam sıcaklıkları	Biyolojik proses stabilite göstermektedir.	Biyolojik proses daha kararsızdır.
Koku	$5^\circ < T < 35^\circ C$	$30^\circ < T < 40^\circ C$ (Mezofilik) $45^\circ < T < 60^\circ C$ (Termofilik)
Kararlı durumun bozulması	Koku problemleri az	Koku problemlerine özellikle dikkat edilmelidir.
	Kararlı durumun bozulması neticesinde sistem kendi başına yeniden dengeyi kurabiliyor.	Normal çalışan bir reaktörde dengenin bozulması neticesinde dengenin yeniden kurulması zor ve zaman alıcıdır.

taşımaktadır. Tablo 1'de bu husus mukayeseli olarak görülmektedir. En önemli mahzur anaerobik sistemlerin ilk yatırım masraflarının yüksekliği olarak kendini göstermektedir.

Enerji üreten prosesler olan anaerobik sistemlerin, aerobik proseslere olan üstünlükleri tartışılmaz. Reaktör boyutlarını anlamlı bir şekilde küçültmek mümkün olduğundan, anaerobik arıtmanın üstünlükleri çok daha ağır basmaktadır.

2.2. Anaerobik Proseslerin Tarihçesi

Organik maddelerden CH₄ oluşumu 18. yüzyıldan beri bilinmektedir. Fakat bilimsel manada ilk kez yaklaşık olarak yüzyıl önce keşfedilmiştir. Anaerobik arıtma oldukça faydalı bir metottur. Bu yöntemle evsel atıksulardaki organik maddelerin zararlı etkileri azaltılmaktadır (1). 1868 yıllarında Van Senus ilk olarak sellulozik maddelerden anaerobik ayrışma yoluyla değişik mikroorganizmalarca ayrıştırıldığını göstermiştir. 18. yüzyılın sonlarında Omeliaski ve daha sonra Söhngen'in çalışmaları anaerobik mikroorganizmaların izole edilerek, hidrojen, asetik asit (sirke asidi) ve uçucu yağ asitlerinin fermentasyonu sonucu karbondioksit ve metan üretilebileceğini ortaya koymuştur (2).

Mikrobiyoloji alanındaki bu gelişmeler sonucu ilk olarak basit şekillerde atıksu ve atıksu çamurlarının anaerobik arıtma düzenekleri kurulmuştur. 1895'li yıllarda septik tanklardan elde edilen metan gazı kalorifer ve aydınlatma için kullanılmıştır (3). Bu septik tanklar o yıllarda ısıtmasız olup ısı yalıtımı da bulunmamakta idi. Söz konusu septik tankların sadece giriş ve çıkış boruları olup, bunun dışında çürümüş çamurun çekilmesi ve üst kısmındaki yüzen tabakanın karıştırılması için ilave bir teknik düzenek yoktu. Bunlar yalnızca katı madde miktarının ve kokunun belli ölçüde azalmasına yardımcı oluyorlardı. Prensipte ve kullanım şekli olarak halen bazı yörelerde evsel atıksular için kullanılmakta olan tek gözlü septik çukurların (fosseptik) aynısı idiler.

Bu gelişmeler zamanla daha da artarak 1903 yılında "Travis-Tank"ları ve 1924 yılında Imhoff-Tankı (Emscherbrunnen) geliştirmiştir. Bunlarda atıksu ve çamur ayırık bir şekilde

muamele edilmiştir. Her iki durumda da asıl tank, atıksuyla doldurulan üstteki kısım ve hemen bunun altındaki çökelme kısmından meydana gelmektedir. Travis çökelme hacmini çok büyük tutmuştu ve bu yüzden çürütme bölmesinin daha sık temizlenmesi gerekmektedir. Imhoff en kısa çamur çürütme süresini 60 gün olarak belirlemiştir. Imhoff ve Emscher havuzları primer çamurların anaerob stabilizasyonun anlamlı olarak kullanımındaki ilk tesisleri olmuşlardır (4).

F.Almanya'da Ruhr Havzası Derneği, 1924 yılında Essen-Relling-hausendeki tesislerinde ilk ısıtılan çürütme tankını yapmıştır. Bu tesiste elde edilen müsbet tecrübeler neticesinde Imhoff-Emscher sistemi hızla yaygınlaşmıştır. Öyleki, 1934 yılında F.Almanya'da 5.6 milyon nüfus ayırık çamur çürütme tesislerine ve 6.5 milyon nüfus iki katlı tesislere (Emscher tanklarına) bağlanmıştır. Buna paralel olarak metan gazı kullanımı da büyük ölçüde artmış ve yaygınlaşmıştır. Emscher derneği tarafından büyük çaplı bir araştırma yapılmış ve bundan sonra Ruhr derneği 1923 yılında büyük miktarlarda çürütme gazı toplamaya başlamış ve Essen-Rellinghausen tesisinden şehir gaz şebekesine bağlanmıştır.

Aynı dernek tarafından 1927 yılında çürütme gazı Isorland ve Essen-Rellinghausen de aktif çamur tesislerinin çalıştırılmasında ve çürütme hacimlerinin ısıtılmasında kullanılmıştır.

Fair ve Moore (5) nin çalışmalarıyla anaerobik çamur çürütmede sıcaklığın proses üzerindeki etkileri gösterilmiştir. Burada iki optimum sıcaklık aralığı 28°C - 33°C ve 55°C - 60°C tespit edilmiştir. Daha sonraları da bu konu da birçok pratik ve teorik çalışma yapılmıştır.

1947 yılında Schnellen'den beri (6) ilk olarak metan bakterilerinin iki çeşitinin metanosarcine barkeri ve metan bakterisi formicicum saf kültürlerde isole edilmiş ve onbir yıl sonra da Smith ve Hungate (7) bacterium ruminantium'un isolasyonuna yeni bir teknik uygulamışlardır. Bu konu üzerinde mikrobiyologlar daha çok durmuşlardır.

Böylece Hungate(7),Barker(9),Biyan(8)ve birçok araştırmacı tarafından 1968'e kadar toplam 12 değişik spesifik metan bakterisi keşfedilmiş ve bunlar morfolojik özellikleri ile

tanımlanmıştır. Bryand ve arkadaşları 1967 yılında (8), Barker (9) tarafından isole edilen Methonobacterium Omelianskii'nin yalnızca etanolden CH_4 ve CO_2 dönüşümünü sağladığını göstermişlerdir.

Anaerobik ayrışma için uygun maddelerin spektrumu çok geniştir. Buswell (10) hem saf kimyasal bileşiklerin hem de bitkisel ve hayvansal kökenli maddelerin bakterilerce CH_4 ve CO_2 'e kadar ayrıştırılabildiğini göstermiştir. Buswell ayrıca karbonlu bir bileşiğin metana dönüşmesi için aşağıdaki eşitliğin genel olarak kullanabilirliğini ortaya koymuştur (11).

$$\text{C}_n\text{H}_a\text{O}_b + (n-a/4-b/2)\text{H}_2\text{O} \longrightarrow (n/2-a/8+b/4)\text{CO}_2 + (n/2+a/8-b/4)\text{CH}_4$$

veyahut tam olarak (12) $\text{C}_n\text{H}_a\text{O}_b\text{N}_c\text{S}_s + 0,25(4c-h-20+3n-2s)\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 0,125(4c-h+20+3n+2s).\text{CO}_2 + 0,125(4c+h-20-3n-2s)\text{CH}_4 + n\text{NH}_3 + s\text{H}_2\text{S}$.

Burada metan içerisindeki karbon en iyi yüksek redüksiyon derecesine ve yine karbon CO_2 içerisinde en yüksek oksidasyon derecesine sahiptir. Bundan dolayı da bütün karbon bileşikleri için disoranolik CH_4 'a ve CO_2 'e formüle edilebilir. Herhangi bir bileşik ne kadar çok iyi redüksiyona (çürüme) uğramışsa, CH_4 -miktarı da o kadar çok olacaktır. Aynı şekilde bir bileşik ne kadar çok oksidlenmişse CO_2 miktarı da o kadar çok olacaktır. Şayet oksidlenmiş hetero atomlar karbon bileşimi içerisinde mevcutsa disoranolilik yardımıyla bir CH_4 oluşumu mümkün değildir (12,13).

Örneğin,



Schobert'e göre bütün organik maddeler daha küçük redoks potansiyeli altında metana dönüşürler. Ayrıca, teorik olarak da metanlaşmaya gidilir. Termodinamik açıdan metan üretimi ile sonuçlanan ayrışma yolları sınırsızdır. Aşağıda böyle proses kademeleri ve bunları etkileyen iç ve dış faktörler gözden geçirilecektir.

2.3. İşletmeye Alma ve Anaerobik Prosesleri Etkileyen Çevre Faktörleri

En yeni bilgilere göre anaerobik ayrışma üç kademeli bir prosestir. Hidroliz kademesinde, kompleks organik bileşikler

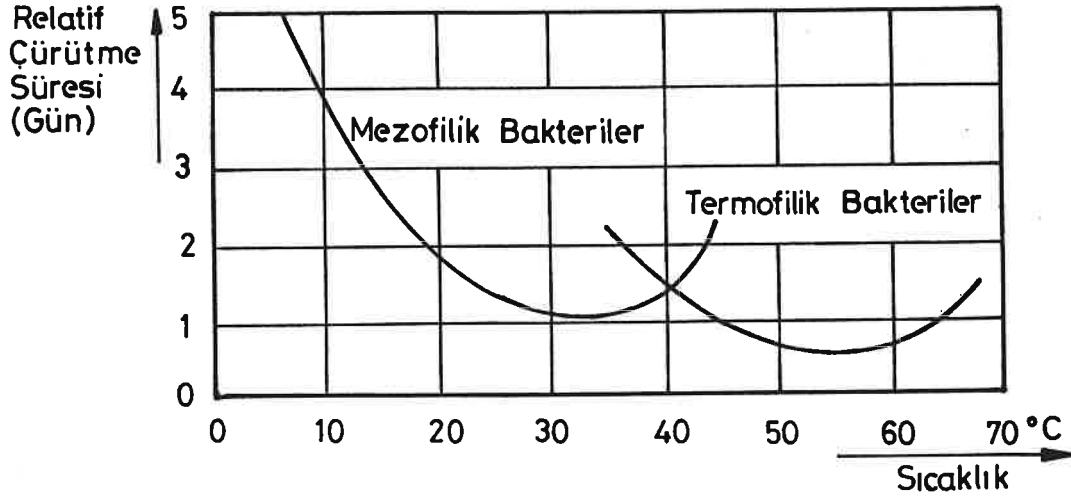
hücre dışı enzimler vasıtasıyla daha basit organik maddelere ve uzun zincirli yağ asitlerine ayrışırlar. Hidroliz ürünü daha basit organik daha basit maddeler, asit bakterileri vasıtasıyla organik asitlere dönüştürülürler. Bu ilk iki kademe, hidroliz ve asit üretimi, birbirleriyle ilişki içerisindedirler ve teknik olarak da birbirinden kolay ayrılamazlar. Asit safhası sonunda nihai ürün olarak asetik asit, metan ve karbondioksit açığa çıkar. Üçüncü safhada asetik asit asetolastik metan bakterilerince parçalanarak CH_4 ve CO_2 üretilir. Metan ayrıca H_2 kullanan metanojenik bakterilerce H_2 ve CO_2 birleştirilerek üretir. Üçüncü safhada, sülfatlı ortamlarda H_2 ve asetat kaynaklı bir H_2S üretimi de söz konusu olabilir.

Anaerobik ayrışma gerçekten dört kademede oluşmasına rağmen bu genelde iki faz içinde de toplanabilir. Zira, birinci ve ikinci ile üçüncü ve dördüncü proses kademeleri büyük ölçüde birbiri içerisine girmektedir. Diğer bir sebep de prosesin çevre şartlarından kaynaklanmaktadır. Mikroorganizmaların her çeşiti gıda, çevre ve dış etkiler bakımından kendi şartlarını, isteklerini ortaya koyar. İlk iki kademe için şartlar birbirine çok benzer, öyle ki bunlar kendi teknik geçişleri bakımından beraber düşünülür.

Aynı şekilde bu düşünce son iki proses kademesi içinde geçerlidir. Bundan dolayı aşağıdaki iki fazlı proseslerden bahsedilecektir. Bunu yaparken dört proses kademesi de gözardı edilmeyecektir.

Anaerobik çürüme prosesinde en önemli etkenlerden biri sıcaklıktır. Sıcaklık ayrışma hızını belirlemede en önemli (Şekil 1) faktördür. Sıcaklık alt ve üst limitleri $5-65^{\circ}C$ olmasına rağmen, organizmaların madde değişimleri için optimum aralıklar bilinebilir. Kaltwasser'e göre (14) bu en uygun aralıklar mezofilik mikroorganizmalar için $30-35^{\circ}C$ arasında ve termofilik mikroorganizmalar için 50 ve $60^{\circ}C$ arasındadır. Bu iki sıcaklık aralığı mikroorganizmaların yapısındaki değişiklik nedeniyle meydana gelir.

Maly ve Madrus (15)'a göre çürütme süreleri yeterince uzun tutulduğu taktirde 20 ve $50^{\circ}C$ aralığında da gaz üretimi yaklaşık olarak eşittir. Sıcaklıktaki bir yükselme çürüme süresini önemli ölçüde kısaltabilir.



Şekil 1. Kaltwasser'e göre sıcaklığın çürütme süresine etkisi (14)

İkinci bir etken ortamın pH değeridir. Çürüme prosesinin her iki fazı üzerine sıcaklık aynı etkiyi yapmasına rağmen, pH-değeri her fazı değişik şekillerde etkiler. İlk faz için uygun olan pH aralığı ikinci fazdan daha farklıdır.

Bu pH değeri Hidroliz ve Asit üretimi safhaları için 3.0 ve 7.0 arasındadır. Kunst ve Mudrack (16) bu fazda organik madde miktarının yaklaşık olarak sabit olduğunu bulmuşlardır. Ancak pH değeri oluşan asitlerin bileşimi üzerinde önemli bir tesire sahiptir. Asitlerin karakterleri ikinci fazda diğer oluşumlar için çok anlamlıdır. Çünkü çift karbonlu yağ asitleri oldukça kolay ayrışabilirler. İlk faz için en uygun pH değerleri 4,0 ila 6,0 arasındadır. Buna karşın ikinci fazın mikroorganizmaları pH değerine karşı çok hassasdırlar. Optimum aralık 6,8 ile 7,4'tür. pH'nın 6,5 ile 8,0'ın sınırları dışında, anaerobik ayrışma proseslerinin kararlılığı ciddi olarak bozulur.

Anaerobik ayrışma prosesinin kararlılığı organik madde konsantrasyonu ve ayrışma sonucu açığa çıkan ürünler ile ilgilidir. Ortamda kafi derecede organik madde bulunmaması mikroorganizmaların gelişmesini etkiler. Fakat aynı zamanda çok yüksek organik madde konsantrasyonları da prosesin bozulmasına yol açar. Şayet çok fazla miktarda organik madde mevcutsa, proses belirleyici enzimlerin bloke olması (çalışmaz bir

duruma gelmesi) sonucu ayrışma prosesi durabilir. Bu yüzden organik yükleme önem taşır.

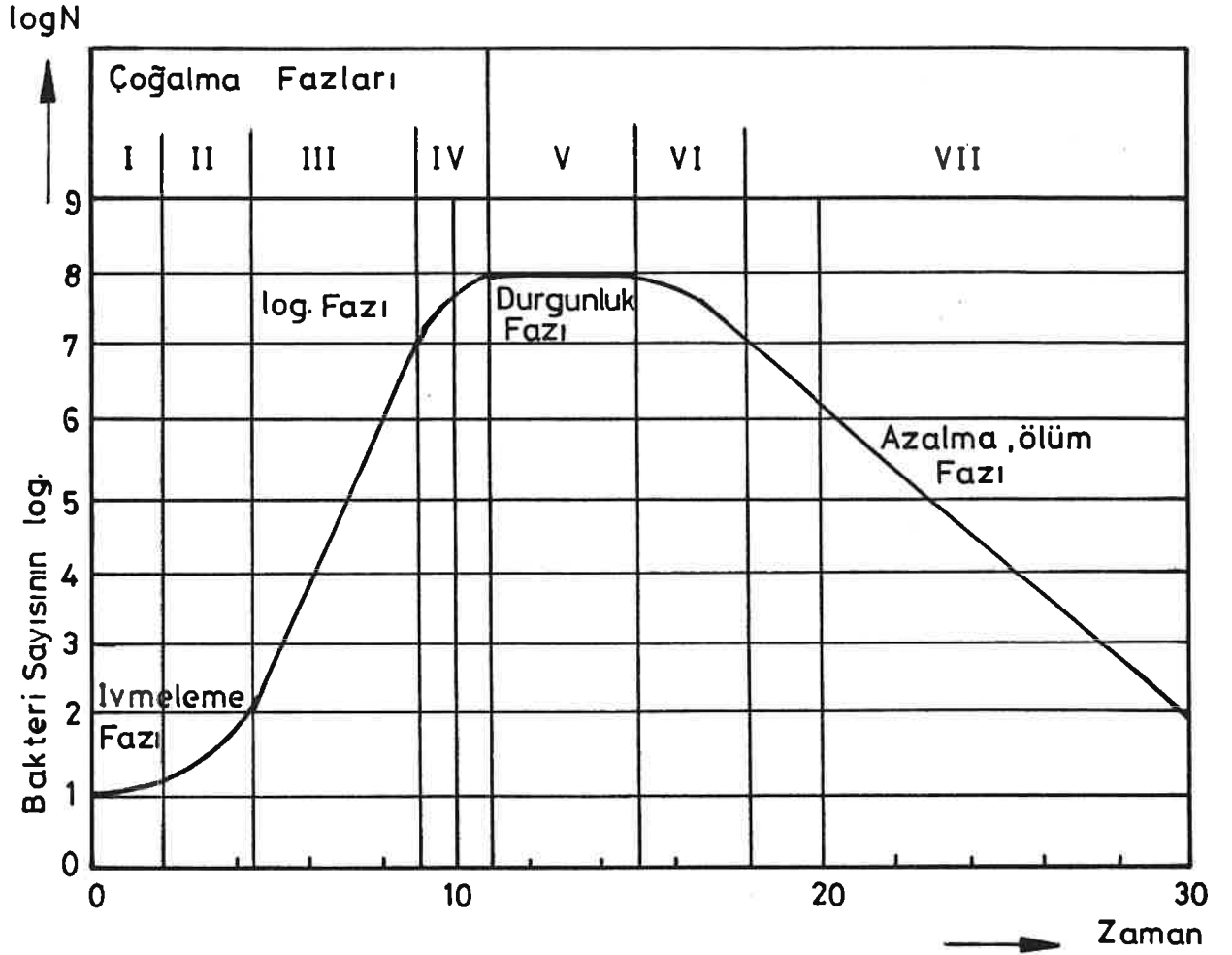
Mikroorganizmalara yalnızca organik madde konsantrasyonu ve nihai ürünler tesir etmez. Bunlar biyokimyasal özellikleri ile birbirini karşılıklı olarak da etkilerler. Örneğin, kendi enzimleri buna örnek gösterilebilir. Netice olarak mikroorganizmalar florasının yapısı da toplam prosese etki eder. Diğer etkenler ise, çamurun katı madde konsantrasyonu, reaktörün karıştırılması organik maddenin (çamur) besleme (verilme) sıklığı olarak sıralanabilir.

2.4. Anaerobik Arıtmada Reaksiyon Kinetiğinin Temelleri

Şayet tabiattaki bir prosesin tekniğe uyarlanması isteniyorsa, buna uygun bir modelin bulunarak proses akışının tanımlanması gerekir. Bakteri popülasyonunun gelişimi yedi ayrı fazda sıralanabilir (Şekil 2). Burada mikroorganizmaların sayısal artışı belirli bir zaman süresi dahilinde gösterilmektedir.

Başlangıç fazında veya birinci fazda çok az bakteri mevcuttur. Burada hücre gelişimleri birinci bölünmeye kadar sürer. Bu duruma ivmelenme fazı eklenir, bu fazda bakterilerin çoğalması başlar. Maksimum hücre bölünme hızına erişilmesiyle de hemen logaritmik faza geçilir. Bu faz içerisinde en yüksek çoğalma hızına ulaşır. Mikroorganizmaların kitle değişimleri ve sınırsız gelişmenin neticesi olarak ortamdaki organik madde (substrat) çok azalır ve değerlendirilemeyen mikrobiyolojik nihai ürünler çoğalır. Bunun neticesi olarak da dördüncü fazda gecikmeli bir gelişme olur. İlk dört faz gelişme fazları olarak görülebilir. Hemen bunun arkasından öyle bir faz gelir ki, bu fazda azalmakta olan organik madde nedeniyle çoğalan ve azalan bakteriler arasında dengelemeye ulaşır. Bu faz aynı zamanda bir durgunluk fazı olarak görülebilir.

Bunların neticesinde ölümlerin artmasıyla birlikte dahili solunum fazı (endojen faz) başlar. Faz VII'de, bakteriler logaritmik bir hızla ölmeye başlar. Çürütme tankları işletmesi açısından ilginç olan üçüncü ve dördüncü fazlardır. Çürümüş çamurun devamlı olarak, reaktörden dışarı çekilmesiyle aktif



Şekil 2. Kaltwasser ve Schlegel'e göre Kültür Bakteri çoğaltma fazları (14)

mikroorganizmaların bir kısmı kaybolur ve bundan dolayı reaktördeki mevcut populasyon hücre çoğalmasıyla kendi kendini devam ettirir. Logaritmik gelişme fazı aşağıdaki eşitlikle yazılabilir.

$$\frac{dX}{dt} = \mu \cdot X \quad (1)$$

Burada,

$\frac{dX}{dt}$: Mikroorganizma çoğalma hızı, zamana bağlıdır,

X : Biyokitle konsantrasyonu

μ : Özgül mikroorganizma çoğalma hızı

$\bar{\mu}$ net mikroorganizma çoğalma hızını gösterir. Bu faktör aşağıdaki ifadeyle verilir.

$$\bar{\mu} = \mu - k_d \quad (2)$$

Burada;

$\bar{\mu}$: Net mikroorganizma çoğalma hızı

k_d : Mikroorganizma ölme yokolma hızıdır.

Bu tanımlarla (1) denklemini aşağıdaki şekle dönüştür.

$$dX/dt = (\mu - k_d) \cdot X \quad (3)$$

Denklem (3) sınırsız subtrat halinde geçerlidir. Bu durum III. fazda olduğu gibi III ve IV. fazlarda bunun yazılabilmesi için Monod (17) enzimin katalize reaksiyonları için Michaelis-Menten ilişkisine benzer olarak gerçek mikrobiyal çoğalma hızını aşağıdaki eşitlikle vermektedir

$$\mu = (\mu_{\max} \cdot S) / (K_s + S)$$

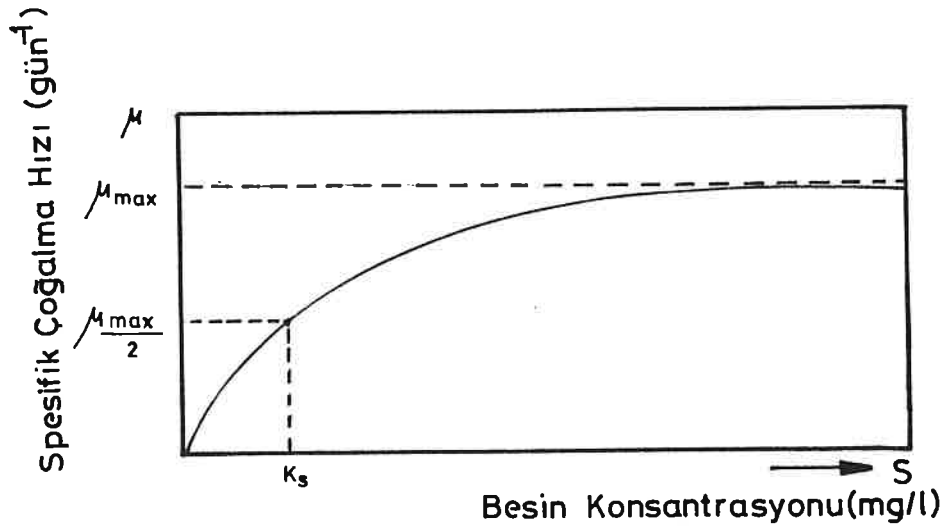
Burada,

$\mu_{\max}$: max özgül mikroorganizma hızı,

S : Subtrat konsantrasyonu,

K_s : Yarı hızı sabitidir.

Bu fonksiyonun grafik gösterimi şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Monod fonksiyonunun grafik gösterilmesi

Bu grafik şekil 3'deki III ve IV fazları için geçerlidir, zira sınırsız bir subtrat varlığında $\mu = \mu_{\max}$ olacaktır. Buna karşın Monod gelişme mikroorganizma çoğalma hızını aşağıdaki eşitlikle açıklamıştır:

$$dX/dt = -Y.(ds/dt) \text{ veya } dX/dS = -Y \quad (4)$$

Burada,

dX/dt : Bakteri çoğalma hızı

dS/dt : Subtrat giderme (azalma) hızı,

Y : Dönüşüm katsayısıdır.

Bu ilişkiler anaerobik çürütme proseslerinin tasarımı için temel oluşturlar. Bu konuya daha sonra değinilecektir.

3. TEMEL BİYOKİMYASAL ESASLAR

3.1. Anaerobik Ayırışmanın Esas Reaksiyonları

Atıksularda olduğu gibi atıksu çamurları içerisinde de çok fazla miktarlarda organik ve inorganik bileşikler bulunmaktadır. Bu maddeler çözünmüş veya katı madde şekillerinde dağılmışlardır. Biyolojik ayrışmaya yalnızca organik bileşikler katılırlar. Bu organik bileşikler genel olarak üç ana grupta toplanırlar:

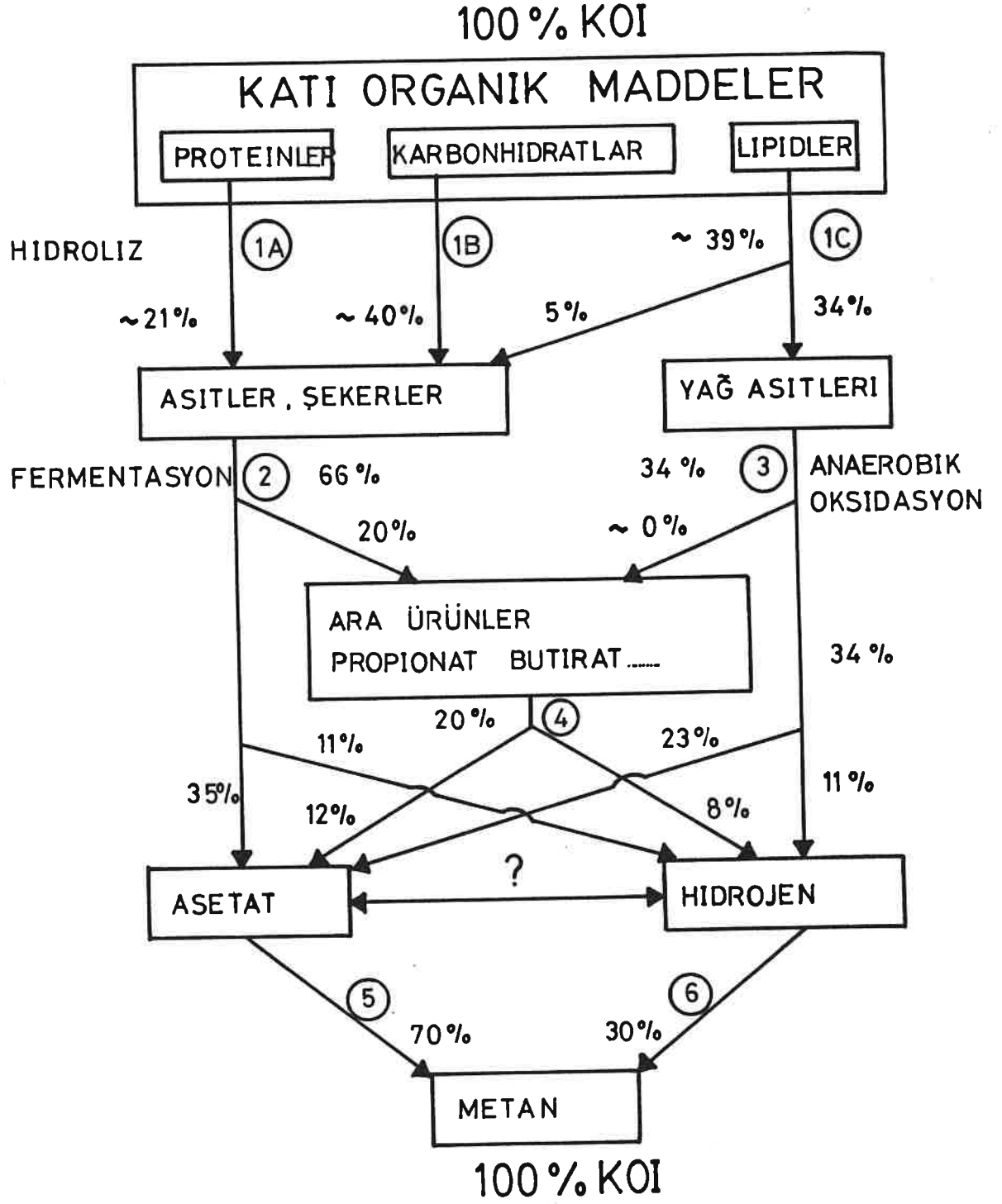
- Karbonhidratlar,
- Yağlar ve
- Proteinler.

Bu maddeler tabiatta meydana gelen organizmaların temel taşlarını oluştururlar. Anaerobik çürüme esnasında karbonhidratların, yağların ve proteinlerin ayrışma proseslerinin akışı şekil 4'de şematik olarak görülmektedir. Hidroliz esnasında kompleks bileşikler, asit üreten mikroorganizmalarca kullanılarak basit bileşiklere ayrıştırılırlar. Bu faz içerisinde organik katı madde miktarlarında farkedilebilir bir azalma meydana gelir. Asit oluşturan bakteriler yardımıyla karbonhidratlar, yağ ve proteinler daha basit yapıdaki organik bileşiklere dönüştürülürler.

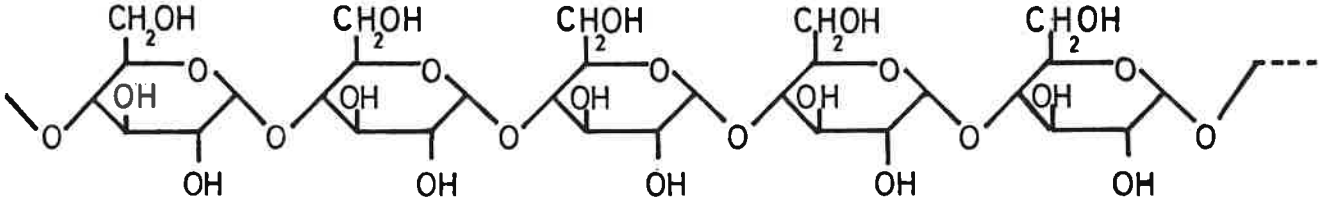
Bu bileşiklerin ana kısmı organik ve kısa zincirli yağ asitleridir. Metan bakterileri için uygun subtratların oluşumundan sonra CH_4 ve CO_2 anaerobik ayrışmanın nihai ürünü olarak açığa çıkar.

3.1.1. Karbonhidratların Ayırışması

Karbonhidratların ayrışması şimdiye kadar çok geniş ölçüde incelenip araştırılmıştır. Karbonhidratlar polisakkaritlerdir. Oksijen köprüsü üzerinden tek tek glikoz molekülleri şekil 6'daki gibi selüloz ve nişasta moleküllerini oluştururlar. Bunlar yaşayan organizmalar için temel yapı taşlarıdır.

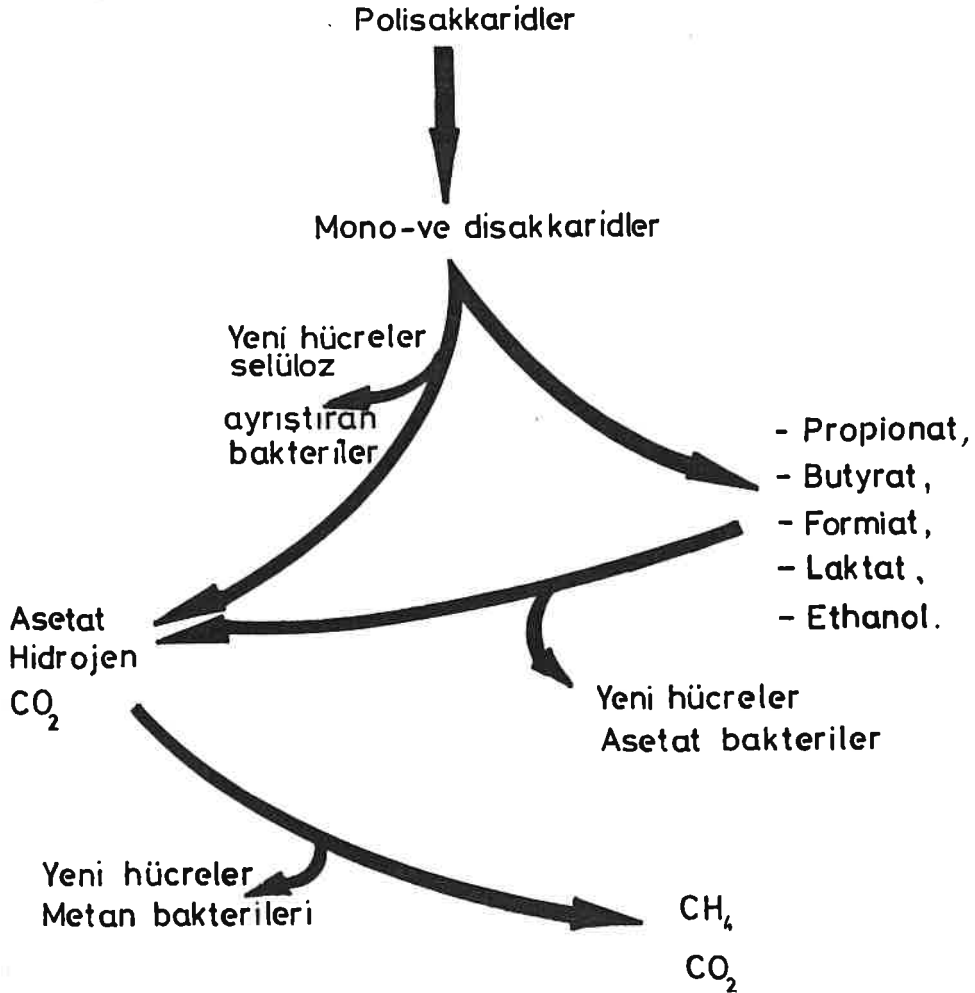


Şekil 4. Atıksu çamuru için ayrışma şeması
KOİ cinsinden stömetrik madde akımı % lik
olarak gösterilmiştir.



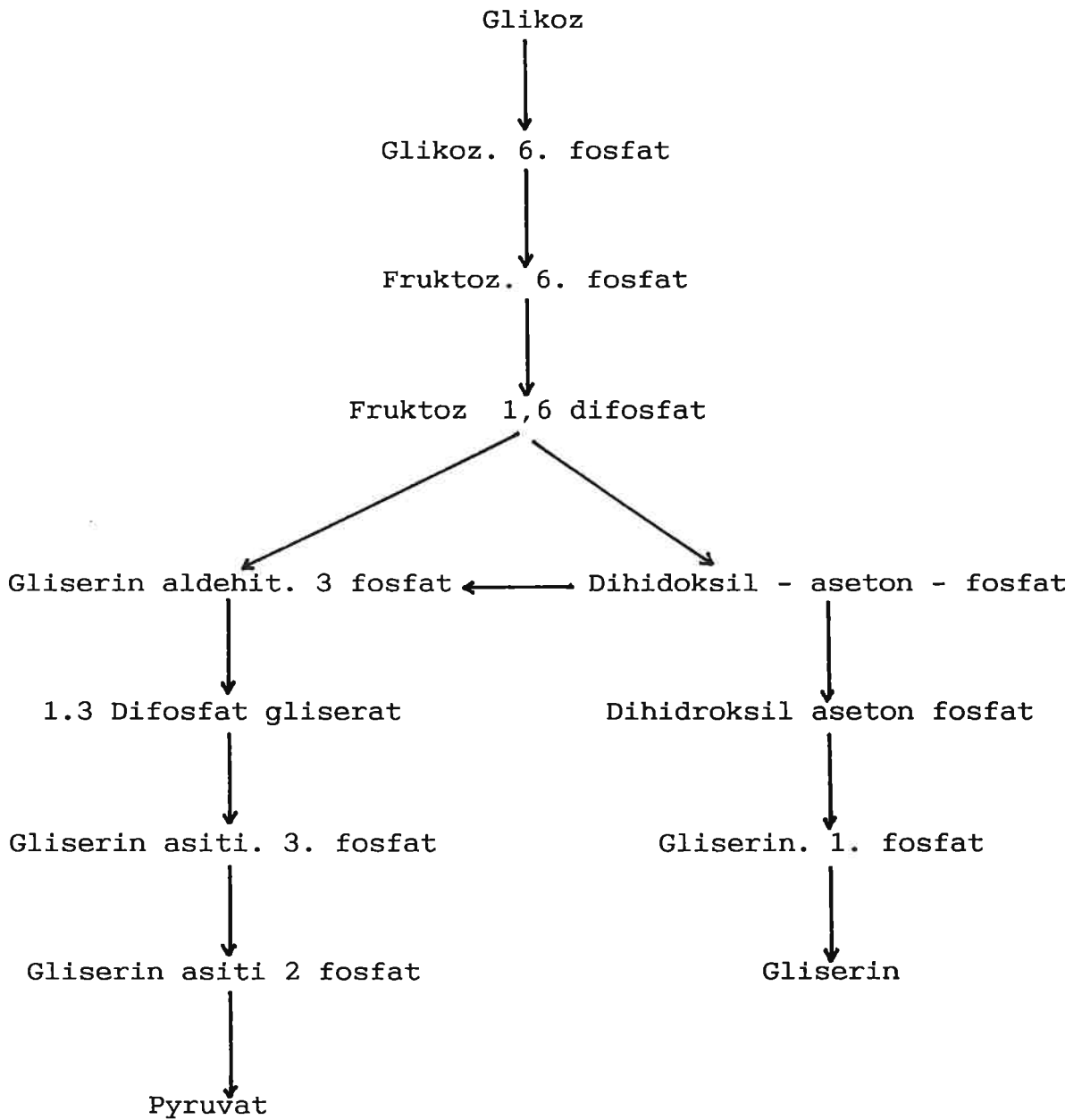
Şekil 5. Nişasta molekülü

Uzun zincirli karbonhidratların anaerobik ayrışması öncelikle mono ve disakkarit moleküllerinden hücre dışı enzimler yardımıyla zincirlerin kopmasıyla başlar. Diğer tür bir ayrışma da asit üreten bakteriler yardımıyla yalnızca bu basit bileşiklere ulaşılabilir. Polisakkaritlerin kademeli ayrışması Şekil 6'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 6. Bryant (22)'a göre karbonhidratların kademeli olarak tam ayrışması

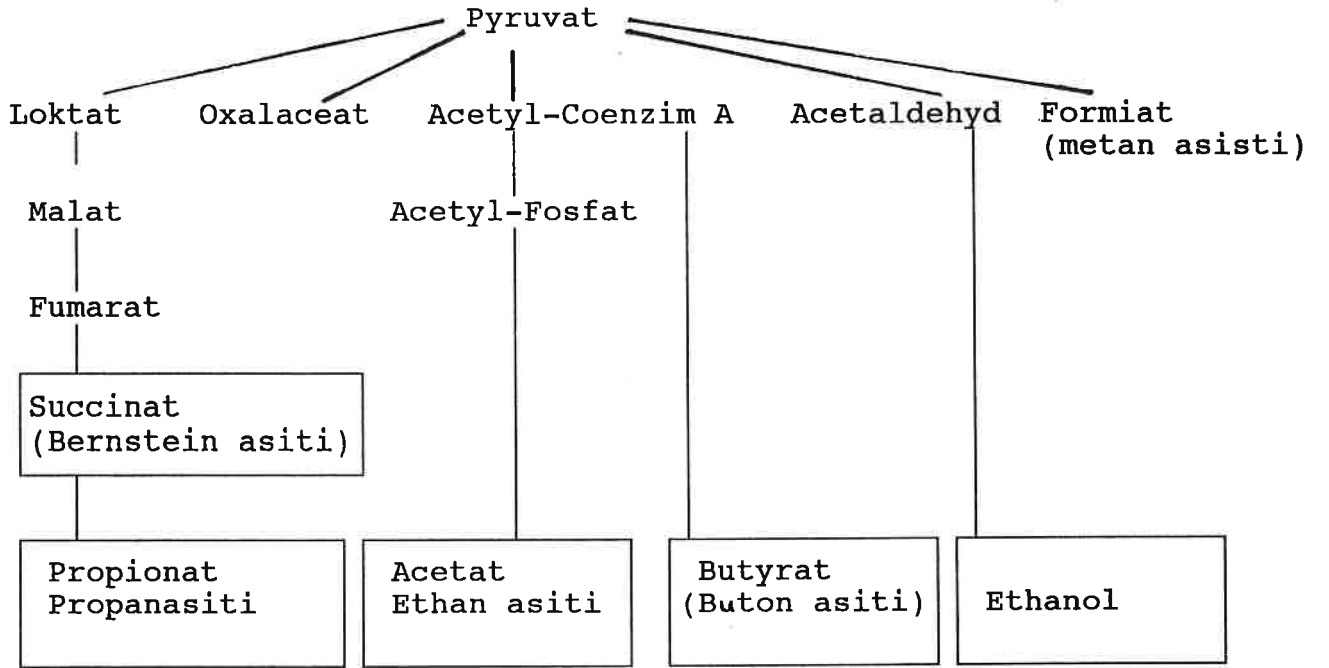
Zincirlerin kopmasından sonra bakteri hücreleri glikozu parçalayabilecek duruma gelirler ve değişik ara kademeler yardımıyla pyruvata ve gliserine ayrıştırırlar (Şekil 7). Karbonhidrat ayrışmasının ara ürünü olarak pyruvat burada bir anahtar rolü oynar. Diğer ayrışma adımları bu pyruvat'tan geçer. Şekil 8 pyruvat'dan hareketle diğer ayrışmayı ve karbonhidrat madde değişiminin asit fazının nihai ana ürününü de göstermektedir.



Şekil 7. Sixt (23)'e göre glikozun pyruvan ve gliserine ayrışması

Gliserinin ayrışması henüz tamamıyla açıklanmış değildir. Salzin (18) etanol ve metanol içerisinde gliserin ayrışması için doğrudan bir şema vermektedir. Bununla beraber CO₂ ve H₂O içerisinde metanol parçalanır. Diğer bir çok araştırmacı örneğin Andrews ve Pearson (19), Mahr (20), Growth ve Harkness (21) çeşitli yayınlarında gliserinin glikozlar gibi biyokimyasal olarak ayrıştığını belirtmektedirler.

Asit fazı nihai ürünlerinin ayrışması kısım 3.1.4'de verilecektir.



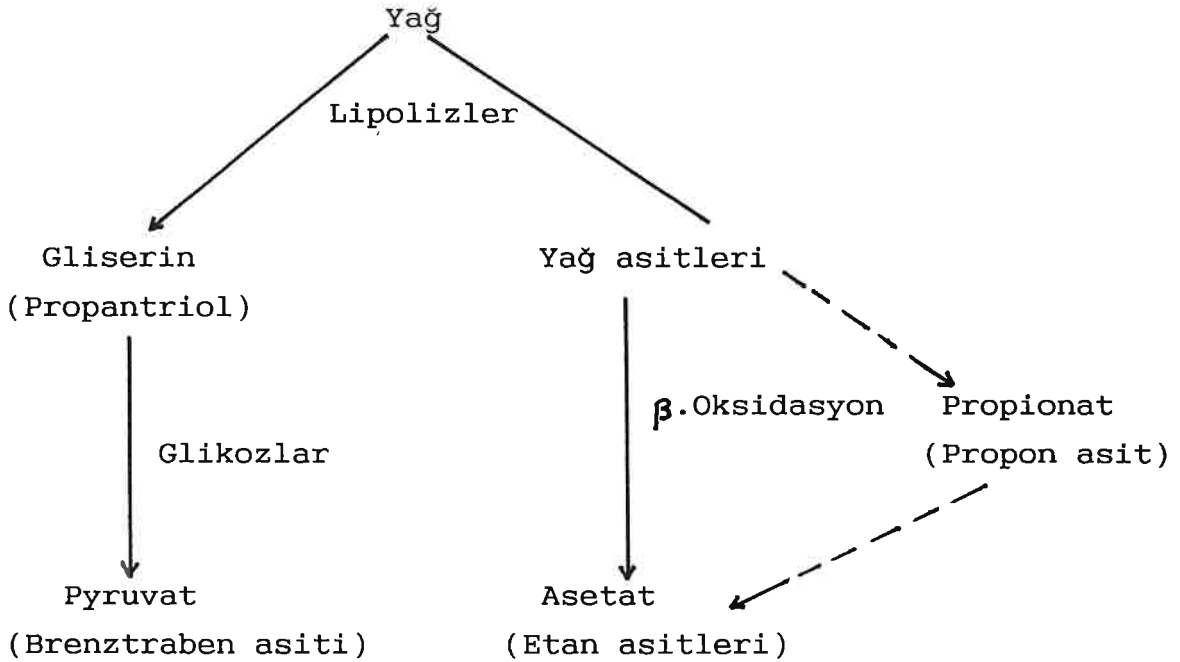
Şekil 8. Pyruvat'ın en önemli ayrışma yolunun akışı
(çerçeve içerisinde alınmış kısımlar nihai ürünlerdir)

3.1.2. Yağların Anaerobik Ayrışması

Yağlar ester bileşikler olup gliserin moleküllerinden meydana gelmektedirler. Bu moleküller yağların temelini oluştururlar ve ayrıca doymuş veya doymamış üç karbonlu yağ asitlerinden meydana gelmişlerdir. Bunlar trigliseridler olarak isimlendirilirler. Tabiatta devamlı olarak meydana gelen trigliseridler ile kendilerine dallanmaya katılan yağ asitlerinin çeşitlilikleri ile fark ettirir. En geniş şekilde yaygın

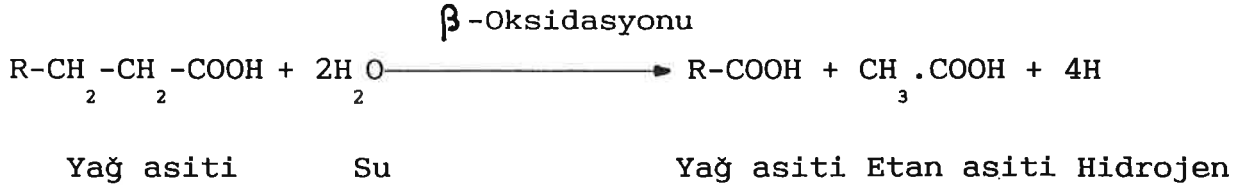
doymuş yağ asitleri Laurin asitleri, Myristin asitleri, Palmi-
tin asitleri ve Stearin asitleridirler. En önemli doymamış yağ
asitleri ise 9.Oktadekan asiti, Lineol asiti (9,12 Oktadekan
asiti) ve Linolen asiti (9, 12, 15-Oktadekatrien asitleri)
dirler.

Yağların anaerobik ayrışmasının ilk adımı sonunda lipo-
lizler oluşur. Burada gliserinden yağ asitleri arka arkaya ay-
rışmaktadırlar. Bu durum kendisini enzim katalize olmuş hidro-
liz şeklinde gösterir. Sorumlu enzim ise lipaselerdir. Lipase
yardımıyla yağların gliserin ve değişik yağ asitlerine tam bir
ayrışımı gerçekleşmektedir (Şekil 9).



Şekil 9. Yağların anaerobik ayrışması

Diğer taraftan gliserin brenztrauben (Pyruvat) asitine
ayrışır. Bu reaksiyon mekanizması kısım 3.1.1'de önceden açık-
lanmıştır. Yağ asitinin ayrışması diğer bir yoldan meydana
gelmektedir. Kendi biyosentezinden dolayı birçok tabii yağ
asitleri çift zincirlidirler ve bunlar bir çift sayı C atomu
ihtiva ederler. Ayrışma " β -Oksidasyonu" yardımıyla meydana
gelir ve bu oksidasyonda molekül zincirinin her bir C -birim-
leri ayrışarak yağ asitleri asetik asite dönüşürler. "² -oksi-
dasyonu" için genel reaksiyon eşitliği aşağıdaki gibidir.



Bu reaksiyonların gerçekleşebilmesi için, daha kuvvetli reaksiyon taşıyıcı yağ asiti aktifleştirmek mecburiyetindedir. Bu ancak koenzim A yerleştirilmesiyle olur. Asetil Koenzimi ile aktifleştirme çok fazla enerji gerektirir ve bu proses biraz enerji yoğunudur.

Bu herşeyden önce yalnızca bir kez yapılmak mecburiyetindedir, zira C biriminin her ayrışmasından sonra tekrar Asetil-Koenzim A² ortaya çıkar. Reaksiyon döngüsü yalnızca asetik asit ve asetil-Koenzim A oluşuna kadar devam eder. Asetil-Koenzim A bundan sonra asetik asit veya yağ asitlerine tekrar ayrışır. Tek tek meydana gelen ve çift karbonlu olmayan yağ asitlerinin ayrışması da aynı zamanda " β -oksidasyonu" yardımıyla gerçekleşir. Bunun sonunda propion'e Koenzim A açığa çıkar.

Diğer ayrışma yalnızca dolaylı yolla Bernstein asiti yardımıyla CO₂ alınarak mümkün olmaktadır (23).

3.1.3. Proteinlerin Ayrışması

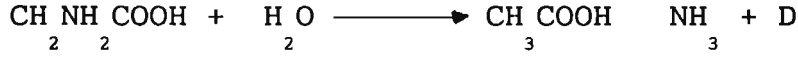
Proteinlerde biyopolimerlerden olup organizmaların en önemli yapı taşlarındandır. Proteinlerin temel yapı taşları α - amino asitleridirler. Tabiatla meydana gelen α -amino asitlerinin en önemlileri alanin, valin, leucin, lysin ve glycin'dir. Proteinlerin ayrışması protolüzle başlar, bu ise uzun zincirli proteinlerin parçalanmasıyla olur.

Protolüz enzimleri peptid bağlarını kırar. Growther ve Harkness'e (20) göre proteaslar çok geneldirler ve çok etkin şekilde çalışmaktadırlar. Öyleki proteolizler kesinlikle proses limitleyici tesir göstermezler. Proteolizlerin neticesinde meydana gelen amino asitleri üç değişik yolla hücre içinde ayrışırlar. Bunlar:

1. İndirgeme desaminil,
2. Kombine indirgeme desaminil ve dekarboksileşme,
3. Stickland-reaksiyonu.

Burada indirgeme desaminil ancak uygun hidrojen vericilerin varlığında başlar.

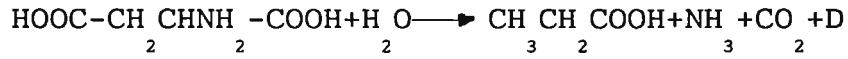
Örneğin,



Amino asit H.verici

Kombino desaminil ve dekarboksil'de bir hidrojen vericiye ihtiyaç duyar ve aminodikarbon asitlerinin ayrışmasını sağlar.

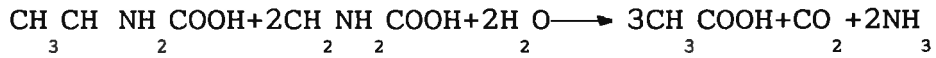
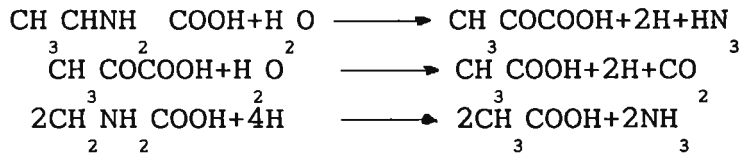
Örneğin,



Stickland- reaksiyonu hiçbir hidrojen vericiye ihtiyaç duymaz, zira reaksiyon esnasında bir amino asit H verici olarak ve diğerleri ise alıcı olarak rol oynar.

Örneğin

Kısmi reaksiyonlar



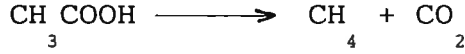
alanın glycine
H. verici H. alıcı

3.1.4. Asit Oluşum Fazı Nihai Ürünlerinin Ayrışması

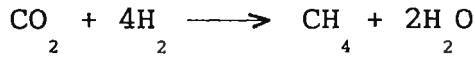
Asit fazının nihai ürünleri şunlardır:

- Organik asitler, bunların en önemlileri asit asittir,
- Ana yapısı etanol olan değişik alkoller,
- CO₂ ve H₂,
- Amonyak ve H₂O

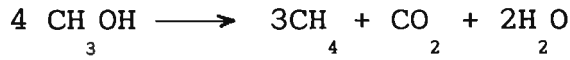
Bu nihai ürünler bakteriyel metan oluşumu için ana maddelerdir. Literatürde metan oluşumunun iki değişik yolu ile gerçekleştiği belirtilmektedir. Bu aslında mikroorganizma türleri ile ilgilidir. İlk yol asetik asidin CH₃ ve CO₂ de ayrışması tarzındadır. Bunun genel denklemi aşağıdaki gibidir:



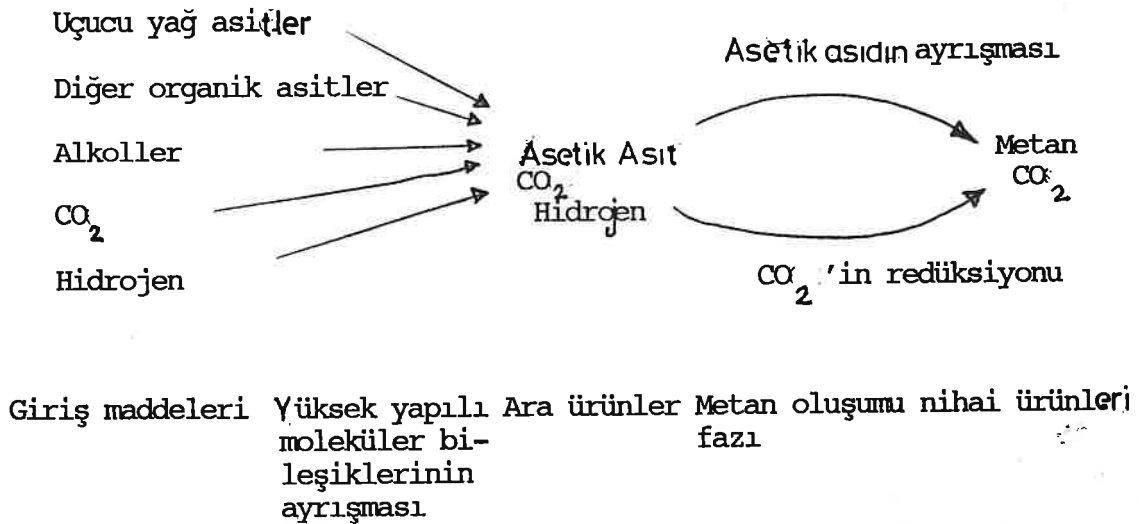
Bunun yanında asetik asitin metil gruplarından metan oluşur ve karboksil grubundan CO_2 meydana gelir. Bu durum işaretlenmiş karbon isotoplarıyla Stadman ve Barker ve de Pine ve Barker tarafından ispatlanmıştır (24). Metan oluşumu için ikinci imkan ise karbondioksitin metana indirgenmesidir. Bunun için çoğunlukla serbest hidrojen indirgeyici madde (redüksiyon maddesi) olarak hizmet görür. Genel eşitli aşağıdaki gibidir:



Bu reaksiyon ilk kez 1943 yılında Barker (23) tarafından ispat edilmiştir. Metan oluşumunun üçüncü imkanıysa Schnellen (24) tarafından anlatılmıştır. Buna göre metanol doğrudan metana ve CO_2 'e ayrışır.



Bu reaksiyon fazla bir değer taşımaz. Metan oluşumu için belirleyici kaynaklar asetik asidin parçalanması ve CO_2 redüksiyonudur (Şekil 10).



Şekil 10. Metan oluşumunun şematik akışı

3.2. Anaerobik Proseslerin Mikroorganizma Florası

Tabiattaki biyolojik prosesler milyarlarca mikroskopik organizmaların madde değişimlerinin neticesidir. Bu mikroorganizmaların kendi yaşamları için oksijene ihtiyaçları vardır. Fakat oksijen kazanma yolları çok değişiktir. Birkaç çeşit mikroorganizma kendileri için gerekli olan oksijeni havadan karşılar, diğer birçok çeşit ise suda çözünmüş bulunan oksijeni kullanır. Bunlar aerobik mikroorganizma olarak adlandırılırlar. Mikroorganizmaların bir çoğu da kendileri için gerekli oksijeni değişik organik ve inorganik bileşiklerin redüksiyonundan sağlamaktadırlar. Bunlar tamamen bu madde değişimlerine bağlı olup serbest oksijeni dahi kullanamazlar.

Serbest oksijen bu tür organizmalar için bir engel oluşturur, veya kısmi olarak ölümcül tesir gösterir. Bu tür mikroorganizmalar kuvvetli anaerobik olarak tanınır.

Üçüncü bir grup ise hem serbest hem de bileşik halde bulunan oksijeni değerlendirebilirler. Bunlar fakültatif bakterilerdir. Genelde atıksu tasviyesinde ve anaerobik proseslerde bu üç grupta kullanılan sisteme bağlı olarak az veya çok karşılaşılır. Anaerobik proseslerde anaerobik mikroorganizmalar hakimdir. Ancak aerobik mikroorganizmaların da varlıklarını göstermesi hepten gözardı edilemez.

3.2.1. Asit Fazının Mikroorganizmaları

Asit fazının mikroorganizmaları çok yönlü ve çeşitlidir. Bunlar tabiatta meydana gelen çeşitce en zengin popülasyondur. Bu bakterilerin yanında protozoa ve mantarlar da yer alır.

Protozoa ve mantarlar anaerobik çürümede yalnızca tali olarak rol oynarlar. Anaerobik çürütme tanklarında şimdiye değin protozoaların yirmi değişik çeşidi tespit edilmiştir. Bunlar Flagellatlar, Amipler ve Siliatlardır (24). Mantarlardan kırk çeşit gözlenmiştir. Mantarlar ve Protozoalar normalde subtrat yardımıyla taşınır ve çoğalmazlar. Çünkü ortam şartları genel olarak buna müsaade etmez (24).

Anaerobik çürümenin asit fazı içerisinde bakterilerin daha büyük anlamı vardır. Bunlar zamanımızdaki bilgiler ışığında

100'ü aşkın türdendir. En önemli türler tablo 2'de verilmiştir.

Bütün mikroorganizmalar gibi asit veya daha doğrusu metanojen olmayan fazın bakterileri de kendi madde değişimlerinin ve oksijen kazanmalarının çeşidine ve cinsine göre aerobik, fakültatif anaerobik ve kuvvetli anaerobik bakteriler gibi birbirinden farklılıklar taşırlar.

Yeni araştırmalara göre kesin anaerobik metanojen olmayan bakterilerin ana kısmını oluşturlar. Teorien (25)'in araştırmaları ışığında aerobik ve fakültatif anaerobik bakteriler toplam bakteri popülasyonunun % 1'inden daha azını teşkil etmektedir. Bundan başka kuvvetli anaerobik bakteriler ile organik madde ve bakteri florasının DNA miktarı arasında yüksek bir korrelasyon mevcuttur.

Bundan çıkarılacak netice, kuvvetli anaerobik bakterilerin tüm bakteri popülasyonunun yaklaşık % 99'luk bir kısmını meydana getirdiğidir. Asit fazının bakterilerinin mutlak sayısı yaklaşık olarak 10^7 - 10^9 /ml civarındadır.

Bu duruma ancak iyi alıştıırılmış, uniform beslenen çürütme tanklarında karşılaşılır. Chynoweth ve Mah tarafından yapılan araştırmalar (26) göstermiştir ki kesikli biçimde besleme, anaerobik ve fakültatif anaerobik bakterilerin çok çabuk bir şekilde çoğalmasına yol açar. Bunun yanında kuvvetli anaerobikler yavaş gelişirler ve uzun bir yenileme süresine sahiptirler. Bu bakteriler yüklemdeki değişimlere geçikmeli ve daha zor uyum sağlarlar. Anaerobik ve fakültatif anaerobik bakterilerin yüksek uyum kabiliyetleri dolayısıyla ani yüklerle asit üreten fazların zarar görmesine meydan vermezler.

3.2.2. Metan Fazının Mikroorganizmaları

Metan fazının mikroorganizma florası tamamen bakterilerden oluşmaktadır. Bunlar, oldukça fazla miktardaki asit faz mikroorganizmalarının yanında çok az tür ve cins sayıları yardımıyla ayırt edilirler.

Bunların tür sayısı asit üretenlerin yaklaşık 1/10'i kadardır. Teorien (25) 1969 yılında bu zamana kadar bilinen, tanınan metan bakteri çeşitlerini biraraya getirerek yayınlamıştır. Bunlar Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 2. Teorien ve Hattingh (24)'e göre metan üretmeyen fazın önemli bakterileri

Bakteri Cinsi	Önemli Çeşitleri
Aerobacter Aeromonas Alcalisgenes Bacillus	A. aerogenes Aeromonas sp. A. bookerii A. faecalis B. cereus B. Circulans B. Firmus B. Megaterium B. Pumilis B. Subtilis
Bacteroides Clostridium Bacterichia Klebsiclla Leptospira Micrococcus Neisseria Paracolobactrum Proteus Pseudomonas Rhodopseudomonas Sarcina Serratia Streptococcus Streptomyces	Bacteroides sp. C. aminovalericum E. Coli Klebsiella sp. L. biflexa M. candidus M. varians N. catarrhalis P. coliforme P. vulgaris P. ambigua P. denitrificans P. perolens P. riboflavina R. palustris S. cooksonii S. indicans S. diploidus S. bikiniensis

Tablo 3. Toerien'e (24) göre metan bakteri çeşit ve cinsleri

Cins Metanosarcina	Metanococcus	Metanobacterium
Ms metenica	Mc mazei	Mb. Söhngeni
Ms barkerii	Mc vanniellii	Mb. omelianskii
		Mb. formicicom
		Mb. propionicum
		Mb. ruminantium

Şu ana kadar yapılmış tespitlere göre bu bakteriler kendi madde değişimleri için 6 karbonlu organik asitler ile CO_2 ve hidrojeni kullanmışlardır. Asetik asit, metanol ve hidrojen, substrat olarak metan gazına doğrudan dönüştürülebilmektedir.

Yüksek yapılı organik asitlerin ve alkollerin ayrışması için bakteriler ortak yaşayışı şarttır. Burada iki veya daha çok bakteri türünün çok yakın ilişkisi vardır. Bunlar kendileri için gerekli maddeleri elde etmek üzere yakın ilişki içerisindedirler.

Bunlardan biri olan asit üretenler, yüksek yapıdaki bileşikleri parçalar. Bu ayrışma ürünleri daha sonra metan bakterileri için substrat oluştururlar. Aynı zamanda bu ara ürünler diğer taraftan asit bakterilerinin faaliyetlerini yavaşlatabilirler.

Şayet bu ortak hayatı rahatsız edilir ve parçalanırsa türler ayrılır ve ölürlür. Bryant (27) 1967 yılında böyle simbiyotik bir bileşimi Mb. Omelinaskii için ispatlamıştır. Mb. Propionicum ve Mb. Suboxydans için de benzer neticeler beklenebilir (28). Fizyolojik olarak bakıldığında metan bakterileri kesin olarak anaerobiktir. Çok az bir miktarda oksijen bunlara toksik tesir gösterir. Bunların optimum gelişme şartları mezofilik ortamda, $30^{\circ}-35^{\circ}C$ aralığında ve nötr pH değerinde sağlanır.

Metan bakteriler çevre şartlarındaki değişimlere çok hassadırlar. Verimli çalışan bir çamur çürütme tesisinde bunların sayısı yaklaşık olarak $10^6-10^8/ml$ kadardır.

4. TEK KADEMELİ YÜKSEK HIZLI ÇAMUR ÇÜRÜTME SİSTEMİ

4.1. Genel

Anaerobik çürütmenin insanoğlu tarafından kullanılmak istenmesine kadar eskitse, aynı şekilde proses stabilitesi ve işletme emniyeti ile ilgili istekleri de o kadar eskidir. Önceleri büyük emniyet faktörlerine dayanan, çok basit tecrübi değerler kullanılmış, fakat günümüzde daha sağlam ve detaylı bilgilere ihtiyaç duyulmuştur. Zira çamur çürütmenin etkin halle getirilmesi mecburiyeti bulunmaktadır.

Tasarım bilgileri ve işletme değerleri ancak uzun yıllar alan gözlemler veya laboratuvar deneyleri sonucu kazanılabılır. Çamur çürütme tesislerinin en önemli tasarım parametrelerinden biri organik yüküdür. Organik yükün çamur çürütücü içerisindeki populasyon dengesi ve koruması üzerinde oldukça büyük etkisi vardır. Şimdiye kadar kullanılan organik yük 1,5 kg organik kuru madde/m³.gün alınmaktadır (29). Bu değer normal yükleme değerleri içerisinde ve aynı zamanda işletme için yeterli emniyettedir. Bundan daha büyük değerler için yüksek yüklü çürütme tesisleri söz konusu olur. Burada yükleme değerleri 4 kg/(m³.gün)'e kadar çıkabilir (29, 30).

Hacimsel organik çamur yükü yalnızca belediye atıksularının çamurları için geçerlidir. Yüksek konsantrasyonda veya büyük çiftliklerden gelecek atıksular olursa bu durumda en iyi KOI bazında hacimsel yüklemedir. Gerçekte hacim yüklemesinin yalnızca organik katı maddeler baz alınarak ifade edilmesi yeterli değildir. Zira olayda başka parametreler de etkilidir, ancak bu konu hakkında çok az bilgi mevcuttur.

Thomas ve Evison (30) maksimum hacim yükünü 5,0 kg KOI/m³.gün olarak vermektedir. Fakat bu değerler evsel atıksu çamurları için değil, Avrupa'da yapılan bazı çalışmalarda domuz çiftliği atıkları için elde edilmiştir (32).

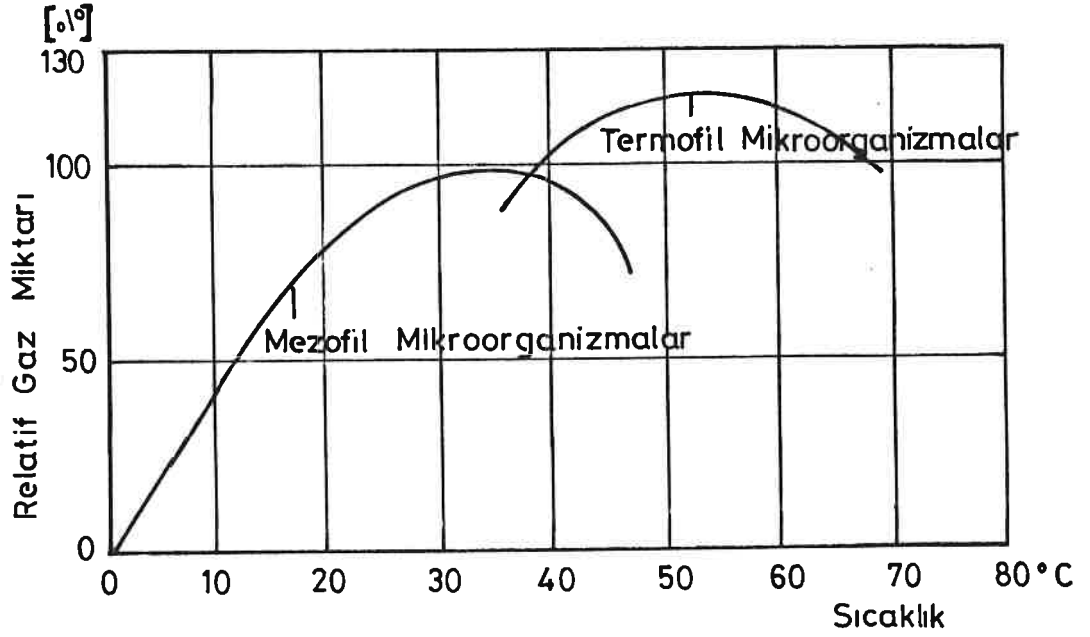
Anaerobik bir çürütmenin gerçekleştirilmesi için özellikle ortam şartları önemlidir. Bu konuda bir çok araştırma

mevcuttur. Daha önce de vurgulandığı üzere bütün mikroorganizmalar spesifik bir pH aralığı isterler. Metan gazı oluşumunu sürdürebilmek için hafif alkali bir ortam gereklidir. Bu ortamdan pratikteki işletme pH değerleri 7.0-7,5 arasındadır. Prosesin stabilitesi bu değerlerin kısa sürelerle altına inilmesi veya üzerine çıkılmasıyla kolay kolay bozulmaz (14, 16, 29, 30, 33, 34).

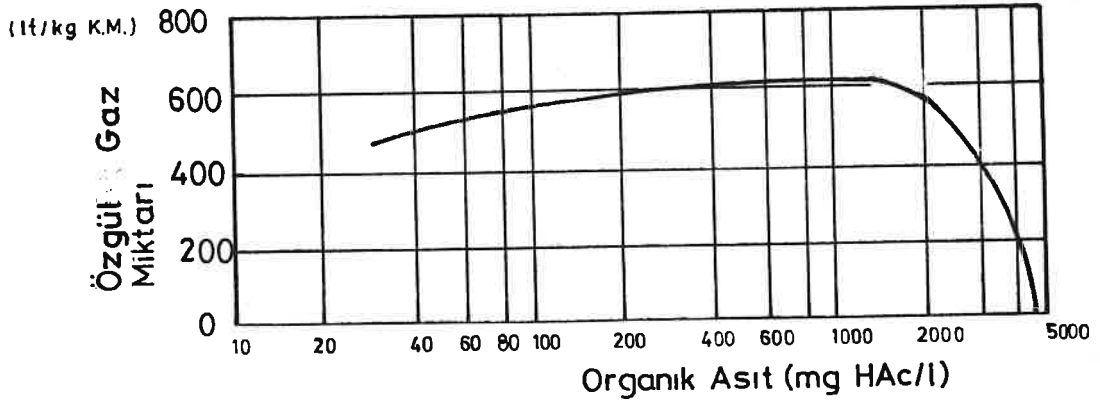
Reaktör sıcaklığı üretilen çürütme gazının toplam miktarını fazla etkilemez, ancak anaerobik reaksiyonun hızını çok büyük oranda etkiler. Anaerobik mikroorganizmalar sıcaklığın artmasıyla yüksek çoğalma ve besi maddesi kullanımı hızlarına ulaşırlar. Mikroorganizmaların çevre şartları için iki optimum sıcaklık aralığı vardır. Bunlardan bir tanesi 30-35 °C aralığında mezofilik işletme, diğeri ise 50-60 °C aralığında olan termofilik işletmedir. Termofilik ortamda ayrışma hızı daha büyük olup bu böyle bir tesiste daha kısa reaksiyon süreleri ve/veya daha fazla yükler seçilebilir. Taze çamurun organik kuru maddeleri daha fazla değişim gösterir ve aynı zamanda pastörize (dezenfeksiyon) tesiri de yüksek olur. Buradan da anlaşılabacağı gibi mezofilik çürütme enerji açısından daha uygun olup, daha az enerji tüketilir.

Yeterince çürümüş mezofilik çamur koku yapmaz. Fakat termofilik olarak çürütülen çamur koku yapar. Prosesin işletmesi açısından mezofilik proses daha avantajlı görülmektedir. Sıcaklığın çamur çürütme üzerindeki tesiri şekil 11'de tekrar gösterilmiştir. Burada önemli olan mikroorganizmaların sıcaklık değişimlerine çok hassas olmalarıdır. Esas olan hangi sıcaklığın, hangi optimum kısımda seçildiği değil, özellikle sıcaklığın sabit olup olmadığıdır (29, 33, 35).

Çürümenin düzenli bir şekilde seyri hakkında bilgi veren diğer bir parametre ise uçucu asit (organik asitler) miktarıdır. Bu normalde asetik asit eşdeğeri olarak ifade edilir. Optimum şartlarda 500'den 1000 mg/l'ye kadar asetik asit görülebilir (14, 16, 29, 36). 1500 mg/l'nin üstünde bir değer çürüme prosesinin kötüleşmesine yol açar. Bu durum Kaltwasser'in grafiğinde açık olarak görülmektedir (Şekil 12).



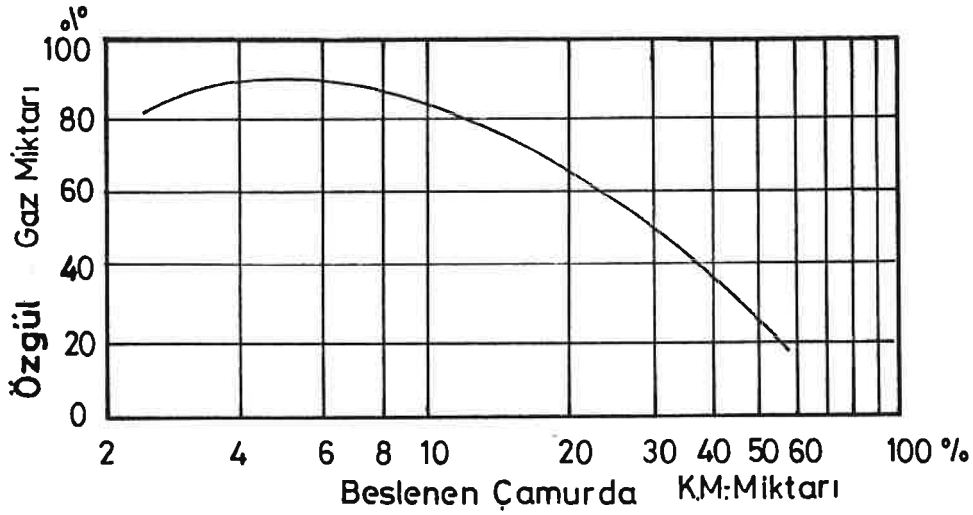
Şekil 11. Sıcaklığın gaz üretimine tesiri (14)



Şekil 12. Organik asit konsantrasyonunun gaz üretimine tesiri (14)

Uçucu asitlerin konsantrasyonu giriş yükünün değişimi ile kontrol edilebilir. Diğer bir büyüklük ise, son zamanlarda daha belirgin bir şekilde ön plana çıkan reaktör içerisindeki madde konsantrasyonudur. Reaksiyon hacimlerinin daha küçük tutulma istekleri, taze çamurun daha çok yoğunlaştırılmasını gerektirmektedir. Zira reaktörde oluşan fazla suyun reaktör

hacminden geri alınması biraz zor olmaktadır. Besleme çamurundaki katı madde oranının fazla oluşu çamur içerisinde mevcut mikroorganizmaların serbest hareketlerini zorlaştırır. Bundan başka oluşan metan ve diğer gazların ortamdan çıkışları da engellenir. Bu ilişki şekil 13'de gösterilmiştir.



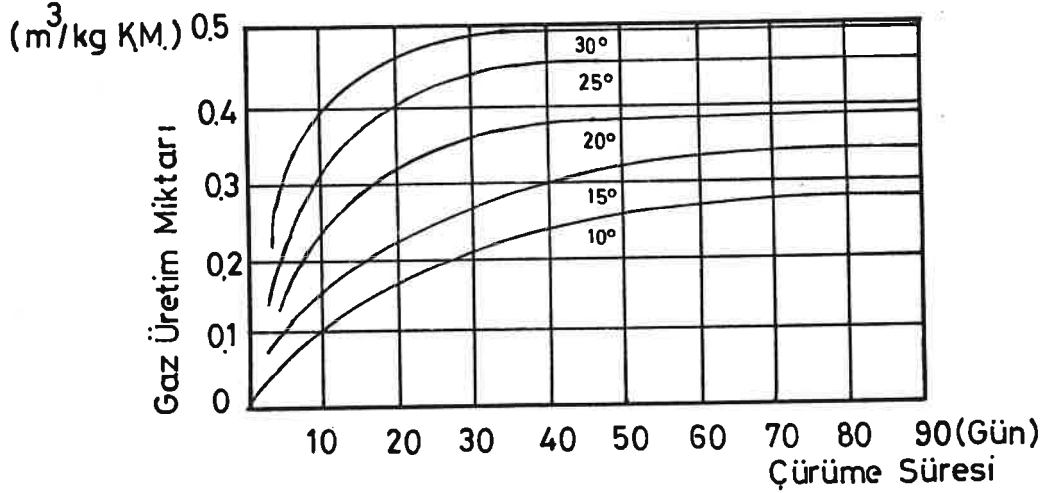
Şekil 13. Katı madde yüzdesinin gaz üretimine tesiri (14)

Grafikten % 9'dan % 10'a kadar katı madde oranlarının üst sınırlar olduğu ve reaktörün karıştırılabilirliğini güçleştirerek gaz üretimini azalttığı dikkate alınmalıdır.

Anaerobik çürütme prosesinin etkinliğinin değerlendirilmesinde gaz üretimi ve organik maddelerin stabilizasyonu dikkate alınır. Gaz üretimi m^3 olarak ölçülür ve değişik tanıtma büyüklüklerine de çevrilir. En basit fakat pek doğru olmayan bir ifade şekli çürütücü hacmine oranlanan gaz üretimidir.

Imhoff'a (29) göre, iyi çalışan belediye çürütme tesislerinde biyolojik gaz üretim miktarı $0,5-1,0 m^3$ biyogaz/ m^3 çürütücü hacmi olmaktadır. Maly ve Fedrus (35, 37, 38) yaptıkları deneysel çalışmalarda bu değerlerin üstünde değerler bulmuşlardır. Gaz üretiminin m^3/kg cinsinden verilen organik kuru madde tarzında ifadesi daha az kullanılmaktadır. Şu anda kullanılmakta olan karşılaştırma büyüklüğü organik kuru maddedir. Biyolojik gaz üretimi sisteme verilen veya ayrılan organik madde yüzdesiyle ilgilidir.

Fair ve Moor'e göre gaz üretiminin çürüme (hidrolik bekletme) süresi ile değişimi şekil 14'de verilmiştir.



Şekil 14. Fair ve Moor'e göre gaz üretimi (15)

Şekil 14'de görüldüğü üzere belirli şartlarda (sıcaklık 30°C, çürüme süresi 20'den 30 güne kadar) 450 ila 480 l/kg organik kuru madde gaz üretimi almaktadır. Bu değerler çoğu literatürce doğrulanmaktadır (30, 35, 37, 38, 39). Ancak laboratuvar şartlarında gaz üretimleri için oldukça yüksek miktarlar elde edilmiştir. Mc Carty 740 l/kg organik kuru madde vermektedir (36). Beslenen organik kuru madde içerisinde biyolojik olarak parçalanamayan ve çok zor ayrışan maddeler de bulunmaktadır. Bu yüzden en iyisi gaz üretimini ayrışan organik kuru madde bazında ifade etmektedir.

Standart gaz üretim değeri olarak 1,0-1,2 m³/kg ayrışan organik kuru madde verilebilir (30, 33, 39). Ayrıca bu büyüklük yalnız başına güvenilir bir parametre değildir. Zira bu parametre içerisinde biyolojik gaz üretimine yardımcı olan bütün çözünmüş organik maddeler dikkate alınmamıştır. Eckenfelder (33) bundan dolayı 1967 yılında gaz miktarının KOI ayrışmasıyla bulunmasını tavsiye etmiştir. Ancak bu metod uluslararası seviyede bir kabul bulmamıştır. Böylece karşılaştırılabilir neticeler elde edilmemektedir. Gaz miktarının yanında kalite olarak biyogazın bileşimi de önemlidir.

Biyogazın bileşimi onun değerlendirilebilirliğini ve kalorifik değerini belirler. Tek kademeli çamur çürütücülerden çıkan biyogazda CH₄ yaklaşık % 65-75, CO₂ ise % 25-35 arasındadır (29, 36, 38)⁴. Bundan başka da H₂S, N₂ ve O₂ gazları da eser olarak bulunurlar. Bunların miktarları çok nadir olarak % 1'i geçer. Biyogazın bileşimi çürütülen organik maddelerin yapısına ve işletme rejimine de çok bağlıdır.

Organik maddelerin stabilizasyonu anaerobik çürütme prosesinin verimi için önemli başka bir parametredir. Evsel atıksu çamurları için çok önemli bir tanımlayıcı değer kuru organik maddenin ayrışmasıdır. Bu parametre atıksu çamurunun reaktör içerisindeki hidrolik kalış süresine bağlıdır ve literatürde % 40 ila % 70 (30, 33, 35, 39) arasındadır. Bu stabilizasyonun değerlendirilmesi için bir kriter olarak KOİ giderimi kullanılabilir. Toplam KOİ içerisinde bazen biyolojik olarak ayrışmayan çeşitli maddelere de rastlanır. Gerçekten bu fark organik kuru maddeler de olduğu gibi yüksek değildir.

Tek fazlı çürütme prosesi için literatürde çeşitli veriler bulunmaktadır. Bunlar Tablo 4'te topluca verilmiştir.

Tablo 4. Tek fazlı çürümeye organik madde cinsine bağlı olarak literatür değerleri

KOI Giderimi	Organik madde türü	Kaynak
% 80	Nişasta v.b.	Kunst, Mudrack (6)
% 80	Atıksu Çamuru	Eckenfelder (33)
% 50-70	Domuz çiftliği atığı	Evison, Thomas (31)

Kaynaklarda halen bu büyüklükler hakkında yeterli bilgi bulunmamaktadır. Genel olarak tek kademeli çürütme de KOİ gideriminin yaklaşık % 75 mertebesinde olduğu bilinmektedir. Anaerobik çürütme prosesi içerisinde organik madde ayrışması hakkında bilgi veren üçüncü bir parametre ise organik asitlerin ayrışmasıdır. Bu, başlangıç ve netice miktarları arasındaki farktan hesap edilemez. Bu durum bütün çürütme süresi boyunca takip edilmelidir. Zira çürümenin başlangıcında uçucu asit konsantrasyonu büyük oranda artar ve metanlaşma safhası başladıktan sonra da tekrar azalır.

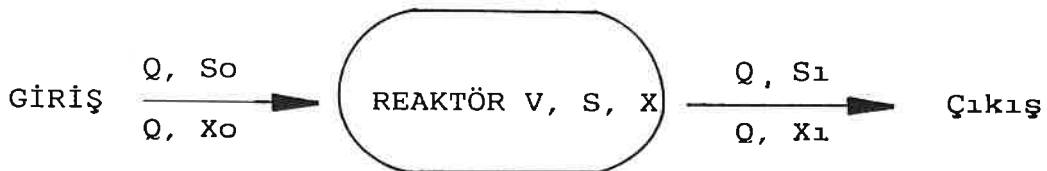
Tek kademeli çürüme prosesi hakkında daha gerçekçi bir kriter çürümüş atıksu çamuru içerisindeki organik asit miktarıdır. Literatürde sıkça rastlanan ve hepside birbirini doğrulayan değerler verilmektedir. Çürütücü çıkışında organik asitler çok büyük değişimler gösterebilmektedir. Bu değerlerin yaklaşık 500 mg/l asetik asit eşdeğerini geçmemesi istenmektedir (30, 33, 35, 39). Tablo 5 tek kademeli anaerobik çürüme hakkında toplu bir fikir vermektedir.

Tablo 5. Tek kademeli çamur çürütücü tasarım parametreleri

Tasarım Parametreleri	Literatür verilerine göre tavsiye edilen değer
-Hacim yükü organik madde olarak	4.0 kg/(m ³ .gün)
-KOI olarak	5.0 kg/(m ³ .gün)
-Çevre Şartları	
pH değeri	7,0-7,5
Sıcaklık	30-35°C veya 50-60°C
Org. asit konsantrasyonu	500-1000 mg/l
Katı madde konsantrasyonu	% 3-8
Gaz üretimi	
-Çürütme hacmine bağlı olarak	0,5-1,0 m ³ /(m ³ .gün)
-Verilen org. kuru madde	0,45-0,48 m ³ /(kg.gün)
-Ayrışan org. kuru madde	1,0-1,2 m ³ /(kg.gün)
-Gaz bileşimi	% 70 CH ₄ , % 30 CO ₂
Stabilizasyon	
-Kuru madde ayrışması	% 40-70
-KOI ayrışması	% 75
-Çıkışta organik asit konsantras.	500 mg/l

4.2. Tek Fazlı Çürümenin Reaksiyon Kinetiği

Reaksiyon kinetiğinin temelinde daha önce Böl. 2.4'de verilen Monod (39) eşitliğine dayanır. Kinetik denklemler basit olarak kitle dengesi yardımıyla elde edilir (Şekil 15).



Şekil 15. Tek fazlı bir reaktörde akış durumu

Burada,

Q = Giriş ve çıkış debi,

V = Reaktör hacmi,

S^o = Girişte substrat konsantrasyonu,

S = Çıkışta substrat konsantrasyonu,

X_1, X^o = Giriş ve çıkışta biyokitle konsantrasyonu,

$\bar{X}$ = Reaktörde biyokitle konsantrasyonu,

μ = Gerçek net çoğalma miktarı

t = zamanı

göstermektedir.

Çıkış noktasında biyokitle konsantrasyonu değişimi

$$dX/dt = Q.X^o + V.\mu.X - Q.X_1 \quad (5)$$

şeklinde yazılabilir.

İdeal tam karışımlı bir reaktörde:

$$V = Q.t \quad \text{veya} \quad Q = V/t \quad (6)$$

yazılabilir. Denklem (6), (5) nolu eşitlikte yerine yazılıp V parantezine alınırsa,

$$dX/dt = V(X^o/t + \mu.X_1 - X_1/t) \quad (7)$$

olur.

Biyokitle konsantrasyonu girişte sıfır kabul edilerek hiçbir organizma taşınmayacağı esas alınmış olur. (7) ifadesi basit olarak kararlı çalışma şartları için aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$dX/dt = 0 = \mu.X_1 - X_1/t \quad (8)$$

veya

$$\mu = 1/t \quad (9)$$

Bekleme süresi çoğalmayla ters orantılıdır ve bu çoğalma miktarına bağlı olarak yıkanmaya yol açmayacak mertebede seçilmelidir.

Organik madde ayrışması için yaklaşık bir denge eşitlik kurulabilir.

$$dS/dt = Q.S_0 - S - Q.S_0 \quad (10)$$

Organik madde miktarı biyokitledeki çoğalmayla orantılıdır.

Dönüşüm sabiti Y'dir. Bu kullanılan organik maddeden ne kadar biyokitle oluştuğunu gösterir.

$$dX/dt = Y.dS/dt \quad (11)$$

veya

$$S = 1/Y \quad X = (1/Y) \mu.X_1 V \quad (12)$$

Yukarıda gösterilen kararlı durumlar altında ve eşitlik (6)'nın da katılımıyla aşağıdaki eşitlik çıkarılır:

$$dS/dt = 0 = S_0 - S_1 - (1/Y)X_1 \mu.t$$

veya

$$S_1 = S_0 - (X_1/Y) \mu.t \quad (13)$$

Bununla birlikte çamur çürütme tankının verimi biyokitle konsantrasyonu ve çoğalma hızı vasıtasıyla hesaplanır.

Bu eşitliklerin pratik kullanımları için gerekli proses sabitleri elde edilmelidir. Hem çoğalma hızı hem de çoğalma miktarı çürütülen organik madde ve ortamdaki mikroorganizma cinslerine bağlıdır. Atıksu çamuru için ortalama değer olarak çoğalma hızı $0,08 \text{ gün}^{-1}$ kabul edilebilir. Pek çok bilim adamı bu büyüklükte değer bulmuşlardır. Buna göre tek kademeli anaerobik reaktördeki hidrolik bekleme süresi 12,5 gün olarak hesaplanabilir. Dönüşüm oranı için 0,04 ve 0,05 gr. organik kuru madde gr. KOI arasında değerler verilebilir.

Bu yaklaşık % 4-5 arasında organik maddelerin biyokitle üretimine dönüşmesi demektir. Kinetik sabitlerin tam olarak belirlenmesi yalnızca çoğaltılmış mikroorganizma kültürüyle ve özel substratlarla mümkündür. Buradan elde edilen neticelerin bir çoğu çürütme tesislerinin pratik işlemleri için hiç te anlamlı değildir. Ortalama değerler prosesin genel durumu hakkında genel bir fikir verebilir.

5. KAPİLER EMME SÜRESİ (CST) İLE FİLTRE EDİLEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

5.1. Genel

Aktif çamurların filtre edilebilirliğini ölçmek için pratikte kullanılan ölçüm sistemleri standartlaştırılmıştır (41, 42, 43, 44, 45). Bu meselenin çoktan beri bilinir olması, kapiler emme süresi (CST) parametresinin önemini bilimsel olarak hala ortadan kaldırmamıştır (48). Günümüzde bu konuda değişik ölçüm sistemleri de mevcuttur (46). Ancak daha sağlıklı bilgi verecek karşılaştırılabilir değerlerin elde edilebilmesi için ilave araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Atıksu çamurlarının suyunun alınması özellikle çamurdaki kolloidlere bağlıdır. Biyolojik çamurlar içerisinde bulunan çoğunlukla (uzun zincirli amino asitler) anaerobik ve aerobik stabilizasyonda ayrışırlar. İyi bir stabilizasyonla çamurun suyunun alınmasında iyileştirme meydana gelmektedir.

Teknik manada iyi bir stabilizasyon derecesi öngörülürse, bu sayede stabilize olmuş çamurda büyük parçaların (flok) yerini çok ince dağılmış ve parçalanmış zerrecikler, daha doğrusu zor çökebilen katı maddeler alırlar. Stabilizasyon yöntemi-ne ve şekline göre de bu çok ince parçacıklar değişik tesirlere sebep olurlar. Değişik araştırmacılar çamur suyu giderilmesindeki önemli parametreleri ortaya koymuşlardır. Bu parametreler çamur filtrasyonu prosesini tam olarak açıklamasa da genelde yeterli bilgiyi vermektedir. Çamur suyunun mekanik olarak alınması bakımından önemli parametreler aşağıda verilmiştir.

- Kuru madde miktarı (47, 48)
- Özgül ağırlık (47, 48)
- Dinamik viskozite (47)
- Tane çapı büyüklükleri ve dağılımları (47, 48)
- Kapılar emme süresi (CST) (47, 48)
- Sıkıştırılabilirlik (47, 48)

- Santrifüjlenebilirlik (47, 48)
- Yanma kaybı (UKM) (uçucu org. madde) / inorganik madde (İKM) (47, 48)

Kuru madde miktarı oldukça hızlı ve kolay bir şekilde çamurun yoğunlaşması veya suyunun alınması olayı hakkında bilgi verir. Kuru madde miktarının çok hızlı bir şekilde tayin edilmesi için mikro dalga fırınlar kullanılmaktadır, fakat bunlar henüz standartlaşmamıştır. Neuschafer (49) örneğin bu metodu kullanmış ve aynı zamanda bu deneylere paralel olarak yapılan standart deneylerden elde edilen neticelerle iyi bir korelasyon elde etmiştir. UKM çamur içerisinde mevcut organik madde miktarının iyi bir göstergesidir. Bu da belli ölçüde çamurun suyunu kolay veya zor alınabilirliğini gösterir. Yüksek oranda bir UKM uygun bir tane dağılımını ve floklu yapıyı gösterir. İKM ise bize mineral (inorganik) ifade eder.

5.2. Kapılar Emme Süresi (CST)

Baskerville ve Gale (50) tarafından CST ölçümü için ilk kez kullanılan sistem çok basit ve hızlı netice veren bir sistemdir. ATV. Fachausschusses 3.1, Eurocost (51), Loll (45) ve Unno (53)'ye göre CST tayini için 18 mm veya 10 mm iç çaplı ölçü silindiri standart filtre kağıdı (Whatman No.17) üzerine konur ve atık çamuruyla doldurulur. Çamur suyunun, deney düzeneği üzerindeki belli iki ölçüm noktası arasında aldığı yola karşı gelen zaman CST olarak bulunur. Ölçüm noktaları şekil 17'de görüldüğü gibi içiçe daireler üzerindedir. Bu dairelerin çapları 35 mm ve 45 mm'dir.

Ölçüm esnasında çökelme olup olmaması deney süresine bağlıdır. Bu süre 10 saniyeden 15 dakikaya kadar olabilir. Buna karşın ölçü silindiri küçük çapta ve atık çamurlar heterojen olduğundan çamurlar zor yoğunlaşabilir.

Unna, Muraiso ve Akehata (51)'ya göre filtre kağıdındaki filtratın süzülme süresi,

$$t = \frac{\delta^2 \epsilon^2 w^2 h^2}{2A^2} \left(\zeta_{\phi} gH + \beta \cdot \frac{\epsilon \cdot wh}{A} \cdot \left(r + \frac{A}{\epsilon \cdot w p k_f} \right) \cdot z^2 \right)$$

Burada,

η = Viskozite

ξ = Kullanılan kağıdın porozitesi

w = CST kağıdının genişliği

h = CST kağıdının kalınlığı

A = Filtre alanı

ζ = Çamurun özgül ağırlığı

g = Yer çekimi ivmesi

H = Atık çamur numunesi yüksekliği

β = Lif katmanının nemli dairesi/CST kağıdının su akış yönüne dik kısmı alanına oranı

σ = Lif tabakasında filtratın ara alan gerilimi

r = Spesifik filtrat direnci

KM = Kuru madde miktarı

k = Permaabilite (geçirgenlik)

Eşitlik basitleştirilebilir, zira yukarıda atık çamur numunesi yüksekliğine kadar sıralanan 7 parametre aletten bağımsızdır. Buna göre $t = \text{sabit} \cdot z^2$ kabul edilir. Kapılar emme süresi CST = $t - t - (z_2^2 - z_1^2) \cdot a$ ifadesinden hesap edilir.

Burada $z^2 = a + c + \phi/2$ için ve $z = a + b + c + /2$ için yukarıdaki eşitlikte yerine yazılırsa değişik aletler için geçerli özel faktörler elde edilebilir.

Çalışmada kullanılan sistem, özgül filtre direncinin ölçümünde, çok kullanılan standart bir sistemdir.

Bu yöntem atıksu çamurlarının suyunun alınabilirliği hakkında iyi bir fikir verebilir. Bu araştırma metodu uygulanması oldukça zor ve pahalı bir sisteme dayanır, aynı zamanda hatalı sonuçlar da vermektedir. Bundan dolayı uzun zamandan beri yeni bir yöntem aranmaktadır. Gayet tabii ki bulunacak yöntemin, mevcut yöntemin yerini alması beklenir. CST sisteminin esası İngiltere'de geliştirilmiş (1967) olup, bugün Almanya'da oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu ölçüm metodunun özelliği; filtrasyonun etkinliği, oluşan basınç kuvvetleri (alçak ve yüksek) ve kapılar emme kuvvetinden dolayı standart bir kağıda ihtiyaç göstermesidir. Alet iki parçadan ibarettir: Plexiglas'dan yapılmış bir plaka ve bu kısmı ölçü başlığına bağlayan kablo yardımıyla ikinci bir kısım. İkinci kısım da LCD-gösterge üzerinde saniyenin yüzde biri hassasiyetinde bir sayaç yer alır.

Ölçü başlığı iki adet plexiglas'dan meydana gelmektedir. Bunların arasına (70x90 mm) boyutlarında filtre kağıdı konur. Üst bloğun tam ortasında bir delik bulunur, bu delik içerisine numüne silindiri filtre üzerine yerleştirilir. Üst plexiglas levhanın alt tarafında 5 adet paslanmaz çelik ayakçık bulunur. Bunlardan ortada olanlar 2 ve 3 numaralı açma kontağı, üstteki 1 nolu ise kapatma kontağı vazifesini görür. Bu ayakçıklardan 1, 2 ve 3 nolu olanlar bir kabla yardımıyla Digital (sayısal) göstergeye bağlıdır.

Ölçü için küçük numune silindiri içerisine arıtma çamuru doldurulur. Kağıdın kapiler emme kuvveti ile çamurun suyu çamurdan ayrılarak kağıdın içerisine doğru alınır. Bu esnada devamlı büyüyen bir ıslak alan görülür.

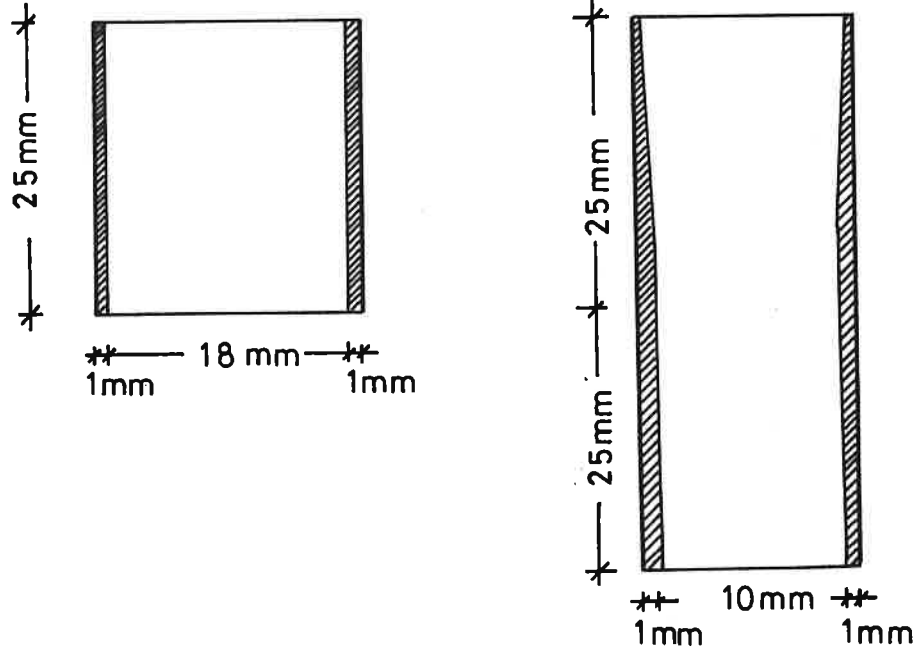
Şayet çamur suyu kağıt üzerinde kontakt noktalarından 2 ve 3'e ulaştınca sayısal gösterge çalışmaya başlar, merkezden 45 mm uzaklıktaki 1 nolu noktaya ulaştınca göstergenin çalışması durur. Bu durumda alet 3 kez ikaz sesi çıkarır ve kullanıcıyı okuması için uyarır. İki ve 3 nolu noktalardan 1 nolu noktaya kadar olan filtrasyon süresi kapiler emme süresi (CST) dir. Bu süre ne kadar küçük olursa arıtma çamuru suyunu o kadar kolay bırakır veya iyi filtre edilir (Şekil 18).

Tablo 6. Kullanılan CST-Kağıdının özellikleri

Özellikler	Birimleri	Whatmann	Schleicher+Schvell	
Ağırlık	gr/m	430	320	195
Kalınlık	mm	Belli değil	0,9	0,37
Emme Yüksekli.	dak/10	- " -	150 - 170	55 - 65
Su emmesi	gr/m	- " -	650 - 850	250-290

CST ölçümlerinin neticeleri kullanılan filtre kağıdına bağlı olarak büyük farklılıklar gösterebilir. Literatürde verilen çalışmaların çoğunda genellikle Whatmann 17 No'lu filtre kağıdı kullanılmıştır. Bu kağıdın özellikleri tablo 6'da verilmiştir. Çamur numunesi silindirlerinin boyutları henüz standartlaşmış değildir. Şekil 16'de gösterilen bir kaç çeşit

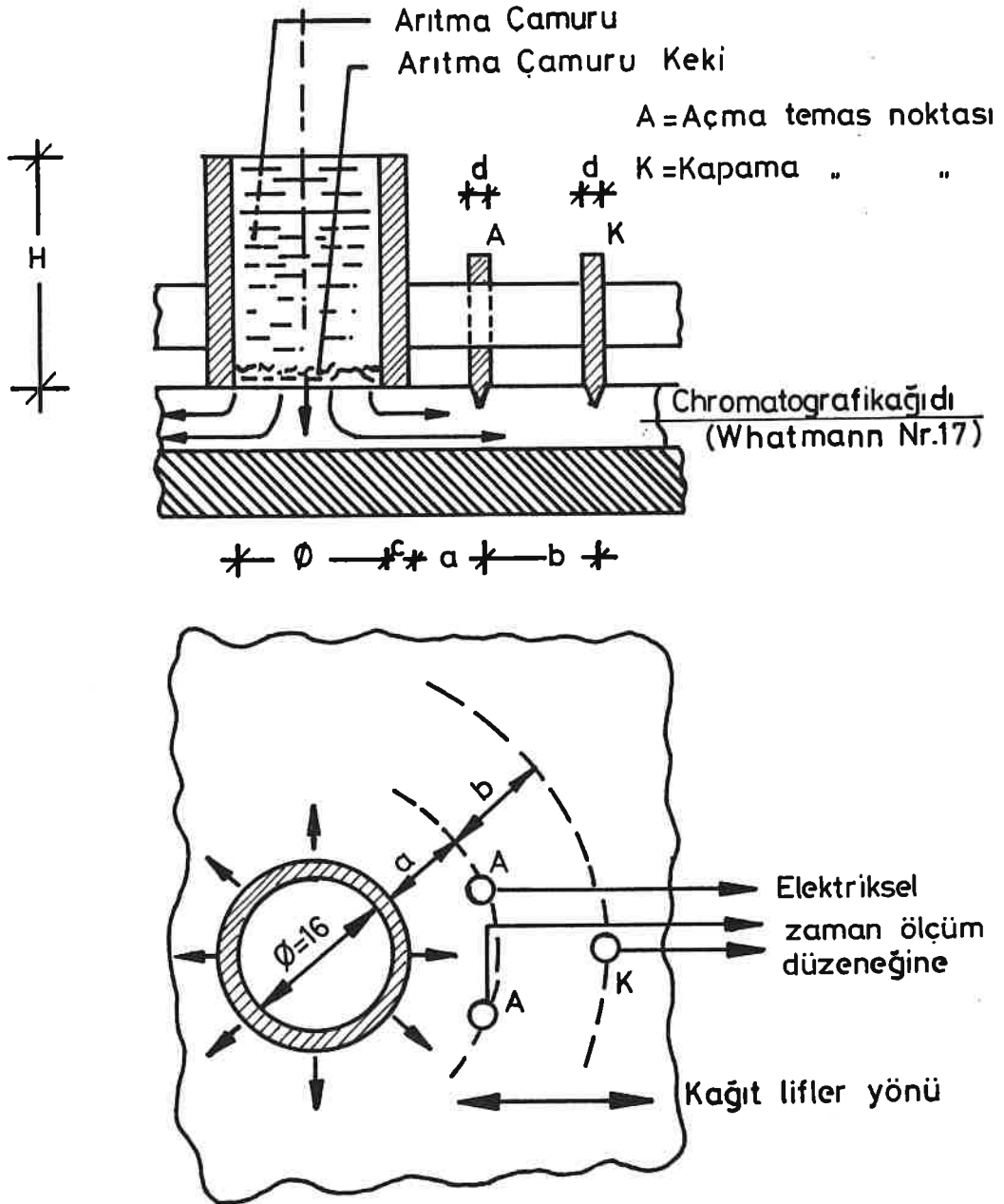
piyasada mevcuttur. Bu tipler de en önemli özellik bu küçük çamur silindirlerin oturma kesiti alanlarıdır (Tablo 7).



Şekil 16. CST ölçümü için iki değişik arıtma çamuru kutuları

Tablo 7. CST ölçü aletinin ebatları

Ebatları	Alet 1	Alet 2	Alet 3
a (mm)	6.125	7.925	6.25
b (mm)	6.47	4.55	4.60
c (mm)	1.00	1.10	1.20
ϕ (mm)	17.85	18.0	16.0
H (mm)	25.05	30.0	30
d (mm)	0.65	0.45	0.40
Silidr.Malz.Cin.	Pirinç'den	Paslanmaz çelik	Pasl.çelik



Şekil 17. Kapiler emme süresi ölçüm aletinin (CST) şematik görüntüsü

6. MODEL TESİS ÇALIŞMASI VE DENEYSEL ÇALIŞMA PLANI

6.1. Genel

Atıksu arıtma tesisinden çıkan ve arıtmanın nihai ürünü olan arıtma çamurlarının karakteristikleri çoğu kez yerel olarak kullanılan teknolojiye göre farklıdır.

Giderek artan atıksu çamur miktarları çok güncel bir problemdir (54). Bu çamurlardan aynı zamanda kullanılabilir, enerji (CH₄-gazı) geri kazanılabilir.

Arıtma çamurlarının bir yöre, bölge sanayi hayat standartları ve daha da önemlisi kullanılan teknolojiye göre farklı olmaları nedeniyle, bu çamurların büyük ölçekli tesislere alınmadan önce laboratuvarında model tesis çalışmalarıyla (fiziksel, kimyasal ve biyolojik) incelenmesi yaygın bir yaklaşımdır. Biyolojik modellemelerde model ölçeği çok fazla önem taşımaz ve pek çok problem rahatlıkla çözüme kavuşturulabilir.

Bu bölümde tezde kullanılan model tesis tanıtılmaktadır. Bu amaçla Chemnitz-Heinersdorf merkezi atıksu arıtma tesisi işletme binasında kurulan bir model tesiste yapılmış çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir.

6.2. Çamurların Alındığı Merkezi Arıtma Tesisinin Tanıtımı

Çamur numunelerinin alındığı arıtma tesisi Almanya'nın Chemnitz-Heinersdorf merkezi arıtma tesisidir. Tezin deneysel çalışmaları Dresden Teknik Üniversitesinin sağlamış olduğu özel araştırma bursuyla 01/05/1992-30/08/1992 tarihleri arasında bu tesisde gerçekleşmiştir. Chemnitz-Heinersdorf merkezi atıksu tesisi 500 bin eşdeğer nüfusun atıksularının arıtıldığı aktif çamur sistemidir. Çalışmanın yürütüldüğü sırada bu

tesisde biyolojik nütrient giderimi ile ilgili düzenlemeler yapılmıştır.

Arıtma tesisinin bu düzenlemeden sonra KOI, BOI₅, TKN ve TP giderim verimleri ileride Tablo 9'da verilmiştir. Tesisin havalandırma ve son    t rme birimlerinin planı şekil 18'de,  n    t rme havuzunun kesiti ve şekli, şekil 19'da mekanik ve biyolojik arıtma birimlerinin genel görünüşleri şekil 20 ve 21'de verilmiştir.

Kullanılan çamurların organik kirlilik yüklerini belirlemek için KOI ve BOI₅ parametreleri ölçülmüştür. Bu iki parametre alınan çamurların toplam kirlilik yükü ve biyolojik olarak ayrışabilecek kısmı hakkında bilgi verir. Çamurda AOX (Klorlu Organik Bileşikler) ve ağır metaller de ölçülmüştür. KOI ve BOI₅ Alman Standartlarına (DIN) uygun olarak kompozit numunelerde belirlenmiştir.

6.3.  n  alışmalar

 n  alışma olarak önce 0,25x0,55x1,70 m. ebatında bir tankta  n   keltim havuzu çamur konisinden mobil bir pompayla alınan birincil (primer)  amurda yoğunlaştırma deneyleri yapılmıştır. Bu çalışmalarda primer çamurun çürütülmesinden önce yoğunlaştırılması gereklidir. Zira  n tasfiyeden alınan çamurda kuru madde miktarı yalnızca % 1,5-2,4 arasındaydı.

Model tesis yapıldıktan sonra laboratuvara yerleştirilmiş ve çalışmalara başlanmıştır. Model tesis orijinal çamurla çalıştırılmadan önce bir teste tabii tutulmuştur. Bu test çalışması aşı çamurunun alınıp getirilmesine kadar devam ettirilmiştir. Mevcut merkezi arıtma tesisinden alınan aktif çamur filtre edilmiş ve kuru madde miktarı yaklaşık 45 gr/lt'ye yükseltilmiştir. Primer  amur ise, aynı şekilde 0,5 mm'lik bir elekten geçirilerek yoğunlaştırılmış ve bu işlemden sonra kuru madde miktarı yaklaşık 45 gr/lt olmuştur.

Reaktörlere konulan atık çamurların oranları aşağıdaki gibidir:

Reaktör I: % 100 Fazla çamur (aktif çamur)

Reaktör II: % 50 Aktif çamur+% 50 Birincil (primer) çamur

Reaktör III: % 100 Birincil (primer) çamur.

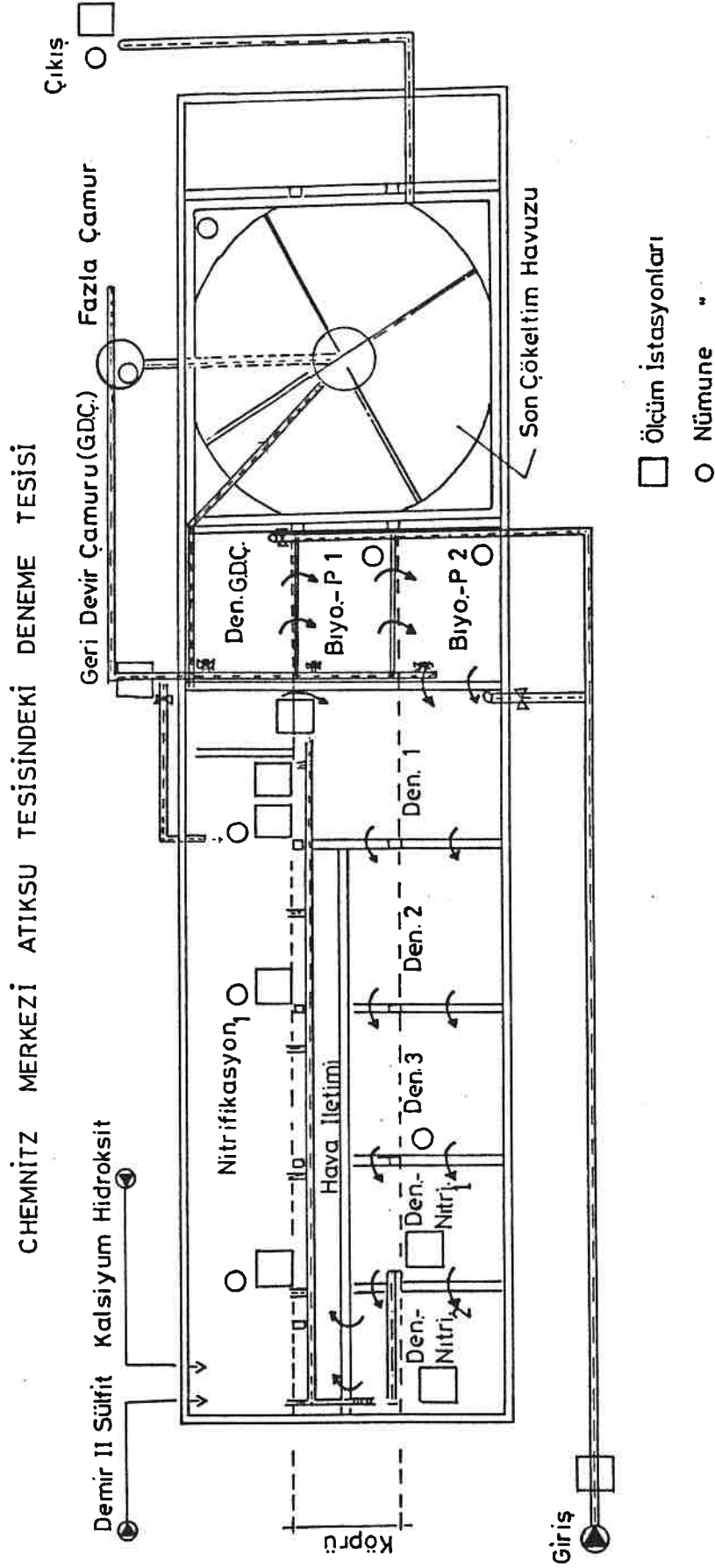
Kullanılan primer çamur 1 ve 2 nolu ön çökeltim havuzlarının çamur konilerinden, sıyırıcının dönüşüne uygun olarak alınmıştır. Primer çamurun 05 mm'lik bir elekten geçirilmesi gerekmiştir. Zira kaba malzemenin (saç, tel v.b. maddeler) model tesisi tıkanmasının önlenmesi gerekmiştir.

Ayrıca yapılan deneylerle çamurların biraz yoğunlaştırılması gerekiyordu. Zira ön arıtmadan çıkan çamurların kuru madde miktarı % 1,5-2,4 olarak bulunmuştur. Bir günlük sürede yapılan yoğunlaştırma deneyleri sonunda erişilebilecek kuru madde miktarı 40-60 gr/lt aralığında kalmıştır. Ancak teknolojik olarak yoğunlaştırma süresi 4 saat ve kuru madde miktarı ise 30 gr/lt'den büyük olmaktadır. Bundan dolayı çürütücü hacminin boyutlandırılmasında primer çamurun kuru madde miktarı 35 gr/lt olarak kabul edilebilir. Primer çamurun elekten geçirilmesinde (03 mm) kalıntı kısmı toplam kısmın yaklaşık % 20-30'u dur. Çamurlarda da zaman zaman da AOX (Klorlu organik bileşikler) tayini yapılmış ve AOX=229-310 mg/(kg kuru madde) bulunmuştur.

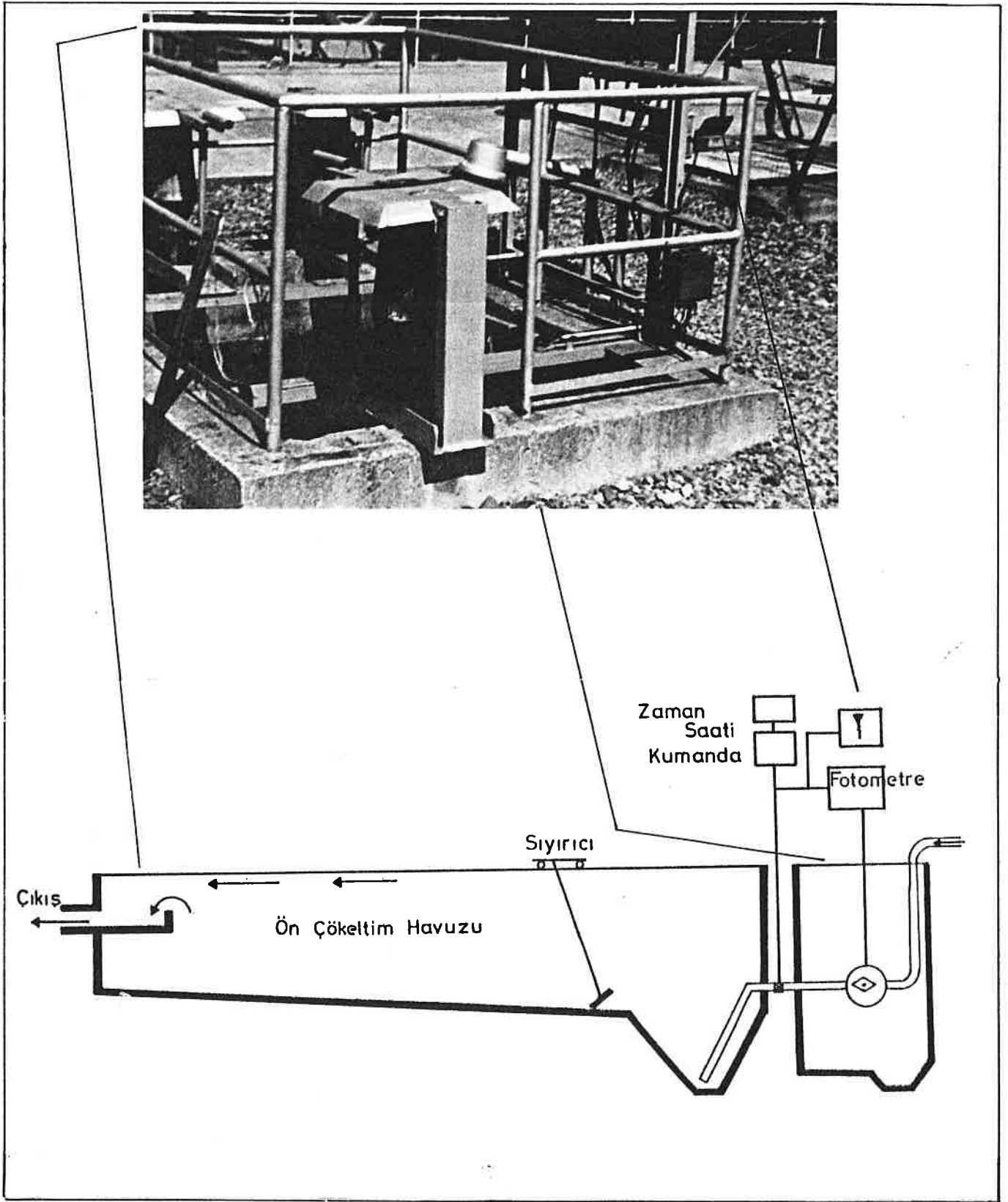
KOI ve BIO Yükleri

5

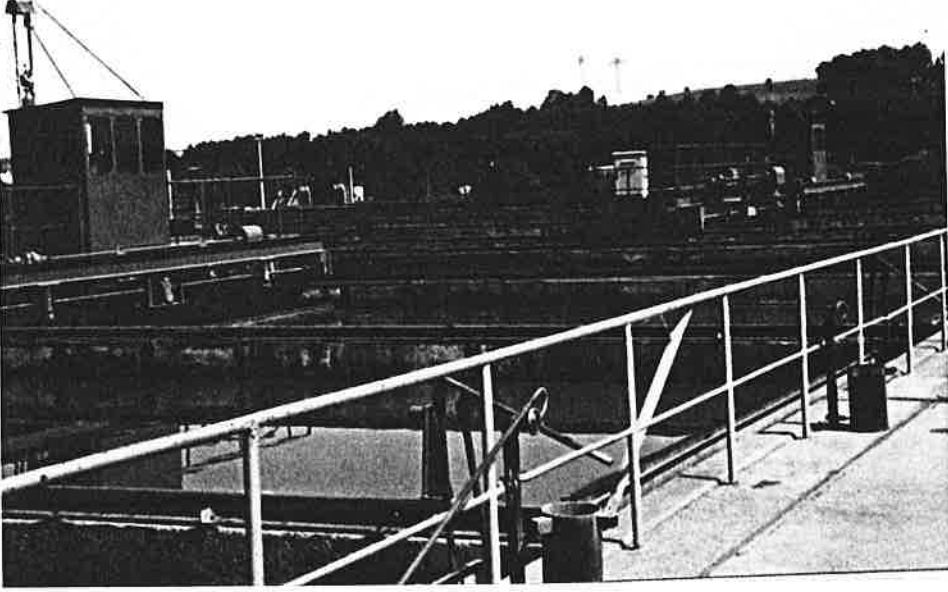
Araştırma yapıldığı sırada merkezi tesisin günlük ortalama KOI yükü 62,3 t/gün kadardı. Bu değer kurak hava yükünden çok büyük fark göstermemektedir. Kurak hava yükü 58,7 t/gün idi. Ortalama birim kirlilik yükü 120 gr KOI/Kişi.Gün alındığında bu değer yaklaşık 500 bin eşdeğer nüfusa tekabül etmektedir. Hafta sonları bu yük yaklaşık hafta için yüklerin % 83'üne düşmektedir. Bu durum atıksuyun büyük bir kısmının evsel atıksulardan meydana geldiğini göstermektedir. Mevcut verilerle sanayiden gelen yüklerin miktarı kolay anlaşılmamaktadır.



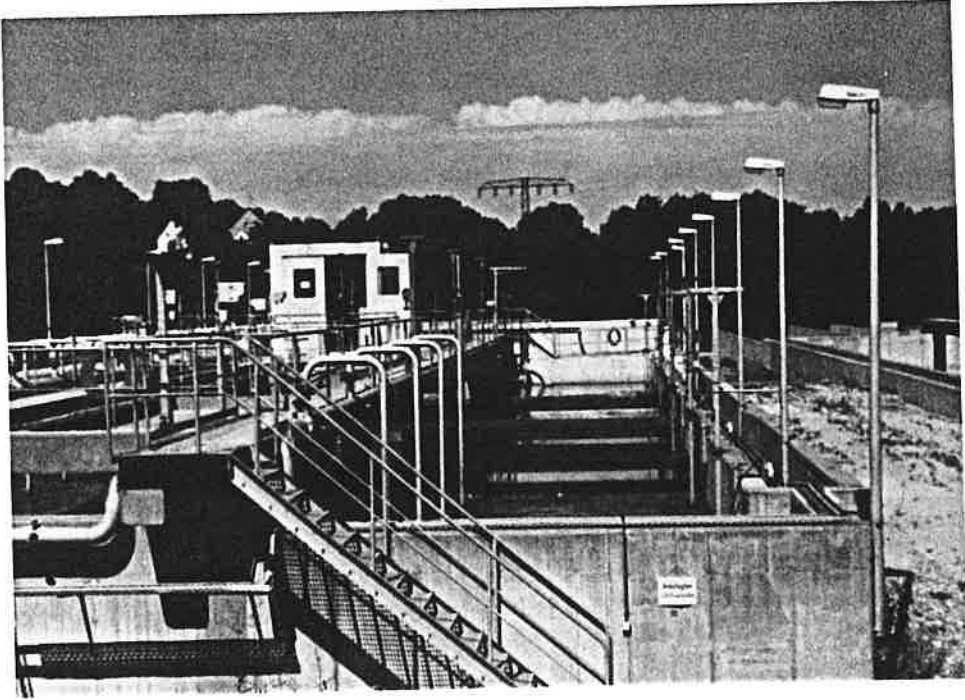
Şekil 18. Chemnitz/Heinersdorf arıtma tesisi şematik planı



Şekil 19. Merkezi atıksu tesisinin ön çökeltim havuzundan primer çamurun çekilip alınması



Şekil 20. Atıksu tasfiye tesisinin Mekanik kısmından bir görünüm



Şekil 21. Biyolojik aktif çamurun alındığı tesisten bir görünüm

Şiddetli yağmurların neticesi KOİ yükü 80 t/günden 90 t/gün'e çıkmaktadır. Maksimum KOİ miktarı yaklaşık 3.8 t/saat olup Q debisine karşı gelmektedir. Kurak hava ortalaması 466 mg KOİ/l¹⁶t olup evsel atıksular için normaldir.

Merkezi tesisin ortalama yükü kurak havalarda 58,7 t KOİ/gün (30,4 t BOİ₅/gün) dür. Maksimum saatlik yük 3.8 t KOİ/saat ve 2,0 t BOİ₅/saattir.

Asılı Katı Madde (AKM) Yüğü

Çökelebilen maddeler, Imhoff konisinde 2 saatlik bir çökelme süresi sonunda ölçülmüştür. Buna göre günlük ortalama AKM yükü kurak hava da 32 t/gün yağışlı havalarda 34,2 t/gün'dür.

Çökelebilen maddeler 2 saat zarfında yaklaşık % 2.1 kuru maddeye ulaşmaktadır. Kurak havada bu miktar 11,2 t/gün'dür. Bu da hacimce yaklaşık 528 m³/gün çamura karşı gelir. Bütün, ön çöktürme havuzlarının çamur toplama tanklarından günde yaklaşık 575 m³ birincil çamur alınmaktadır.

Azot Bileşikleri

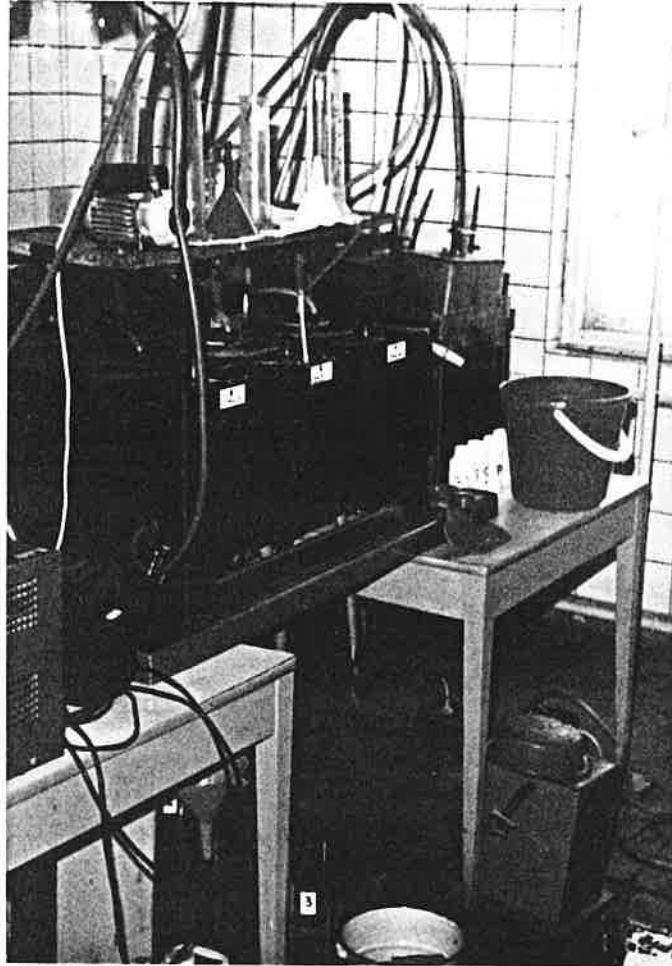
Evsel atıksular tipik organik azot bileşikleri ve amonyum-azotu (NH₄-N) içermektedir. Ham evsel atıksularda nitrate rastlanmaz, ancak sanayi sularının karışması veya nitratlı yeraltı suyunun kanalizasyona girmesi sonucu nitrat gözlenebilir. Araştırmaların yapıldığı sürede merkezi tesis girişinde NH₄-N, NO₃-N ve NO₂-N belirlenmiştir. Bu parametreler için aşağıdaki oranlar bulunmuştur: TKN:NH₄-N, NO₃-N ve NO₂-N=1:0,7:05,:0,006.

Fosfor Yüğü

Fosfor yükü çoğunlukla fosseptik deşarjları (vidanjörlerle) ve temizlik maddelerinden kaynaklanmaktadır. Tesise sanayiden gelen fosfor miktarının hesabıyla ilgili veri elde edilememiştir. Bu yük 4 gr/kişi.gün olarak kabul edilmiş, fakat düşük fosforlu temizlik maddelerinin (deterjan) kullanımı ile bu değer 2,5 gr/kişi.gün'e inmiştir.

Model Tesis Özellikleri

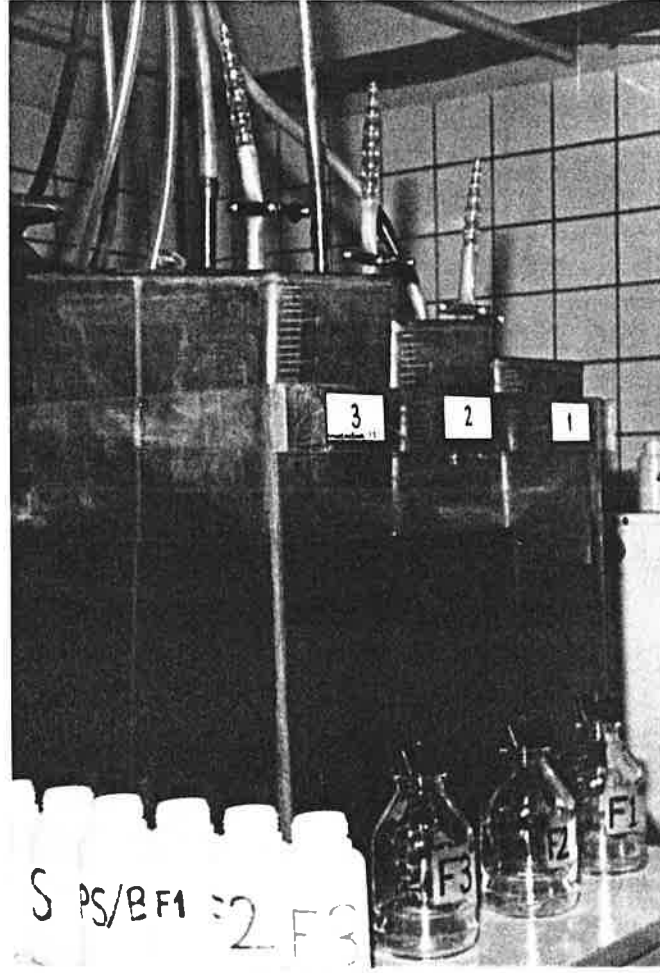
Fiberglas malzemedan yapılmış herbirin hacmi 8 lt olan (Şekil 22) üç adet reaktör bir su banyosu içerisine yerleştirilmiştir. Otomatik bir ısıtma sistemi bu su banyosuna bağlanmış ve sıcak suyu bütün hacimde döndüren bir pompa yardımıyla ısı dağılımı üniform kılınmıştır. Çürütme tankları bir zaman rolesi kontrolünde mekanik karıştırıcılarla kesikli olarak (saatte 5 dk) karıştırılmıştır. Gaz üretimi her üç reaktör için hacim yer değiştirmesi tekniği ile ölçülmüştür (Şekil 23).



Şekil 22. Reaktörlerden genel bir görünüş

Model reaktörlerin yapılışı itibarıyla çamur numunelerinin alınması ve besleme esnasında sisteme havanın girişi engellenmiştir.

Chemnitz-Heinersdorf'da tesis edilen bu model reaktörlerin her birinde toplam hacmin 5 lt'lik kısmı kullanılmış günlük



Şekil 23. Çürütme gazı (biyogaz) ölçüm kılıfları

besleme miktarı 250 ml/gün olarak sabit tutulmuştur. Reaktörlerdeki ortam sıcaklığı ise $T=35^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ de sabit tutulmuştur. Reaktörler daha önceden de belirtildiği üzere kesikli karıştırılmıştır.

Biyolojik arıtma tesisinden alınan aktif çamur model reaktörlere beslemeden önce, alınır alınmaz, Dr.Lange'nin bir sondası yardımıyla katı madde miktarı ölçülmüş ve buna göre bir filtre bezi ile primer çamur yoğunlaştırıldıktan sonra tekrar çökelmeye bırakılarak katı kısmı alınmış ve reaktöre beslenmiştir. Böylece bu çamurda kuru madde miktarının uygun olması sağlanmıştır. Aynı zamanda biyolojik azot ve fosfor giderimi için de düşünülmüş olan merkezi arıtma tesisinden fazla çamur alma borusundan (geri dönüş hattı) aktif çamur alınmış ve önce kuru madde miktarı Dr.Lange sondesiyle ölçülmüştür. Sonra biraz çökelmeye bırakılarak yaklaşık 5 gr/lt'ye kadar yoğunlaştırılmıştır. Ardından filtre bezinden (PİV) süzülerek istenilen yoğunluğa erişilmiştir. Bu filtre bezi (PİV) Alman-

ya'da bantlı yoğunlaştırıcılarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Model Tesisin İşletmeye Alınması

Model çürütme reaktörleri Münchenhofe/Berlin'deki atıksu arıtma tesisinin çürütme tankından alınan aşı çamuru ile aşılanmıştır. Reaktörlere 5'er lt aşı çamuru konmuştur. Laboratuvar ölçekli çürütme tesisi $35^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ de ısıtılmıştır. Kararlı bir gaz üretimi için bütün araştırma devresi boyunca pH = 7,0 tutulmuştur. 20 günlük alıştırmada herhangi bir olumsuzluk gözlenmemiştir. Bu deneylere yapılmaya başlandığında yağışlar dolayısıyla merkezi tesisdeki organik madde miktarı çok düşük seviyelerde kalmıştır. Bu süre zarfında primer çamur yoğunluğu artırılmıştır.

6.3. Model Kurulması

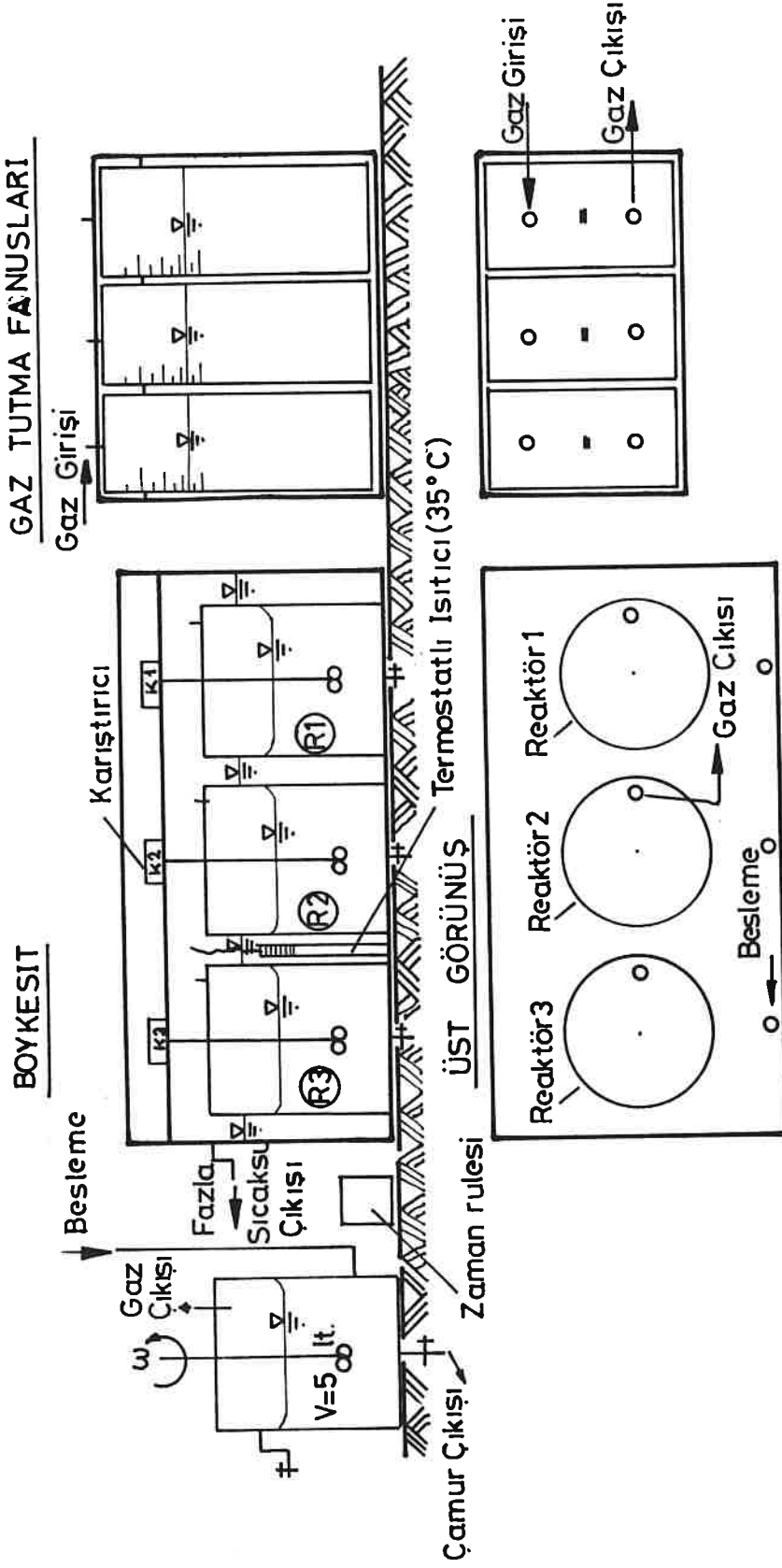
6.3.1. Model Ölçeğinin Seçimi

Biyolojik ve kimyasal araştırmalarda ölçek seçiminin pek büyük bir önemi yoktur. Ancak istenilen diğer şartların yerine getirilmesi şarttır. Çalışılan modelde, reaktör sıvı hacimleri $V=5$ lt seçilmiştir. Bundaki temel sebep besleme debisinin 250 ml/gün (hidrolik bekleme süresi 20 gün) seçilmesidir.

Çalışılan model çürütme tesisi Şekil 24'de boyutlarıyla birlikte şematik olarak görülmektedir.

6.4. Deneysel Çalışma Planı

Alıştırma (işletmeye alma) devresi de dahil olmak üzere deneysel çalışmalar 40 gün sürdürülmüştür. Çalışma boyunca izleme programı çerçevesinde yapılan deneylerde ölçme (numune alma) noktası, parametreler, ölçme sıklıkları ve yöntemleri Tablo 8'de topluca verilmiştir.



Şekil 24. Model çürütme tesisinin sematik bir görüntüsü

Tablo 8. Topluca deneysel ölçme noktaları, ölçme sıklığı ve Yöntemi

Ölçülen Parametre	Ölçme Noktası	Ölçme Sıklığı	Ölçme Yöntemi
BOI ₅	Reaktör G _g /Ç _g	1 kez hafta	OXİ 530, DİN 38409
KOI	" "	Günlük	Dr.Lange, Küvetten Test
NH ₄ -N	" "	3 kez/hafta	Spektrolphotometer
Toplam P	" "	3 kez/hafta	CADAS 100
TKN	" "	3 kez/hafta	" "
CST	Beslenen çamurda ve çürümüş "	Günlük	Toplam kjeldah Azotu (TKN) Dr. Lange
CO ₂	Reaktör çıkışı	Günlük	Bakınız. Bölüm 5.2
CH ₄	" "	"	C.Analyzer mit IR
H ₂ S	" "	"	Detektor
UKM	" "	"	Gaschromotograph mit FD
IKM	" "	"	
pH		Sıkça	
Organik Asitler		Günlük	

7. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI

7.1. Genel

Bu bölümde 6. bölümde izah edilen laboratuvar ölçekli reaktörlerde yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar takdim edilmiştir.

7.2. Merkezi Arıtma Tesisinin Çalışmalar Sırasındaki Durumu

Çalışmanın yapıldığı sırada merkezi atıksu arıtma tesisinin uzun süreli ölçümlerin ortalaması cinsinden ifade edilen giriş, çıkış konsantrasyonları ve organik madde giderme verimleri tablo 9'da verilmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi tesis-ten karbonlu organik maddeler yanında oldukça etkili bir şekilde biyolojik nütrient giderimi sağlanmaktadır. Tesis çıkışındaki TKN değeri 3.4 mg/l gibi fevkalade düşük seviyelere inmektedir. Literatürde klasik aktif çamur tesislerin biyolojik çamurlarındaki azot ve fosfor değerleri,

Toplam N = 300-100 mg/gr KM

Toplam P = 9-15 mg/gr KM

olarak verilmektedir (55).

Biyolojik nütrient giderimli Chemnitz-Heinersdorf merkezi arıtma tesisindeki biyolojik fazla çamurların toplam fosfor konsantrasyonlarının 60 mg/gr. K.M.'den daha büyük değerlere ulaştığı gözlenmiştir. Bu durum etkili bir fosfor gideriminin açık göstergesidir. Bu çamurda ortalama BOI/KOI oranı 0.2 olarak bulunmuştur. Böyle bir oran çamurun yeterince stabil olmadığını göstermektedir Zira, yeterli bir stabilizasyon için BIO/KOI oranının 0.15 olması gerekmektedir (45).

Tablo 9. Giriş ve çıkış atıksuyu özellikleri

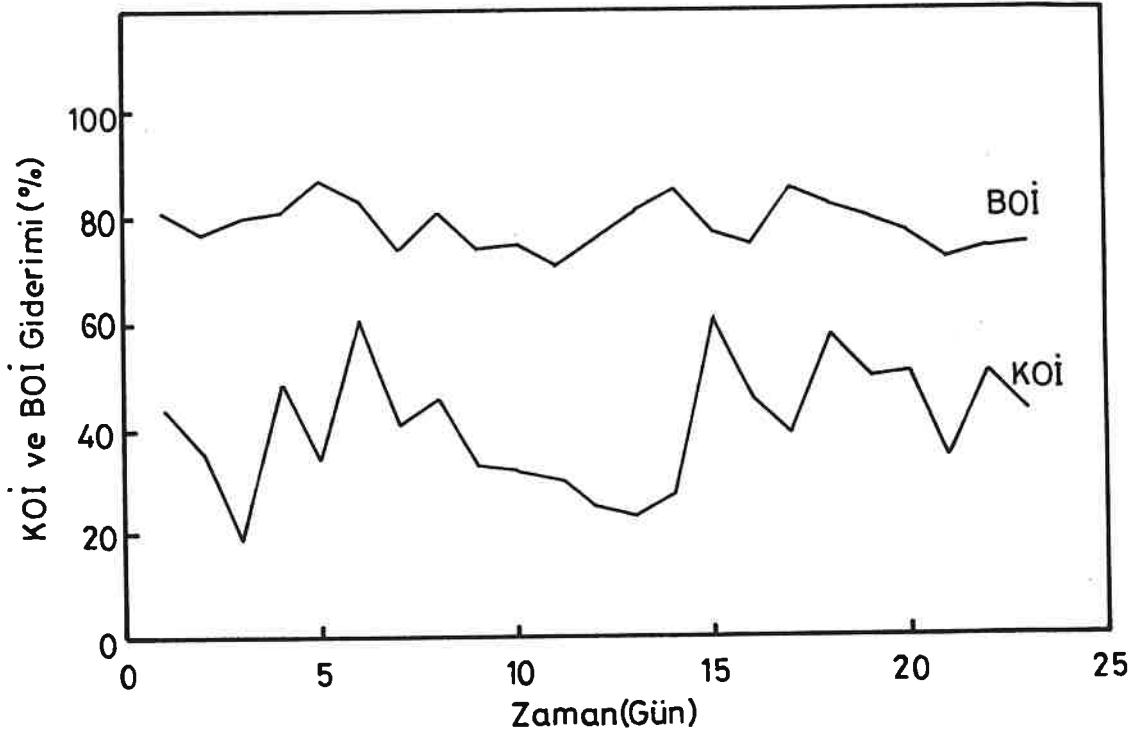
Parametre	Birimi	Giriş	Çıkış	Giderim
KOI	mg/l	199	25	% 87
BOI	mg/l	90	13	% 86
TKN	mg/l	23.6	3.4	% 86
TP	mg/l	4.9	17	% 65

7.3. Anaerobik Çürütme Deneyleri

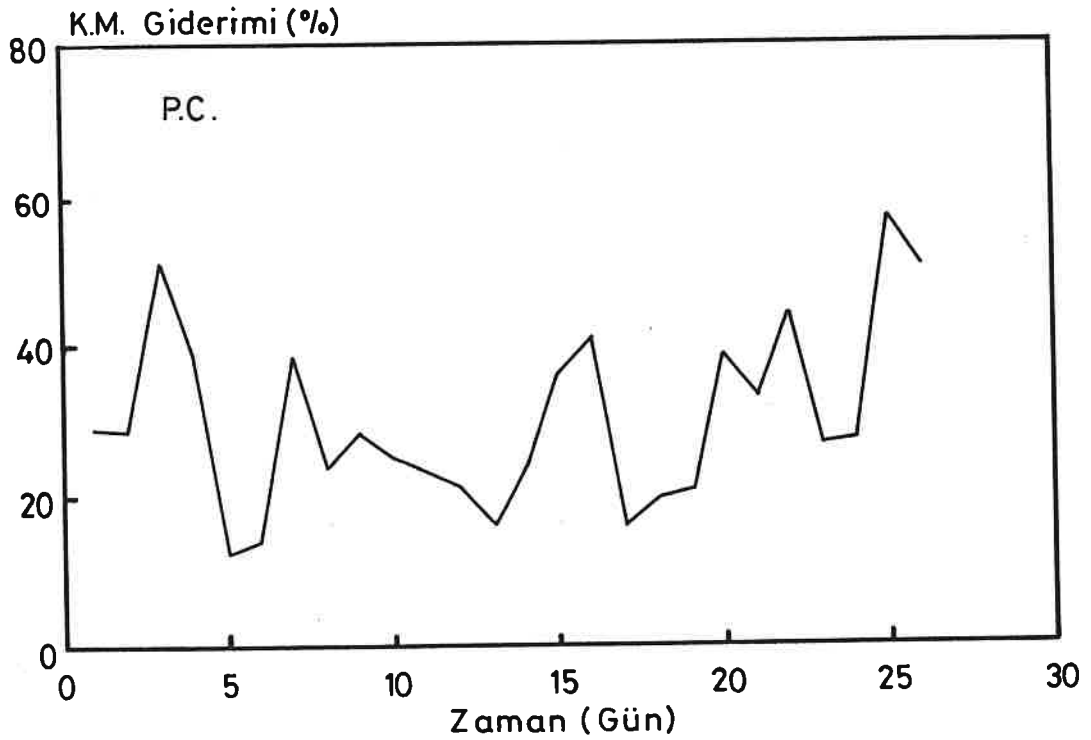
Anaerobik çürütme deneyleri daha önce bölüm 6'da izah edildiği üzere model reaktörlerde üç farklı cins (birincil, biyolojik aktif ve birincil+biyolojik aktif çamur) çamur için ayrı ayrı ve mezofilik şartlarda yürütülmüştür. Model reaktörlerden çalışma programına göre alınan çürümüş çamurlarda da çürüme öncesi çamur deneylerinin aynısı yapılmıştır. Ayrıca çürümüş çamurlarda uçucu (organik asit) miktarları da ölçülmüştür. Çalışma süresince ölçülen ve tablo 8'de verilere ilaveten renk, koku ve fiziksel görünümle ilgili gözlemler de ayrıca kaydedilmiştir.

7.3.1. Primer Çamurla Yapılan Çürütme Deneyleri

Chemnitz-Heinersdorf merkezi atıksu arıtma tesisinin primer çamurunun özellikleri model deneyler öncesi tespit edilmiştir. Bu tesisin primer çamurları ortalama % 70 UKM ihtiva etmektedir. Primer çamur numuneleri her gün bu tesisin ön çökeltim havuzundan sıyırıcı çamur konisi kenarına ulaştığı anda (DIN 38414'e göre) alınmıştır. Şekil 19'da görüldüğü üzere alınan primer çamur 05 mm'lik elekten geçirilerek yoğunlaştıktan sonra 3 nolu model reaktöre 250 ml/gün günlük debi ile beslenmiştir. Çürütme deneyinde kullanılan primer çamurun KM oranları % 1.5-2.4 aralığında değişmiştir. Yoğunlaştırma sonucu bu çamurun KM oranı, KM konsantrasyonu 30-40 gr/lt (% 3-4 KM)'ye yükseltilmiştir.



Şekil 25. Primer çamurun anaerobik mezofilik çürütülmesinde KOI ve BOI₅ giderimlerinin zamana göre değişimi



Şekil 26. Primer çamurun anaerobik mezofilik çürütülmesinde KM Gideriminin zamana göre değişimi

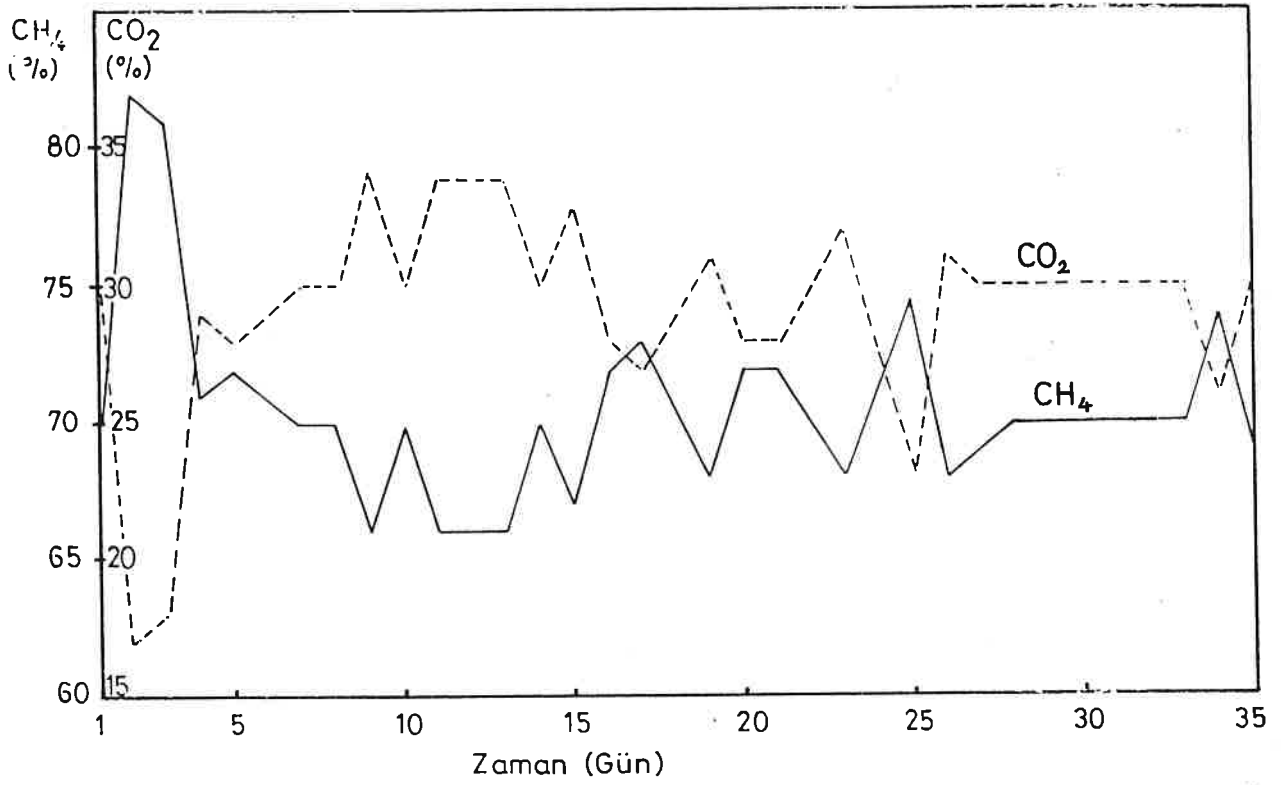
Primer çamurun çürütüldüğü 3 nolu reaktördeki BOI ve KOI giderimlerinin zamana göre değişimi Şekil 25'te verilmiştir. Aynı reaktörde K.M. gideriminin zamana göre değişimi de Şekil 26'da ayrıca verilmiştir. Çürüme sonucu açığa çıkan biyogazın CH₄ ve CO₂ yüzdeleri Şekil 27'de görülmektedir. K.M. giderimi ile KOI ve BOI giderimleri arasındaki ilişki Şekil 29 ve 30'da da görüldüğü gibi anlamlı değildir. Reaktörlerde üretilen biyogazın miktarının zamanla değişimi Şekil 28'de verilmiştir.

7.3.2. Primer Çamur ve Biyolojik Çamur Karışımı ile Yapılan Deneyler

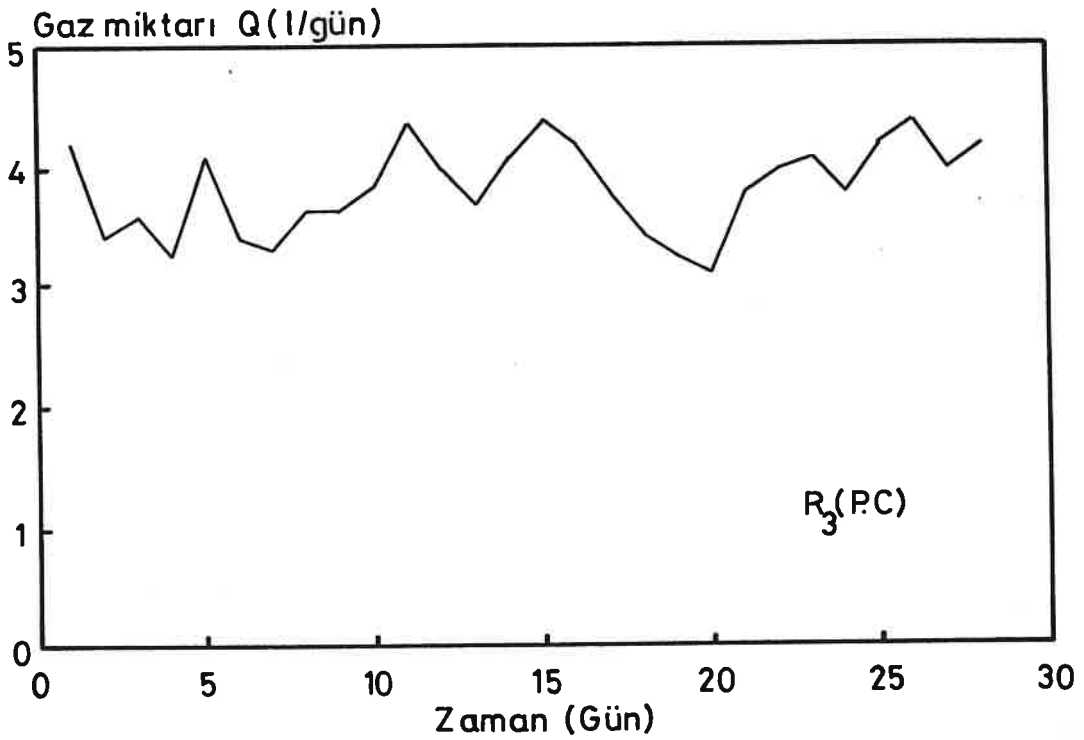
Merkezi arıtma tesisinden alınan primer ve biyolojik aktif çamur numuneleri ayrı ayrı yoğunlaştırılarak 1:1 oranında karıştırılmış ve teşkil edilen numune hidrolik bekleme süresi 20 gün olacak şekilde (250 ml/gün) 2 nolu reaktöre beslenmiştir. Mezofilik şartlarda yürütülen anaerobik çürütme işlemi bir aya yakın bir süre ile izlenmiştir. İki nolu reaktördeki KOI ve BOI giderimlerinin zamanla değişimi Şekil 31'de verilmiştir. KOI₅ ve BOI giderimlerinin K.M. giderimiyle ilişkileri Şekil 32 ve 33'de görülmektedir. Bu ilişki pratik olarak bu korelasyon fazla bir anlam taşımamaktadır. Reaktörde üretilen biyogazın miktarı ve kompozisyonunun zamanla değişimi de Şekil 34 ve 35'te verilmiştir.

7.3.3. Biyolojik Aktif Çamurla Yapılan Deneyler

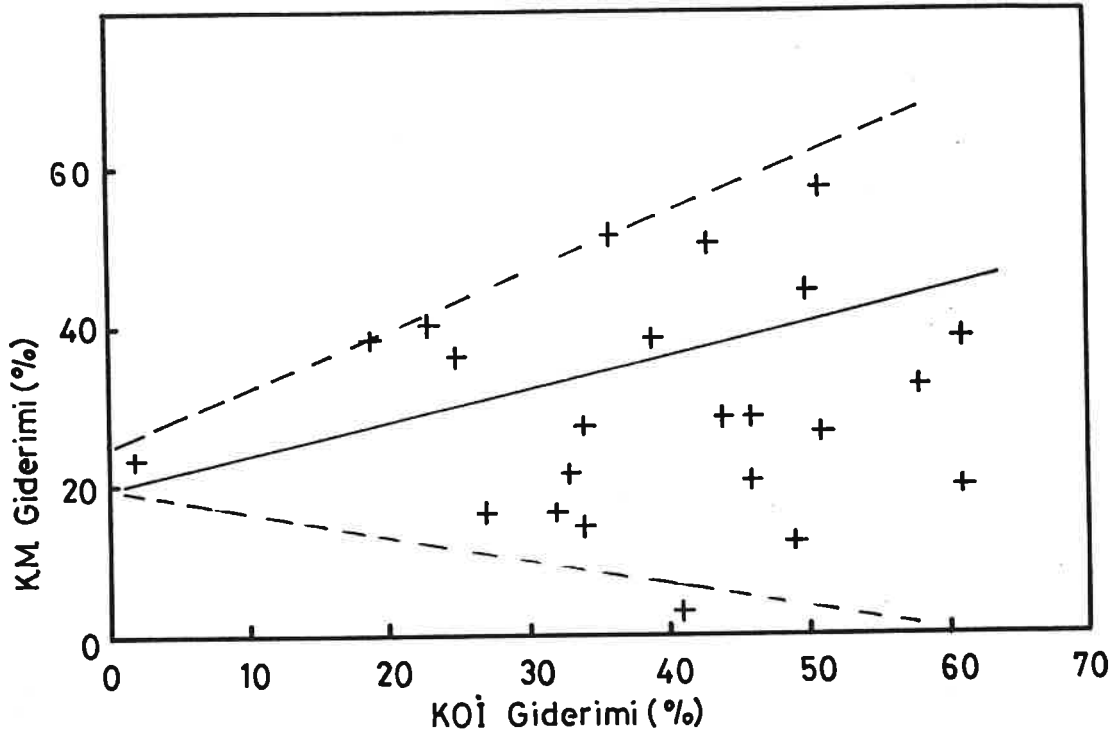
Biyolojik nutrient giderimli Chemnitz-Heinersdorf merkezi atıksu arıtma tesisinden alınan biyolojik aktif çamurlar yoğunlaştırıldıktan sonra hidrolik bekletme süresi 20 gün olacak şekilde 1 nolu reaktörlere beslenmiştir. Mezofilik şartlarda ve tam karışımli tek kademeli çürütücüde gerçekleştirilen çalışma diğer reaktörlerle birlikte izlenmiştir. Bu reaktörlerdeki KOI ve BOI₅ giderimlerinin zamanla değişimi Şekil 36'da K.M. gideriminin zamanla değişimi de Şekil 37'de verilmiştir. K.M. giderimini KOI ve BOI₅ giderimleriyle ilişkisi Şekil 38 ve 39'da gösterilmiştir. Reaktörde üretilen biyogaz miktar ve kompozisyon zamanla değişimi Şekil 40 ve Şekil 41'de görülmektedir.



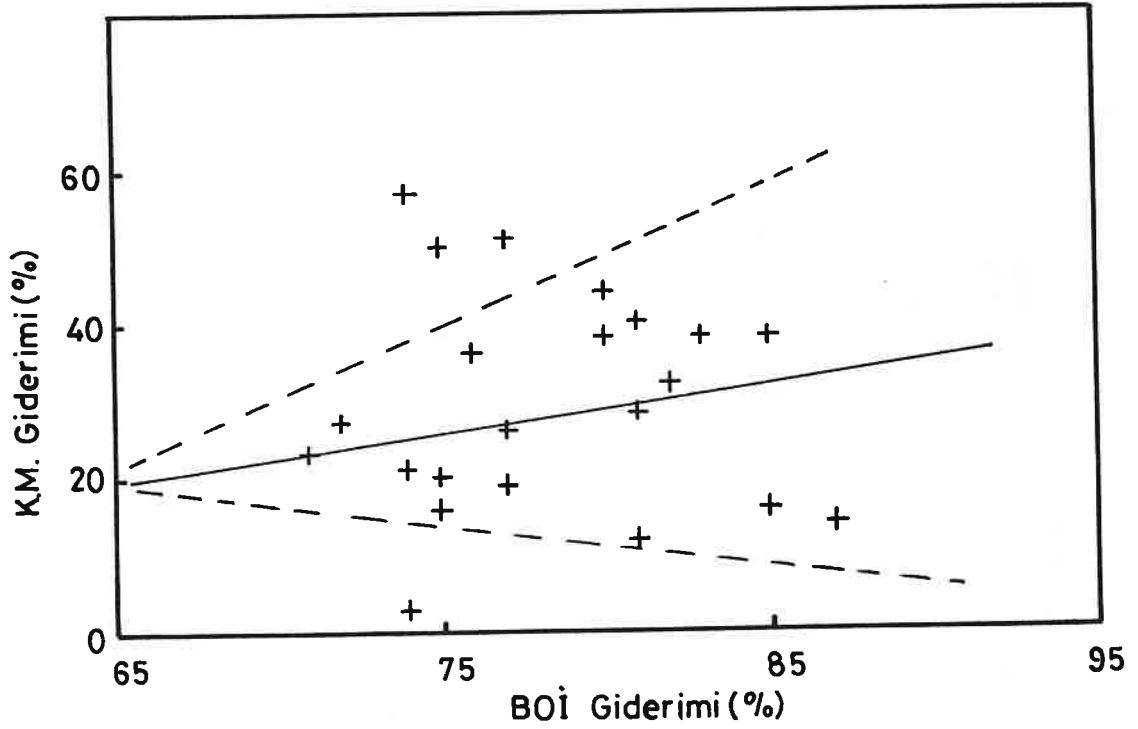
Şekil 27. Primer çamur için biyogazda CH_4 ve CO_2 oranlarının zamanla değişimi



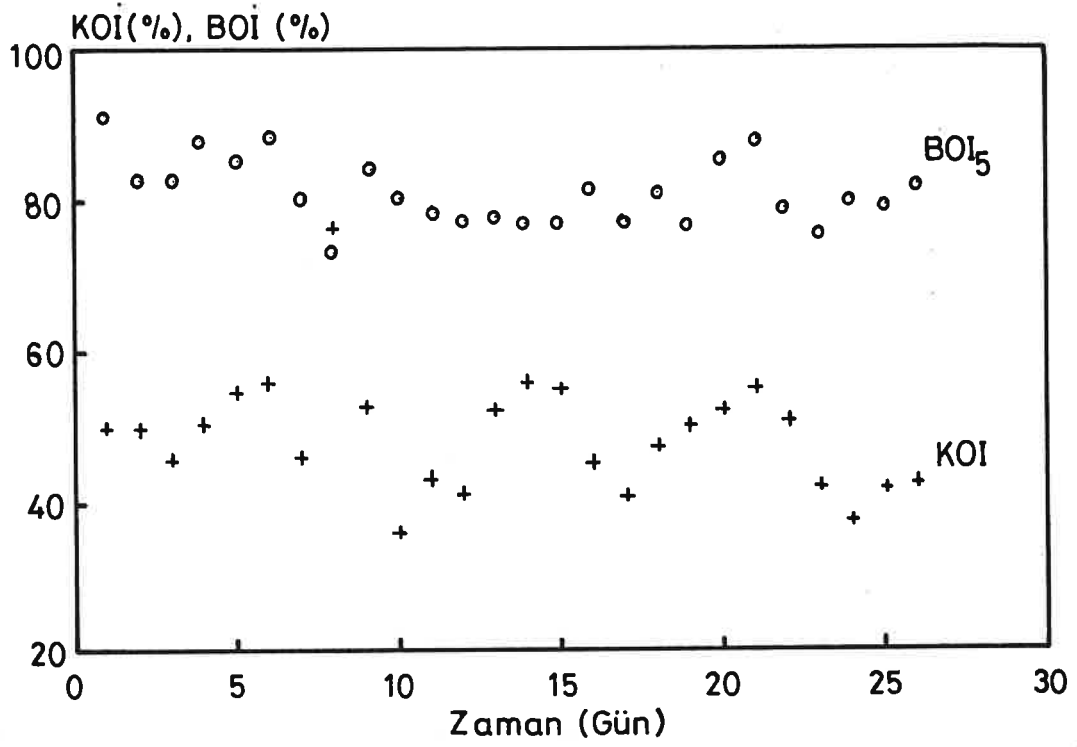
Şekil 28. Primer çamur reaktöründe biyogaz miktarlarının zamanla değişimi



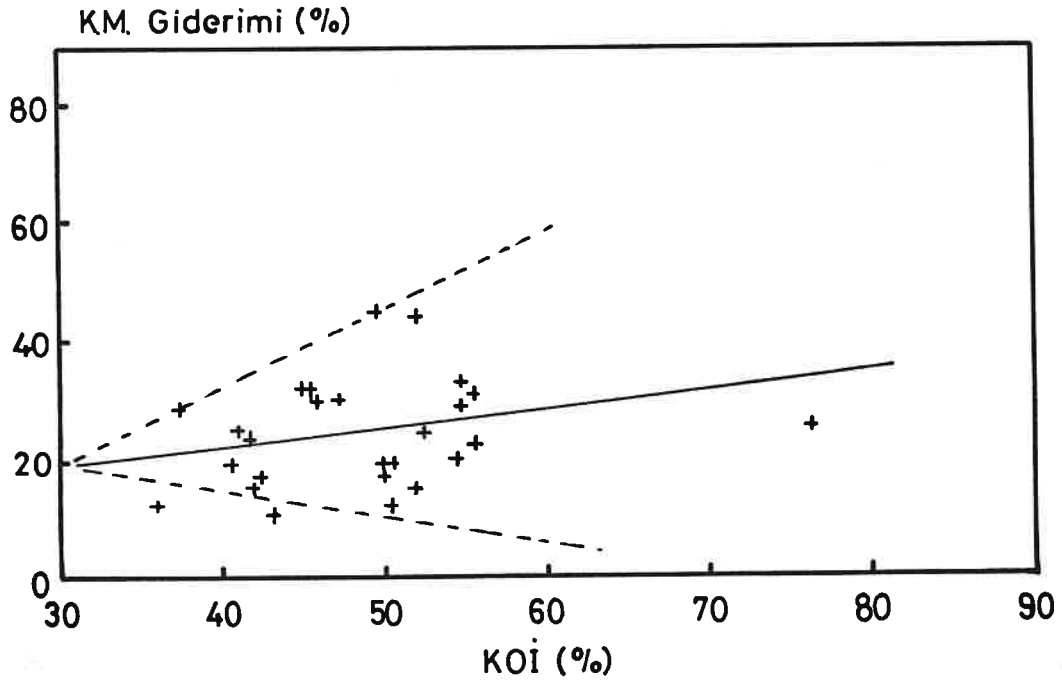
Şekil 29. Primer çamurun anaerobik mezofilik çürütülmesinde KM-KOI giderimi ilişkisi



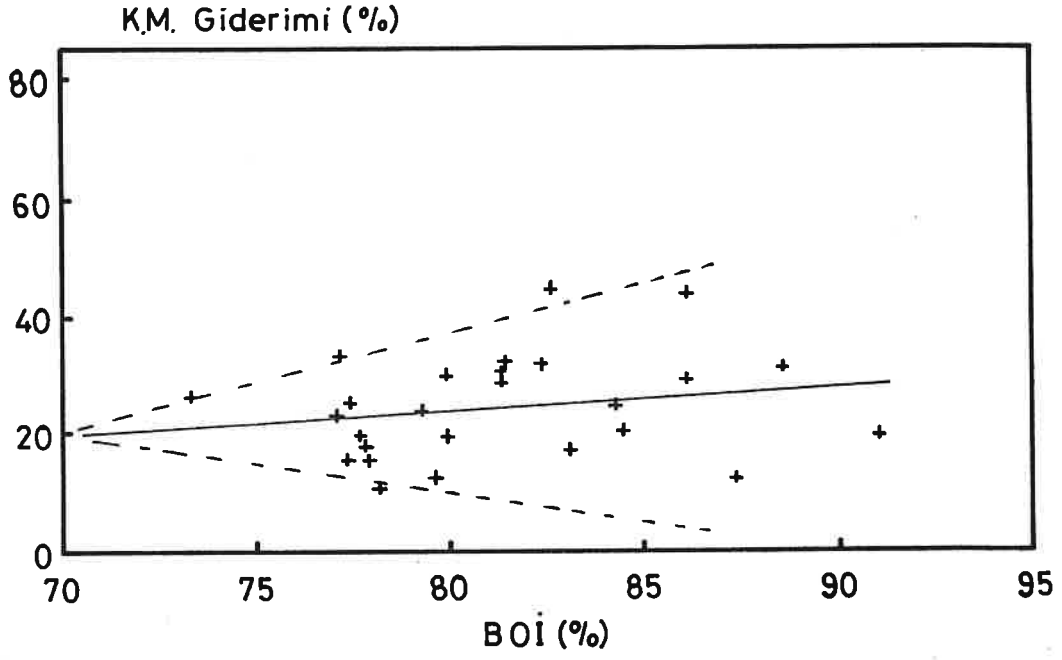
Şekil 30. Primer çamurun anaerobik mezofilik çürütülmesinde KM-BOİ₅ giderimi ilişkisi



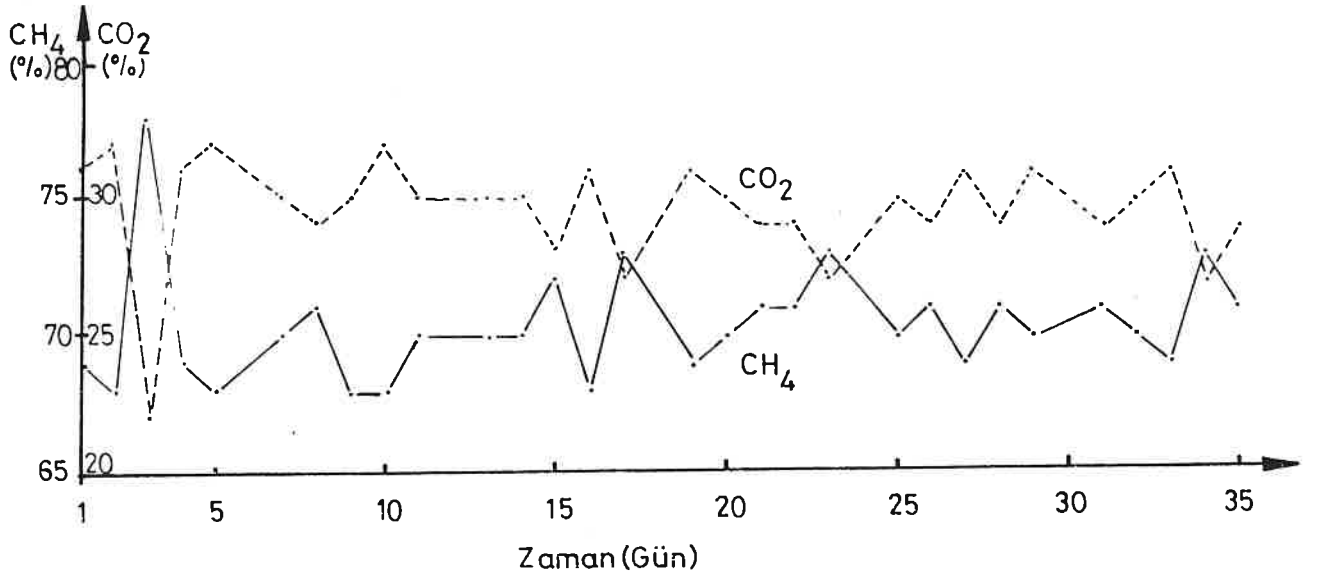
Şekil 31. İki No'lu reaktörde KOİ ve BOİ₅ gideriminin değişimi



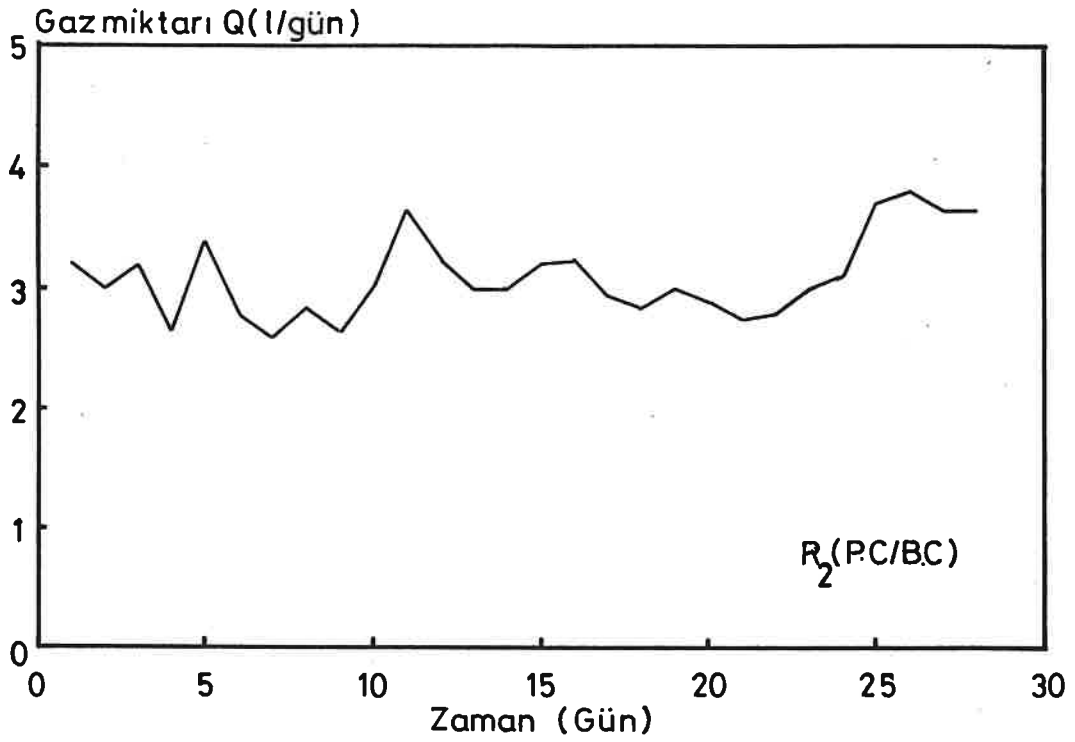
Şekil 32. İki no'lu reaktörde KM ve KOİ giderimi ilişkisi



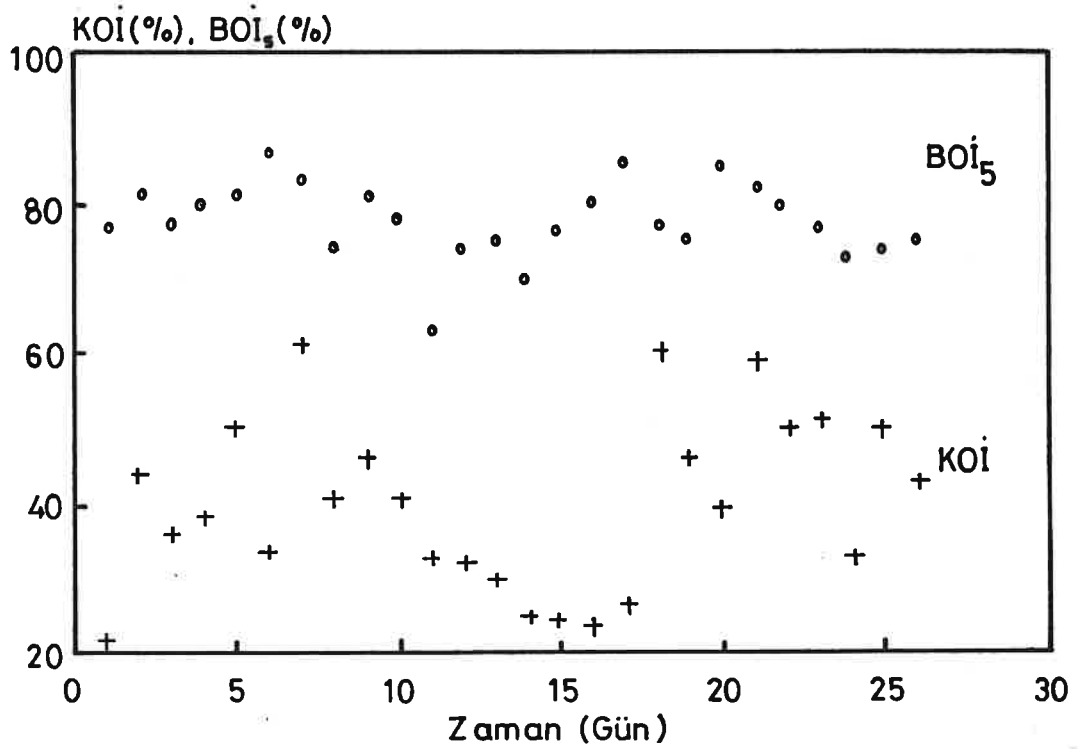
Şekil 33. İki no'lu reaktörde KM ve BOİ₅ giderimi ilişkisi



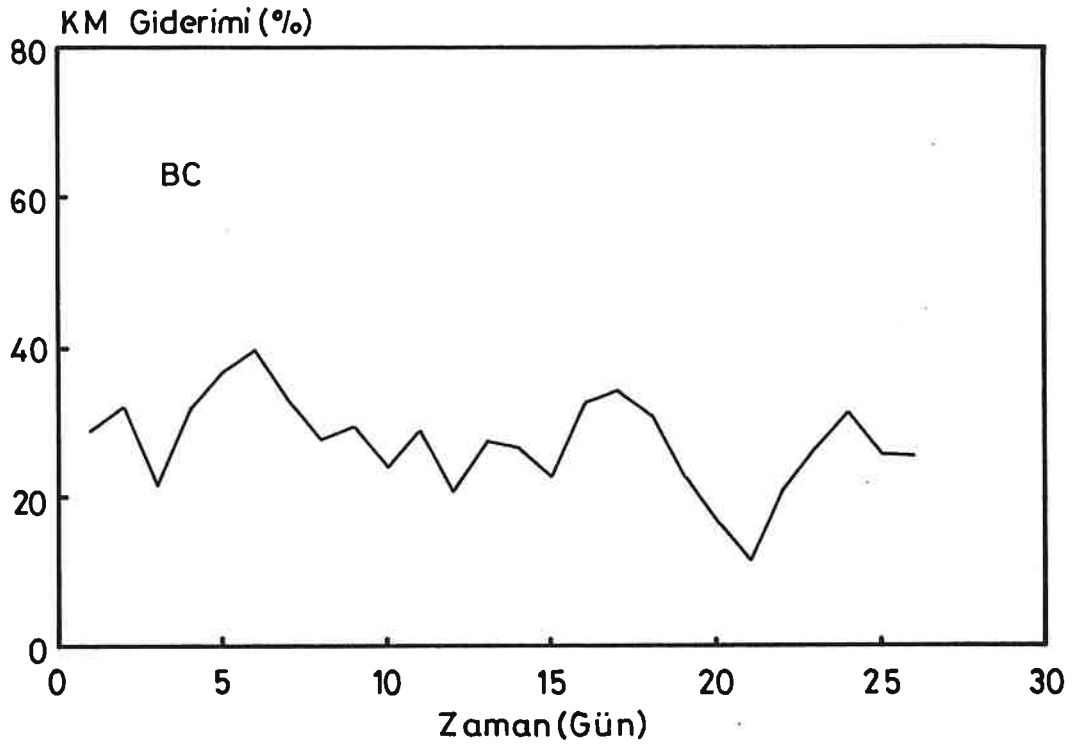
Şekil 34. İki no'lu reaktörün biogazında CH₄ ve CO₂ yüzdeleri-
nin değişimi



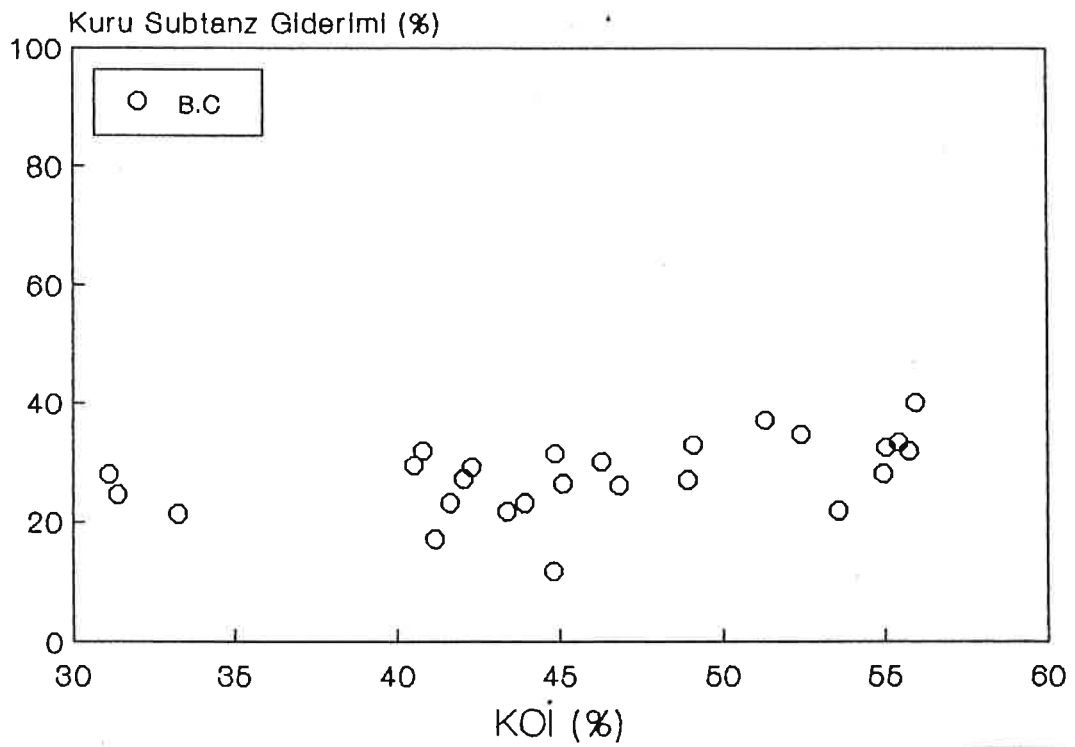
Şekil 35. İki no'lu reaktörde biogaz üretiminin değişimi



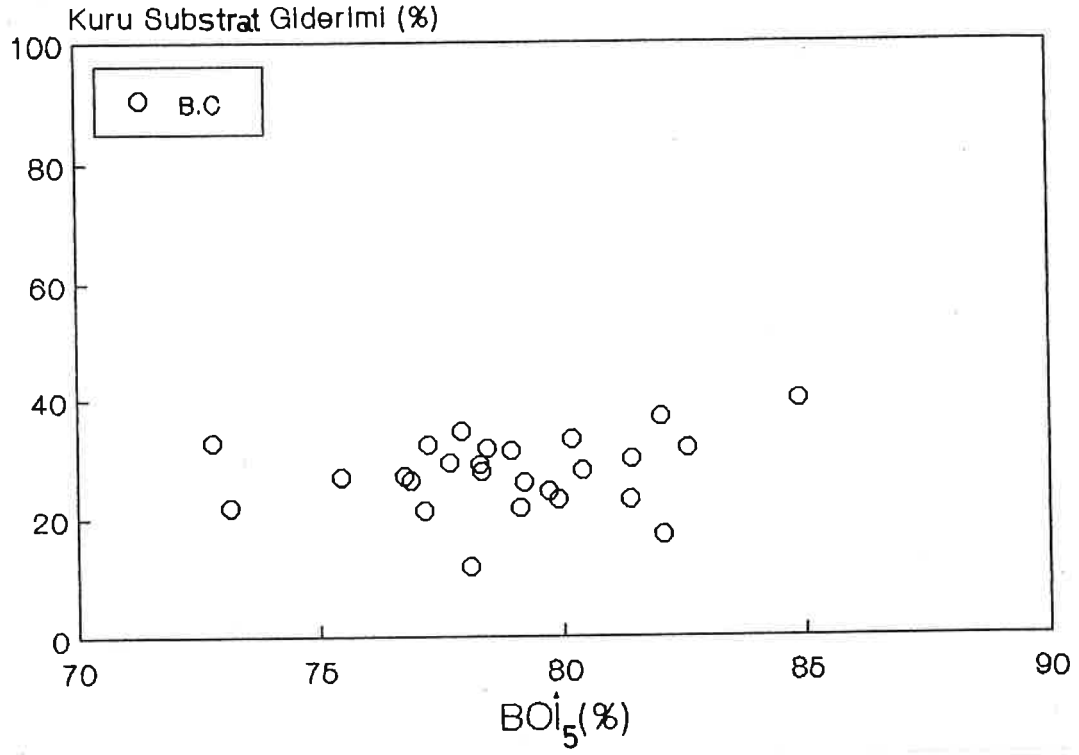
Şekil 36. Üç no'lu reaktörde KOİ ve BOİ₅ giderimlerinin zamanla değişimi



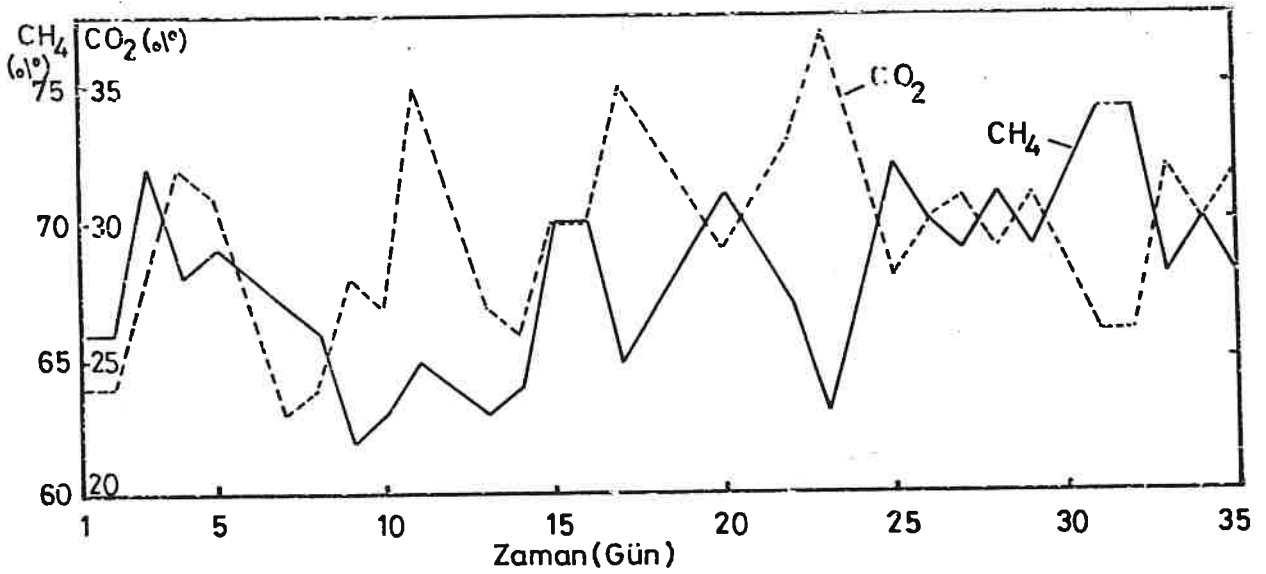
Şekil 37. KM'nin zamana göre değişimi



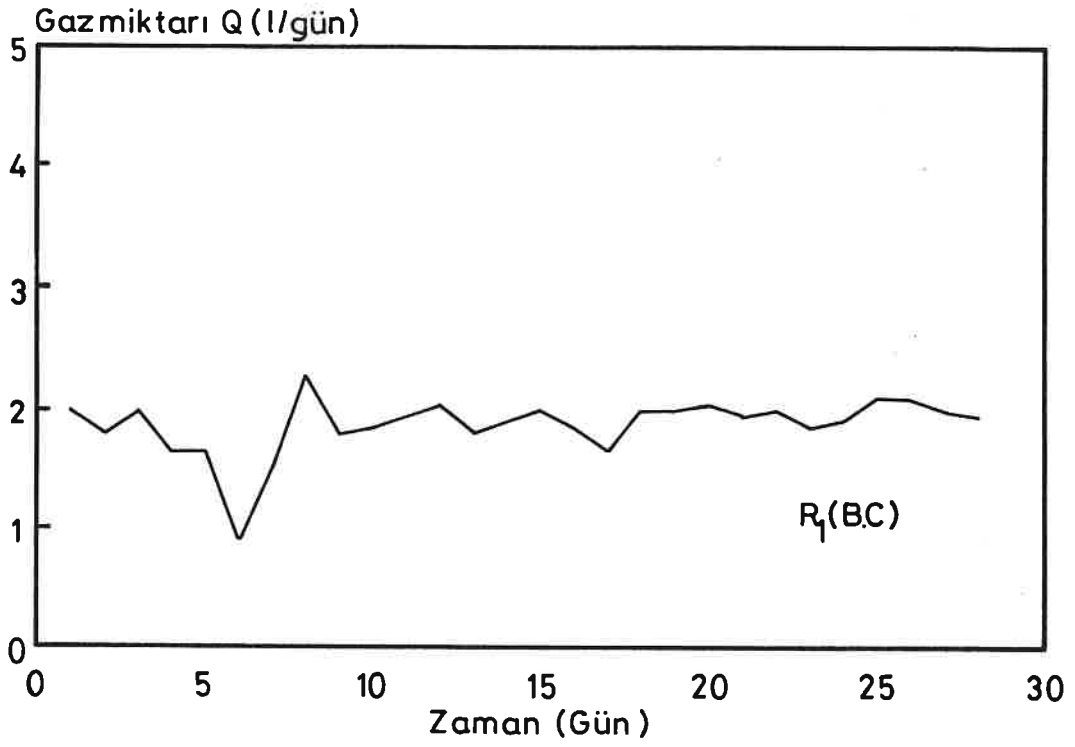
Şekil 38. Üç No'lu reaktörde KM ve KOİ giderimi ilişkisi



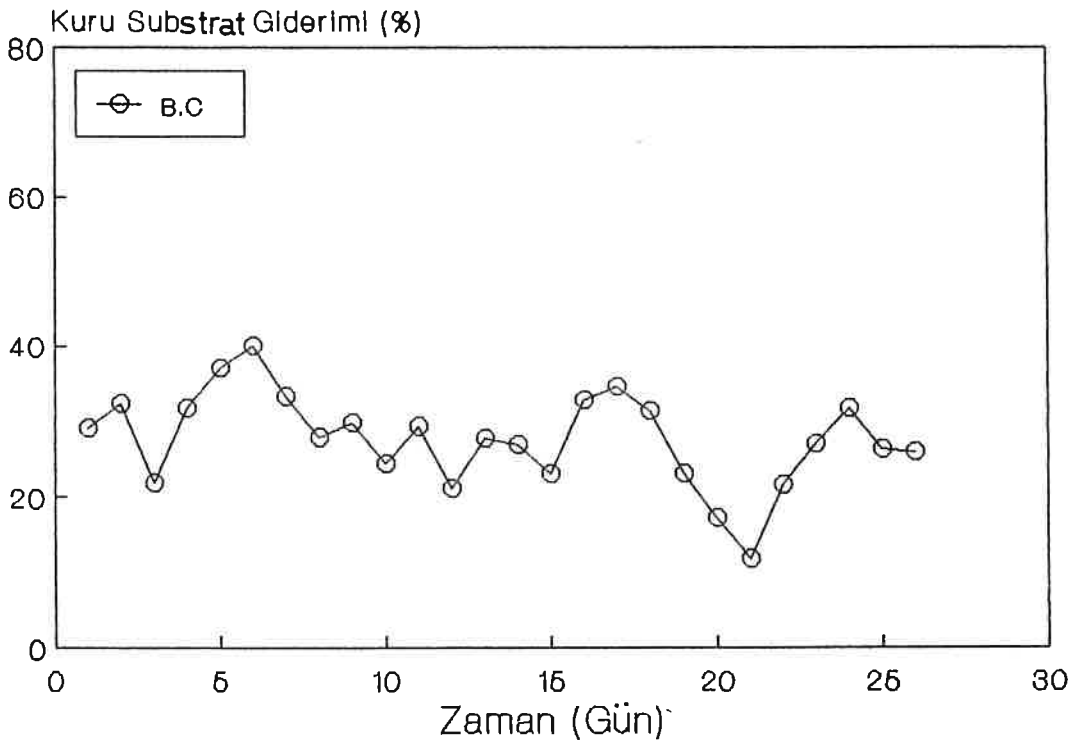
Şekil 39. Üç No'lu reaktörde KM ve BOİ₅ giderimi ilişkisi



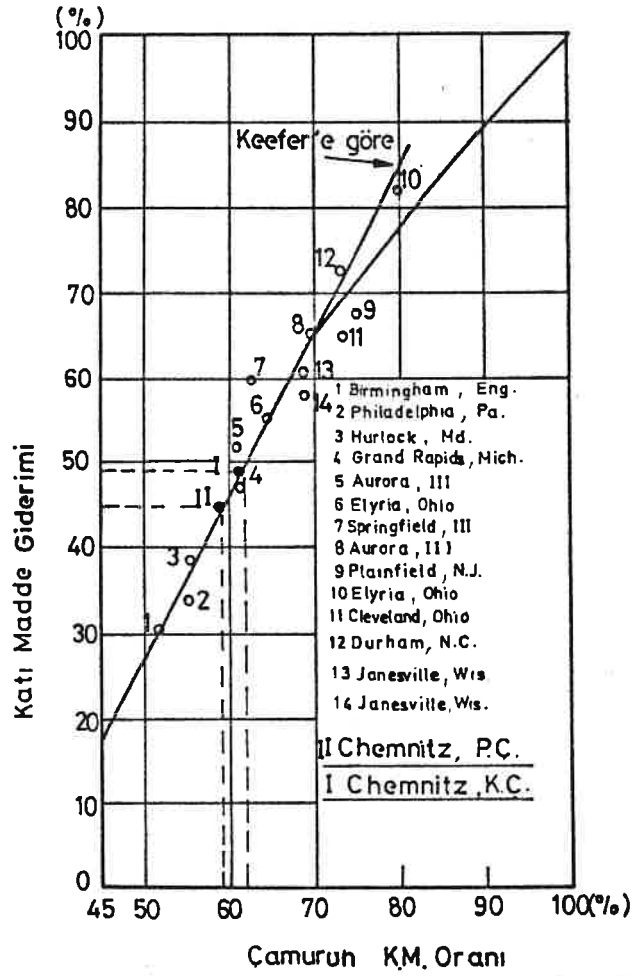
Şekil 40. Üç no'lu reaktörün biyogazında CH₄ ve CO₂ yüzdeleri-
nin değişimi



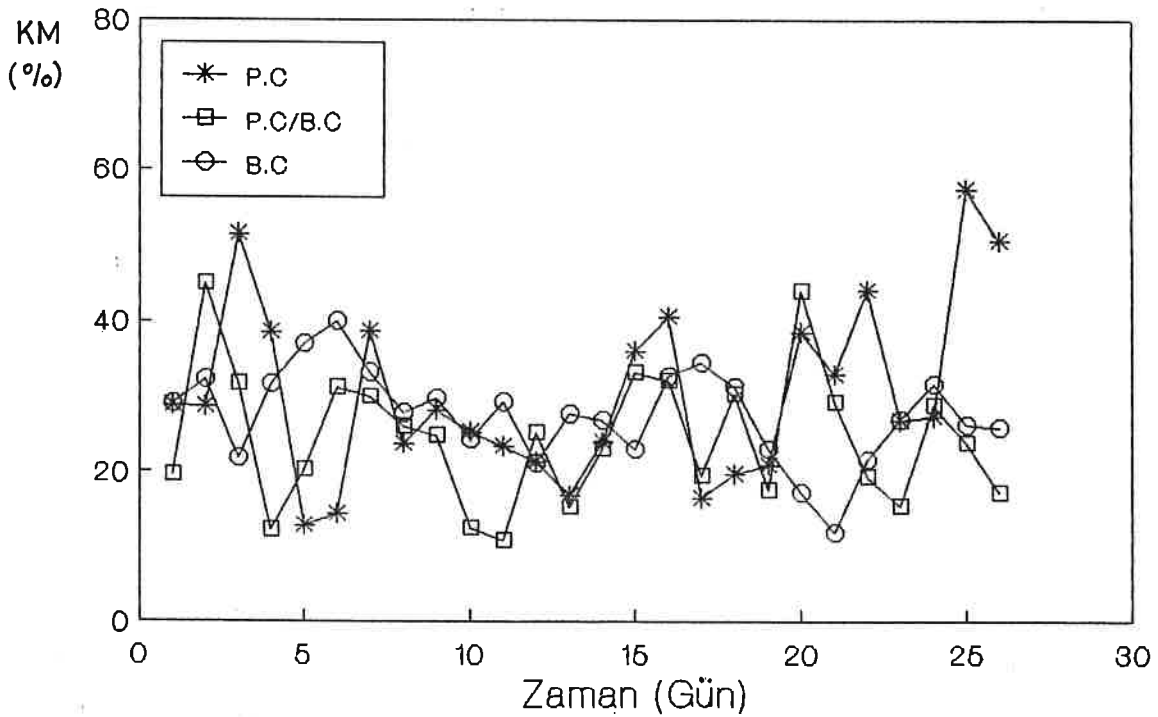
Şekil 41. Üç no'lu reaktörde biyogazın üretiminin değişimi



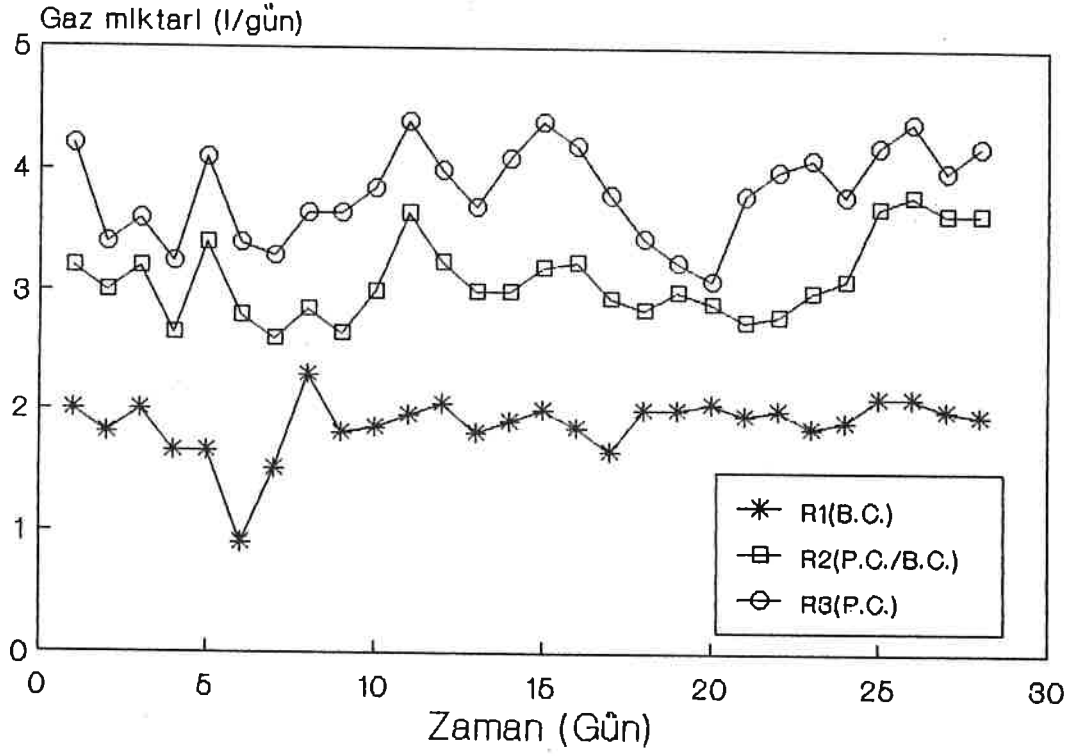
Şekil 42. KM'nin zamanla değişimi



Şekil 43. Anaerobik çürütmede çamur KM oranı-KM giderimi ilişkisi



Şekil 44. Reaktörlerde KM gideriminin zamanla değişimi



Şekil 45. Reaktörlerde üretilen biyogaz miktarlarının zamanla değişimi

8. ÇALIŞMA SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

8.1. Genel

Bu bölümde, deneysel çalışma sonuçlarının kendi arasında ve ilgili literatürle mukayesesi yapılmıştır.

8.2. Organik Madde Giderimi

Model reaktörlerdeki katı madde giderimi zamanla değişimi de şekil 44'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere 3 nolu reaktör (primer çamur) dışında kuru madde giderimi ortalama % 39 civarındadır. Primer çamur için bu değer % 43 olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlar ışığında en fazla organik madde gideriminin primer çamurun çürütüldüğü reaktörde gerçekleştiği görülmektedir.

II ve III nolu reaktörlere beslenen karışık çamurların organik madde giderimleri bakımından literatüre göre durumu şekil 44'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere literatür verilerine göre mezofilik şartlarda primer ve fazla aktif çamurun organik madde giderimlerinin % 40 ve % 45 olması beklenir. Bu çalışmada da 3 nolu reaktörlerdeki organik madde giderimi % 43 olarak gözlenmiştir.

Tablo 10. Biyolojik tesisin çalışma şartları

Parametre	Biyolojik Aktif Çamur
Ort. K.M. (gr/N.gün)	66
Ort. org. K.M. (gr/N.gün)	50
KOI (gr/N.gün)	64
UKM (%)	76
KOI/UKM	1.96
KOI/K.M.	1.28
BOİ, ort. (gr/N.gün)	13
BOİ/K.M.	0.26
BOİ/KOI	0.2
TKN (gr/l.t)	3-4
Topl. P (gr/N.gün)	1-21.8
$B_x = F/M(KgBOI / KgKM)$	0.07-0.08
X (kg/m ³)	2.6-3.1
θ_c (gün)	20
SVİ (ml/gr)	100-125

Daha önce bölüm 6'da açıklandığı üzere çürütme deneylerinde kullanılan çamurların alındığı merkezi atıksu arıtma tesisinde biyolojik nütrient giderimi yapılmaktadır. Bu tesisin işletme şartları tablo 10'da topluca verilmiştir. Tablodan da görüldüğü üzere havalandırma havuzunda AKM konsantrasyonu $2.6-3.1 \text{ kg/m}^3$ olup biyolojik organik yük 0.07 ile 0.08 kg BOI₅/kg katı madde ve çamur yaşı 20 gündür. Düşük yüklü bu tesiste yüksek nütrient giderimi ile birlikte çökelme özelliği makul seviyelerde bir biyolojik çamur üretilmektedir. Biyolojik aktif çamurun uçucu organik madde oranı % 76'dır.

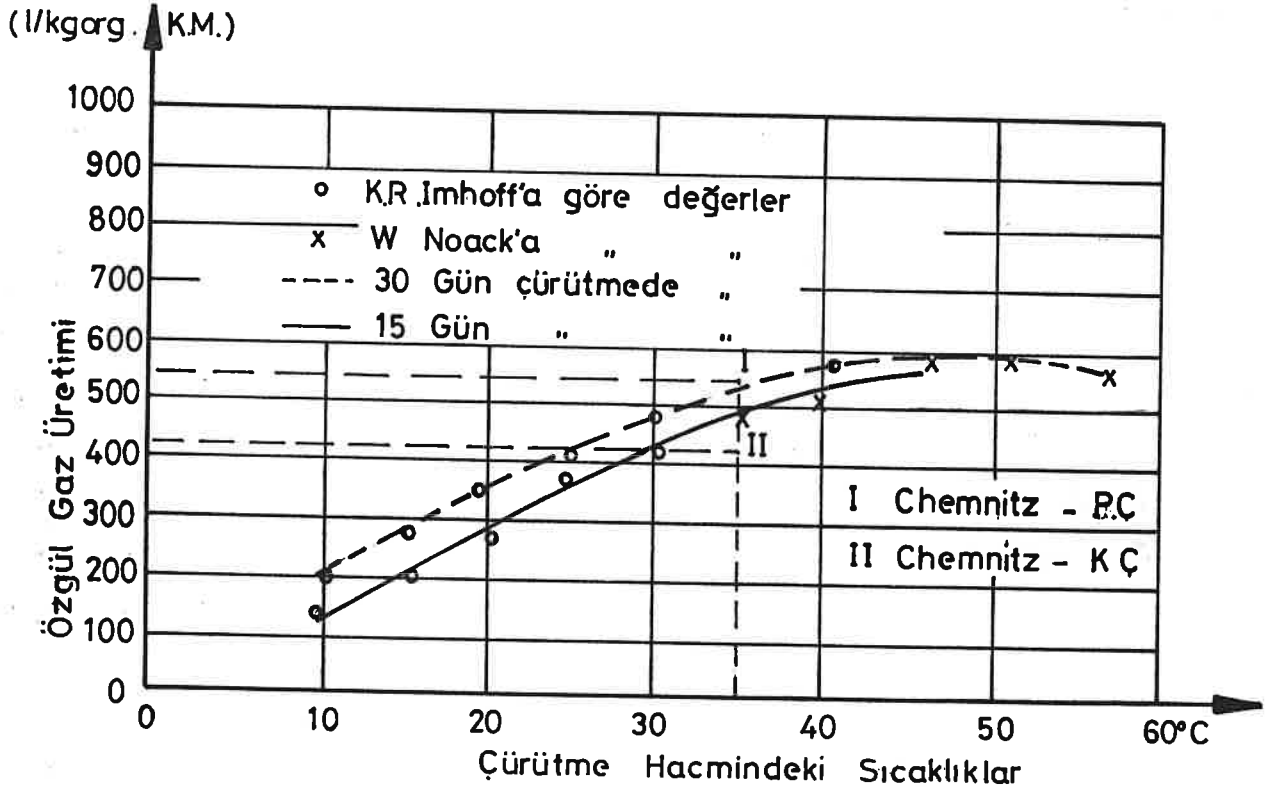
Primer, primer+biyolojik aktif çamur karışımı ve sadece biyolojik aktif çamurun çürütüldüğü reaktörlerde 20 günlük hidrolik bekleme süresinde mezofilik şartlarda elde edilen sonuçlara göre en iyi çürüme % 43 lük organik madde giderimi ile üç nolu reaktörde gözlenmiştir. I ve II reaktörlerdeki organik madde giderim oranları sırasıyla %38,5 olarak bulunmuştur. Organik madde giderimindeki durum KOI giderimi bakımından da aynen geçerlidir.

Tablo 11. Çürüme sonrası reaktörlerde çamur özellikleri ve giderim verimleri

Parametre	R ₁	R ₂	R ₃
Kuru madde konsantrasyonu (gr/lt)	36	37.8	39
OKM (gr/lt)	20.3	18.4	16.7
OKM (%)	56.4	48.7	42.8
OKM Giderimi (%)	38.5	39	43
KOI Konsantrasyonu (gr/lt)	35	28.7	26.4
KOI yükü (gr/gr KM)	1	0.76	0.68
KOI giderimi (%)	44	47	40
BOI ₅ /KOI	0.08	0.08	0.08
Organik asitler (mg H /lt)	47-116	57-187	83-140
CST (Kapılar Emme Süresi) (sn)	58	34	68

8.3. Biyogaz Üretimi ve Bileşimi

Model reaktörlerde yürütülen anaerobik çamur çürütme deneyleri sonunda üretilen biyogaz miktarlarının zamana göre değişimi Şekil 45'de topluca verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere en fazla gaz üretimi III nolu reaktörde gerçekleşmiştir. I, II ve III nolu reaktörlerdeki ortalama gaz üretimi sırasıyla 2,3 ve 3 lt/gün civarında seyretmektedir. Merkezi atıksu arıtma tesisi oldukça düşük bir organik yükte ($F/M=0.075$) işletilmesine rağmen bu tesisten alınan biyolojik aktif çamurların yine de önemli ölçüde (% 39) anaerobik stabilizasyona uğrayacağı gösterilmiştir. Reaktörlerde üretilen biyogazın çeşitli şekillerde ifadesi Tablo 12'de görülmektedir. Tablodan da görüldüğü üzere anaerobik reaktörlerdeki en büyük özgül biyogaz üretimi III nolu reaktörde gözlenmiştir. Bu sonuç bölüm 8.1'de verilen organik madde giderimi ile uyum halindedir. Reaktörlerdeki biyogazın metan yüzdesi % 68-70 aralığında seyretmektedir. Özgül gaz üretiminin literatürde değişik araştırmacılarca elde edilen değerlerle mukayesesi Şekil 46'da verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere 2 ve 3 nolu reaktörlerde



Şekil 46. Sıcaklığa bağlı olarak spesifik gaz miktarı

elde edilen özgül biyogaz üretimleri literatürle makul bir uyum halindedir.

Reaktörlerde üretilen biyogazın CH_4 ve CO_2 yüzdelerinin zamanla değişimi Şekil 47 ve 48'de verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü üzere her üç reaktörde biyogazın ortalama CH_4 ve CO_2 konsantrasyonları sırasıyla % 70 ve % 30 değerlerinde sabit kalmıştır. Her üç reaktörde de CH_4/CO_2 oranı 2,3 civarında gözlenmiştir. Bu değer Hartmann tarafından verilen 2,5 değerine yakındır.

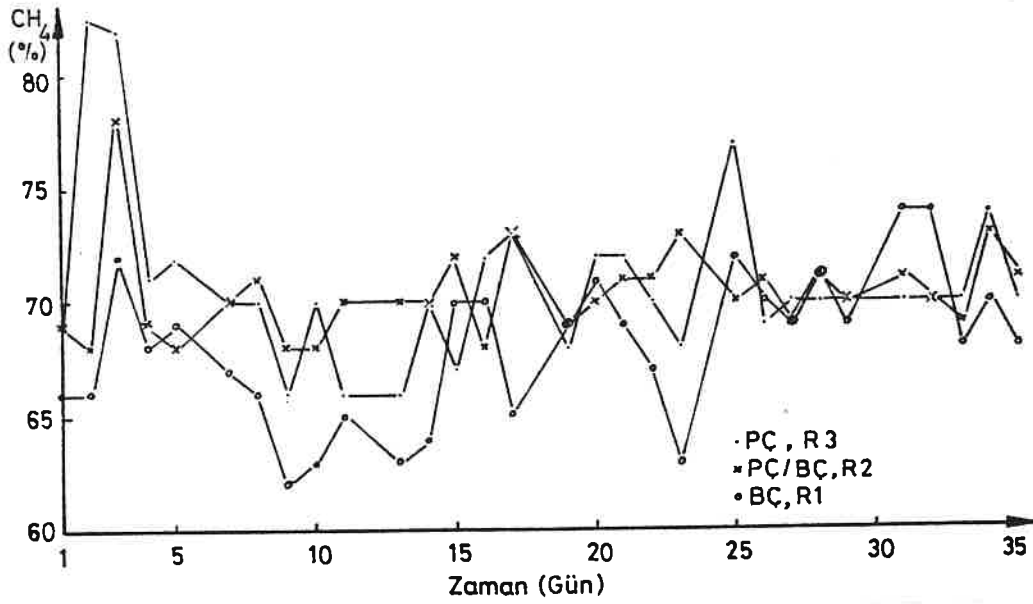
Tablo 12. Reaktörlerdeki gaz miktarı ve içerikleri (Parantez içindeki değerler literatürde verilen değerlerdir)

	Reaktör I (Biyol.aktif çamur)	Reaktör II (B.Ç./B.Ç.)	Reaktör III (Birincil Çamur)
ml gaz/gr. OKM verilen	225	433	537 (400-580)
ml gaz/gr. OKM ayrışma	609	1085	1310 (700-1250)
lt gaz/Reak tör hacmi	0.37	0.64	0.7 (0.5-1.0)
ml CH_4 /gr OKM ayrışan	231	603	736 (400-800)
CH_4 Gaz payı (%)	68	70	69 (55-70)

8.4. pH ve Organik Asitler

Deneysel çalışma esnasında beslenen çamurların ve reaktörün pH'sı izlenmiştir. III nolu reaktörde yapılan ölçümlerin sonuçları Şekil 49'da görülmektedir. Buradan da anlaşıldığı üzere reaktör pH'sı beslenen çamurun pH'sından bağımsız olarak 7.0-7.25 aralığında seyretmiştir. Çalışma süresince pH kontrolü amacıyla reaktöre herhangi bir kostik veya bikarbonat ilavesi yapılmamıştır. Her üç reaktörde de pH açısından son derece kararlı bir durum gözlenmiştir. Reaktörlerin giriş ve çıkış çamurlarında yapılan pH ölçümlerinin değişim aralığı ve ortalamaları Tablo 13'de verilmiştir. Çalışma boyunca reaktördeki

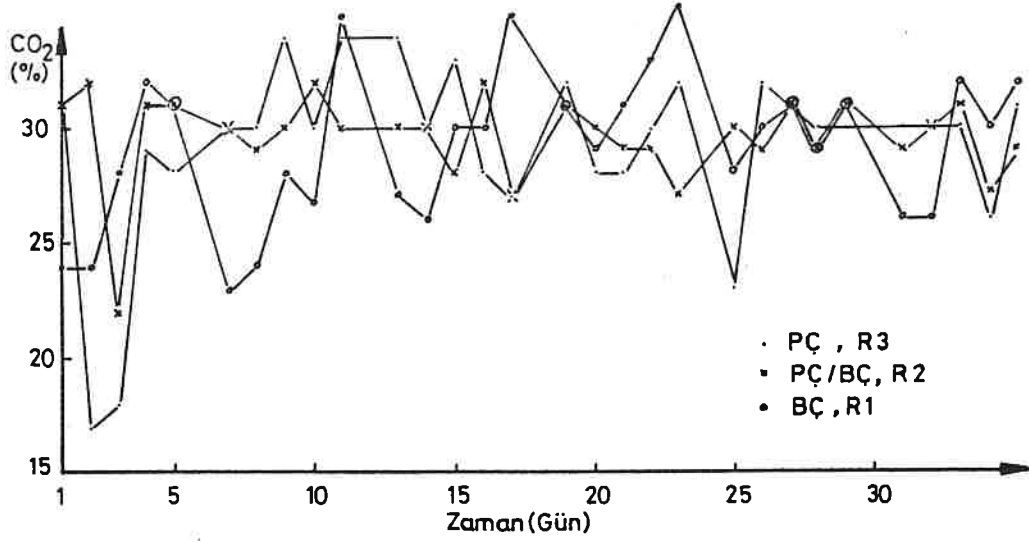
organik asitlerin değişimi de şekil 50'de gösterilmiştir. şekilden de görüldüğü üzere kararlı durumda en yüksek organik asit durumu 80 mg H /l ile III nolu reaktörde gözlenmiştir, ancak her durumda ^{AC} bütün reaktörlerdeki uçucu asit konsantrasyonları fevkalade küçük kalmışlardır.



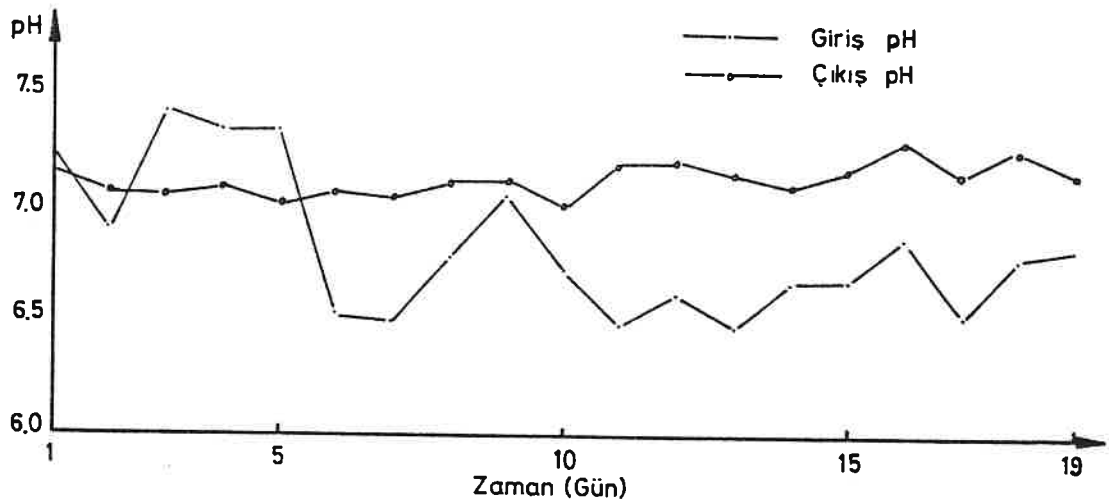
şekil 47. Reaktörlerin biogazında CH₄ oranının zamanla değişimi

Tablo 13. Reaktörlerin giriş ve çıkış çamuru pH değerleri

	Giriş	ıkış
Reaktör I (B..)	6.4-7.4 (6.9)	7.0-7.2 (7.1)
Reaktör II (P../B..)	6.1-7.1 (6.6)	7.0-7.2 (7.1)
Reaktör III (P..)	6.0-6.9 (6.5)	6.9-7.2 (7.1)



Şekil 48. Reaktörlerin biogazında CO₂ oranının zamanla değişimi



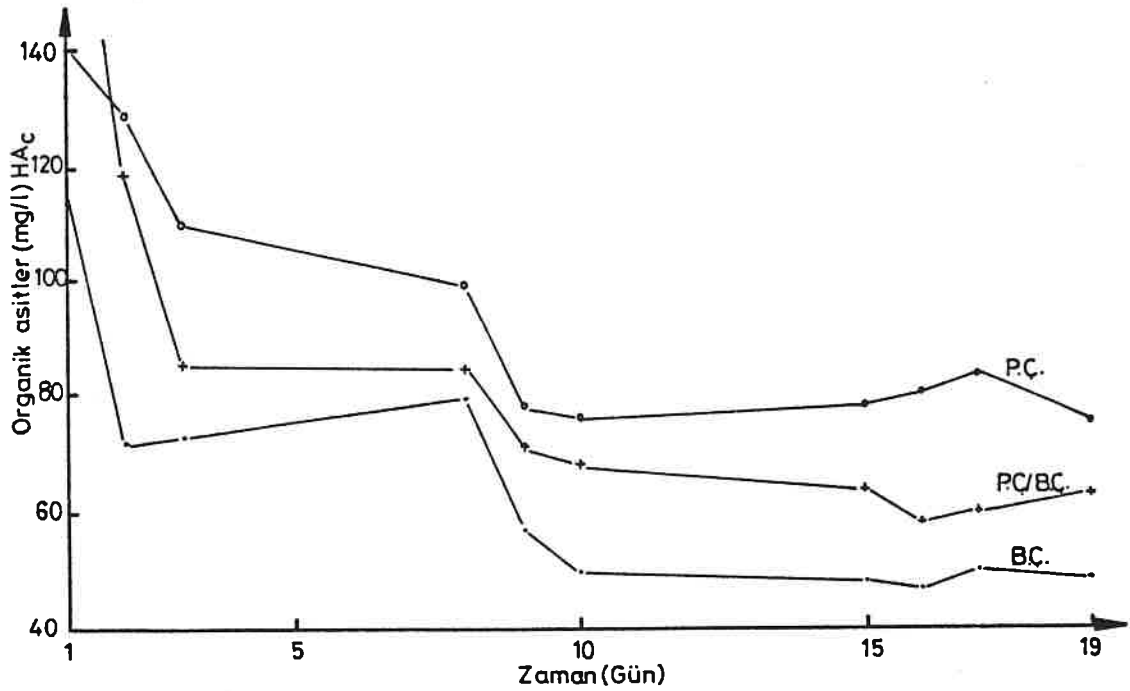
Şekil 49. Anaerobik mezofilik ($T=35^{\circ}\text{C}$) çürütme işlemi süresince ham çamur pH-değeri ve çürütme çamuru pH-değeri arasındaki bağıntı

Anaerobik reaktörlerdeki organik asit miktarı çürüme prosesinin durumu hakkında bilgi veren ilave bir parametredir. Literatür de çok iyi çalışan çamur çürütücülerdeki toplam organik asit değerlerinin $100 \text{ mg H}_{\text{AC}}/\text{lt}$ 'den küçük kaldığı belirtilmektedir.

Bu tezde yapılan deney araştırma neticeleri reaktörlerde çok iyi bir stabilizasyonun olduğunu göstermektedir. Deneysel çalışmalarda ölçülen organik asit değerleri Tablo 13'de gösterilmiştir.

Tablo 14. Reaktörlerdeki organik asit değerleri ($\text{mg H}_{\text{AC}}/\text{lt}$ olarak)

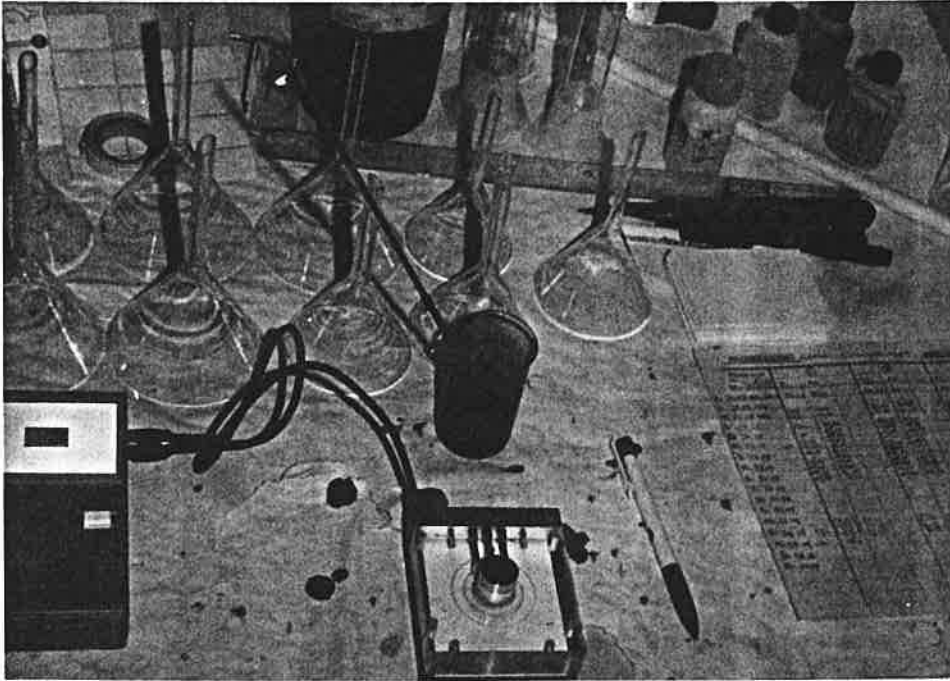
	Başlangıçta	Sonunda	Ortalama
Reaktör I (B.Ç.)	116	50	66
Reaktör II (P.Ç./B.Ç.)	187	60	88
Reaktör III (P.Ç.)	140	83	97



Şekil 50. Organik asitlerin çürüme süresi boyunca değişimi

8.5. Kapiler Emme Süresi Bakımından Değerlendirme

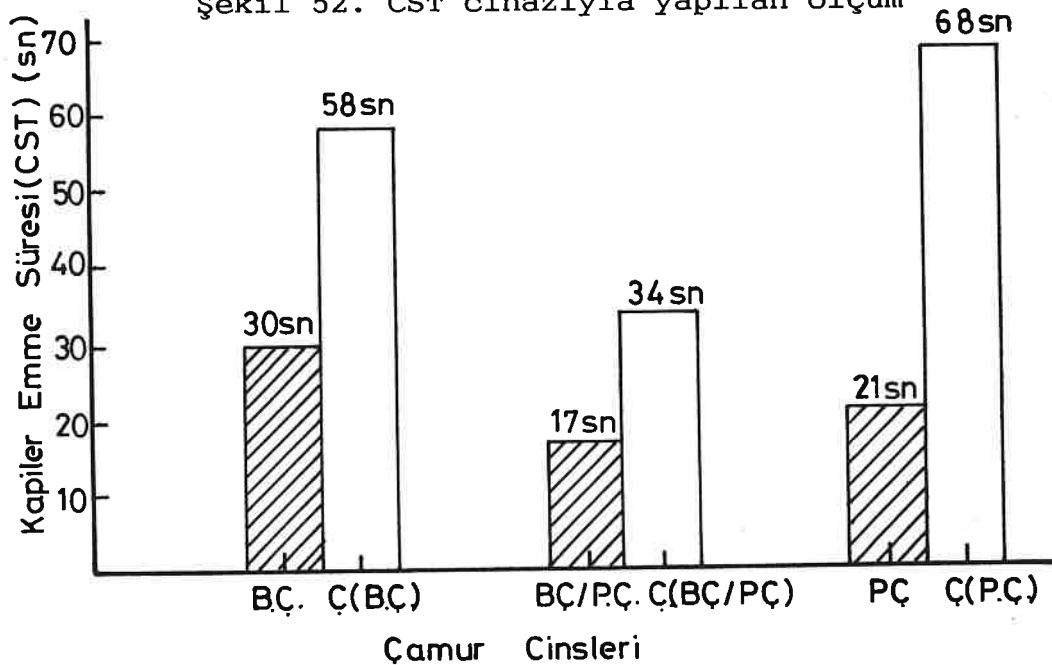
Çalışmada kullanılan çamurların çürüme öncesi ve sonrası filtre edilebilirlik özelliklerini belirlemek üzere CST ölçümleri yapılmıştır (Şekil 51, 52). Elde edilen sonuçlar Şekil 53'de topluca gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere primer ve fazla aktif çamurların çürütme sonrası suyunu bırakma özellikleri önemli ölçüde kötüleşmiştir. Buna mukabil P.Ç.+A.Ç karışımının çürüme sonrası kapiler emme süreleri birbirine çok yakındır. Bu sonuçlar ışığında özellikle P.Ç.'un çürütme sonunda daha yüksek oranda kimyasal şartlandırıcıya ihtiyaç göstereceği söylenebilir.



Şekil 51. CST ölçüm cihazının görüntüsü



Şekil 52. CST cihazıyla yapılan ölçüm



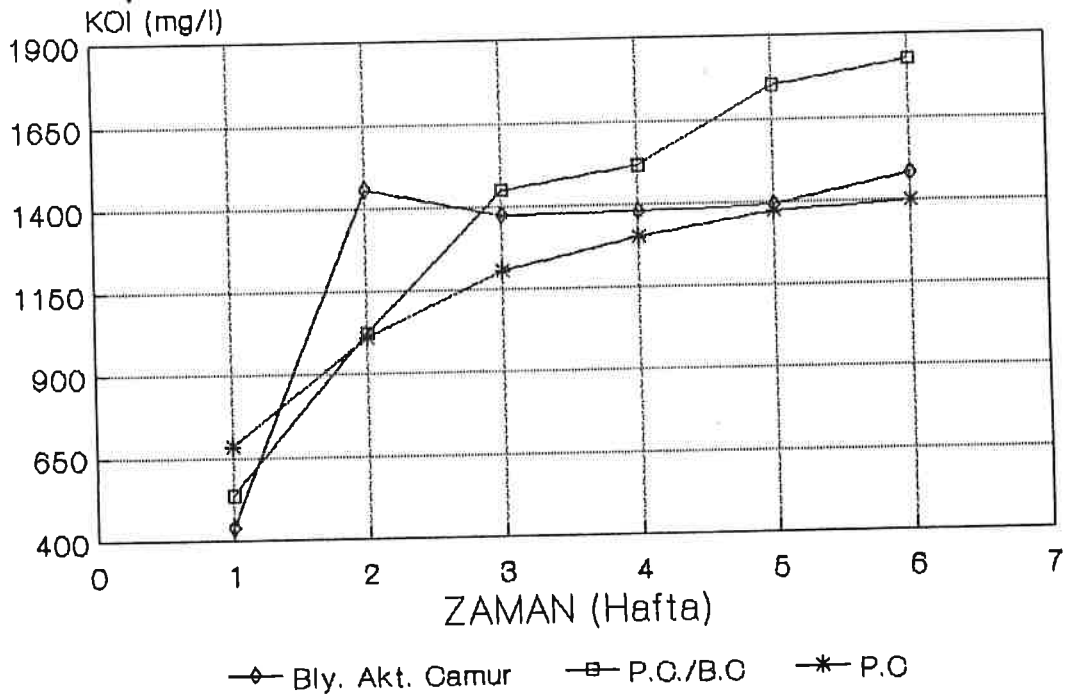
Şekil 53. Atık çamur ve çürümüş atık çamurlarında ortalama CST (sn) değerleri

8.6. Çürümüş Çamur Suyu Özellikleri

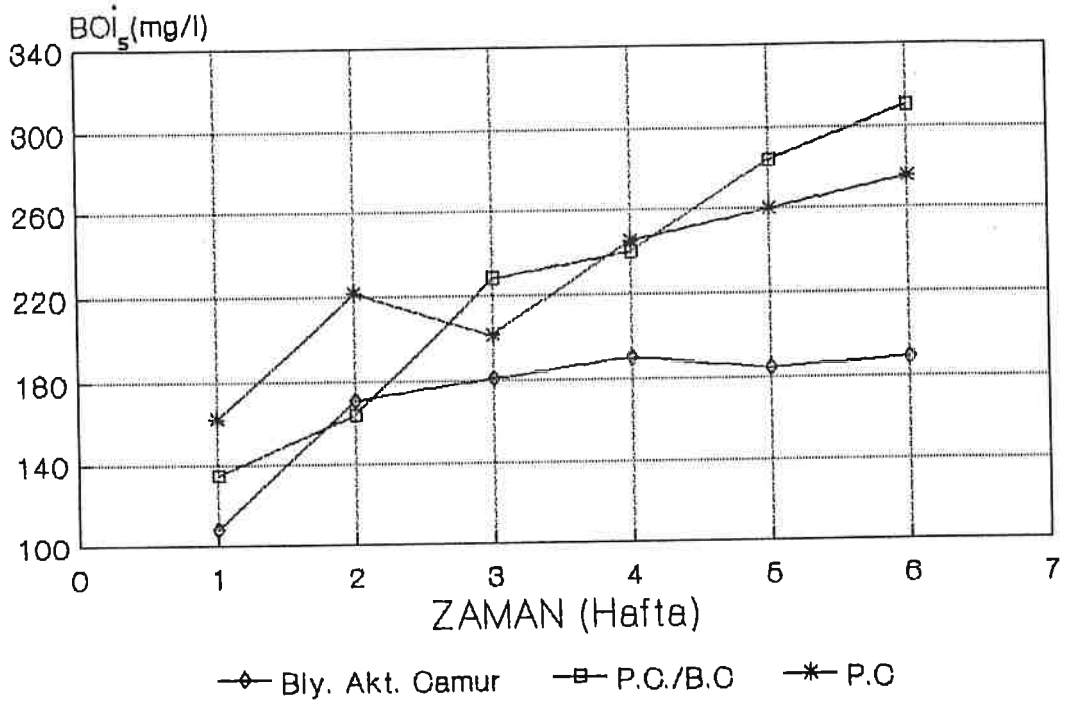
Reaktörlerde çürüme periyodunun sonunda sıvı fazdaki çözülmüş KOI, BOI, NH₄-N, TKN ve TP parametrelerinin zamanla değişimi Şekil 54, 55, 56, 57, 58'de gösterilmiştir. Bu değerler literatürde verilen değerler (55) dahilindedir.

Reaktörlerin sıvı fazındaki nütrient konsantrasyonları azot açısından PÇ + B.Ç, fosfor açısından ise biyolojik fazla çamur reaktörlerinde daha yüksek seyretmektedir. KOI ve BOI₅ açısından en düşük değerler I nolu reaktörde gözlenmiştir.

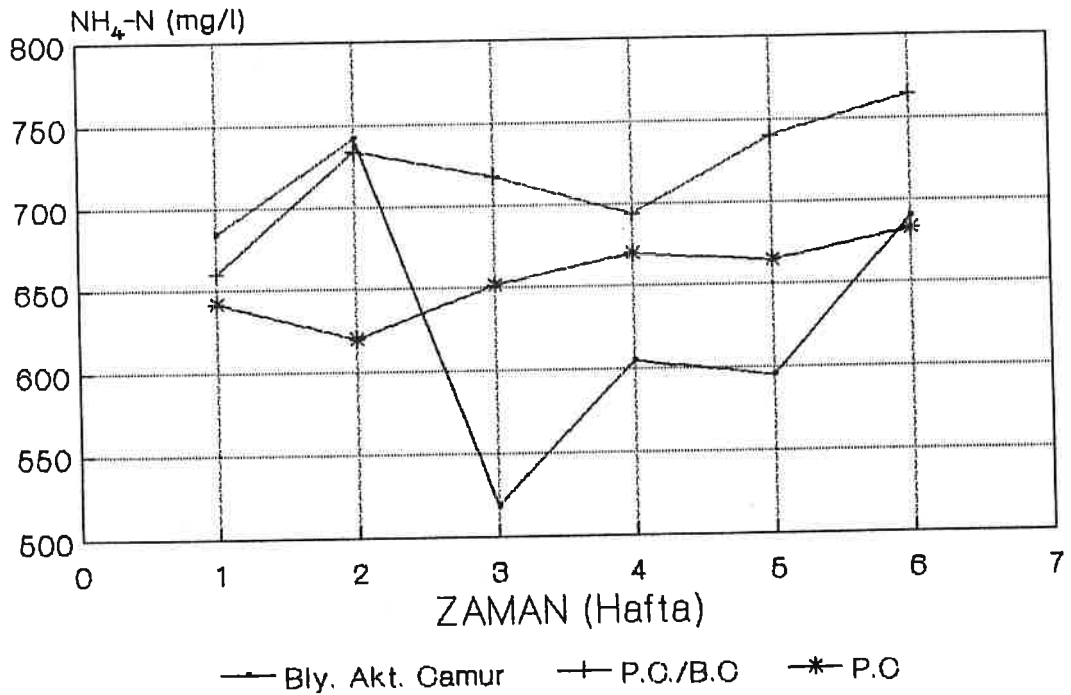
500-1000 mg KM/lt
400-1100 mg NH₄-N/lt
400-2000 mg BOI₄/lt
2000-8000 mg KOI₅/lt
60- 750 mg PO₄-P/lt



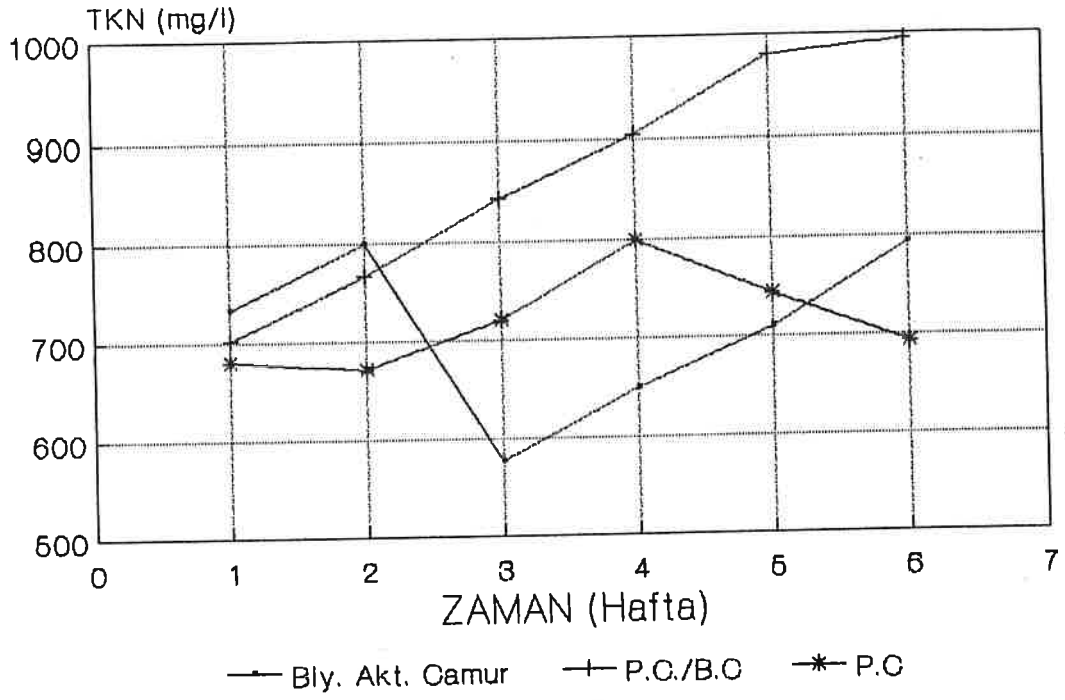
Şekil 54. Çürütme çamur suyunda KOI'nin zamanla değişimi



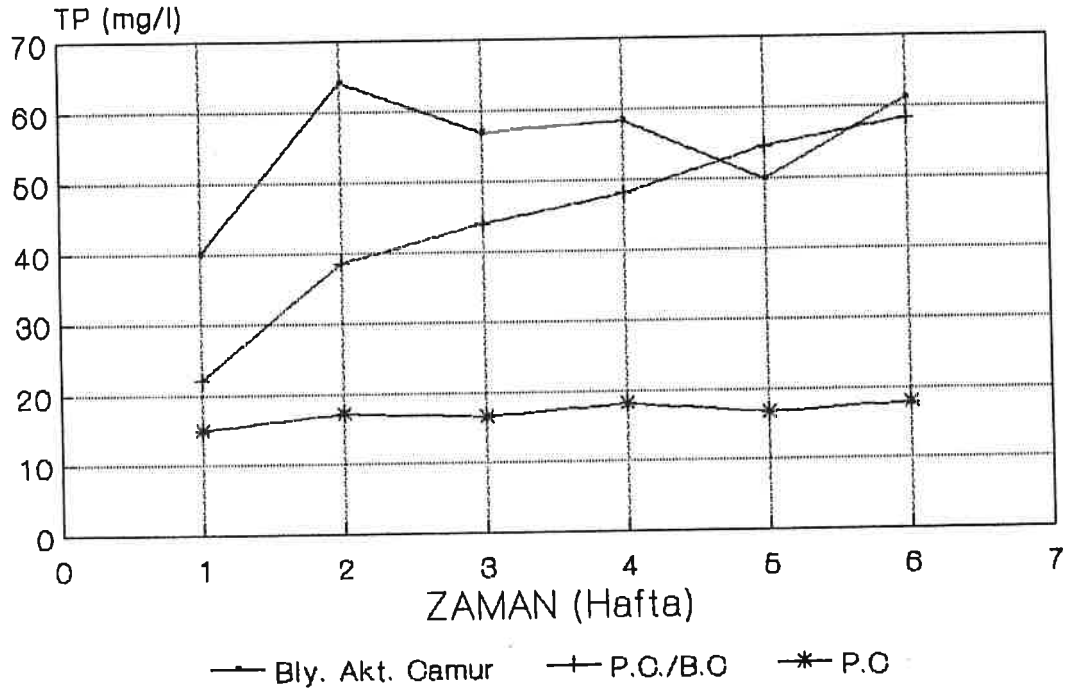
Şekil 55. Çürütme çamur suyunda BOI'nin zamanla değişimi



Şekil 56. Anaerobik mezofilik çürütmeden çıkan çamur suyunda $\text{NH}_4\text{-N}$ değişimi



Şekil 57. Çürütme çamuru suyunda TKN (Toplam azot) un zamanla değişimi



Şekil 58. Anaerobik mezofilik ortamda çürümüş çamur suyunda toplam fosfor (TP) un zamanla değişimi

9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

SONUÇLAR

1. Biyolojik nütrient giderimi (N, P) yapılan düşük yüklü aktif çamur tesislerinin fazla biyolojik çamurlarının literatürde daha önce iddia edilen aksine önemli oranda organik stabilizasyona uğradığı deneysel olarak tespit edilmiştir.

2. Özgül biyogaz üretimi ve organik madde giderimi açısından en yüksek stabilizasyon primer çamurun anaerobik çürütülmesi ile sağlanmıştır.

3. Anaerobik arıtmada organik katı madde giderimi ile BOI_5 ve KOI giderimleri arasında anlamlı bir doğrusal bağlılık kurulamamıştır. Katı madde giderimleri bir ölçüde KOI ve BOI_5 giderimlerinden bağımsız kabul edilebilir.

4. Anaerobik stabilizasyon, arıtma çamurlarındaki organik maddelerin büyük oranda biyogaza dönüşmesini sağlar. Çürüme önceki BOI_5/KOI oranı stabilizasyondan sonra 0.2'den 0.08 değerine inmektedir.

5. Sadece primer çamurun anaerobik stabilizasyonu halinde çürümüş çamurun filtre edilebilirliği belirgin şekilde kötüleşmektedir. Bu yüzden karışık çamurun anaerobik stabilizasyonu tercih edilmelidir. Biyolojik çamurların anaerobik stabilizasyonunda biyogazdaki metan (CH_4) oranı beslenen çamurun tipinden bağımsız olarak % 70 civarında sabit kalmaktadır.

ÖNERİLER

Bu çalışmanın neticeleri ışığında aşağıdaki öneriler yapılabilir.

1. Biyolojik arıtma tesisindeki işletme şartlarının (çamur yaşı, çamur yükü F/M, nitrifikasyon, denitrifikasyon v.s.) çamur çürütmedeki etkileri araştırılmalıdır.

2. Termofilik çürütme araştırılabilir.
3. İki fazlı çürütme incelenebilir.
4. Çürütme tesislerinden çıkan suyun mekanik veyahut biyolojik arıtma üzerindeki etkileri araştırılabilir.
5. Mikroorganizma hücrelerinde PHB-Granülatların daha yakinen (F/M, Çamur yaşı, Çamur yükü, Nitrifikasyon ve Denitrifikasyon v.b.) incelenmesi ve çamur çürütme üzerindeki etkileri araştırılmasında fayda vardır.
6. Atıksu arıtma çamurlarının filtre edilebilirlikleri hakkında bilinen halen yeterli değildir. Arıtma çamurlarının filtre edilebilirlikleri standartlaşmış ölçüm yöntemleriyle belirlenerek karşılaştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Mc Carty, P.L. and Hughes, U., One Hundred Years of Anaerobic Treatment, Travemünde Elsevier Biomedical Press B5 (1981) 3-9
2. Symons, G.E. And Buswell, A.M., The Methane Fermentation of Carbohydrates Journal Am.Chem.Soc. 55 (1933) 2028-2032
3. Meiners, R., Prozesskontrolle in der Biotechnologie, Chemie Technik ,11 (1982) 12, s.1351-1353.
4. Rödiger, H., Die anaerobe alkalische Schlammfaulung, Gas- und Wasserfach, Schriftenreihe Wasser Abwasser, Oldenbourg. Verlag, 3. Auflage, H 1 1967
5. Fair, G.M. and Moore, E.W., Time and Rate of Sludge Digestion and their Variation with Temperature Sewage works Journal 6 (1934) 3-11
6. Schnellen, Ch G.T.P. Onderzoe Kingen Over de Methaangisting. Diss. der Tech. Univ. Delft De Maastadt, Rotterdam 1947
7. Hungate, R.E., The Anaerobic Mezophilic Cellulolytic Bacteria Bact. Rev., 14 (1950) 1-6
8. Bryant, M.P., Wolin, E.A., Wolin, M. and Wolfe, R.S., Methane Methanebacillus Omelianskii, A Symbiotic Association of two Species of Bacteria. Archiv für Mikrobiologie, H 59, (1967)
9. Barker, R.E., Studies Upon the Mathane Fermentation. IV. The Isolation and Culture of Methanobacterium Omelianskii Antonie V.Levwenhoek, 6 (1940) 201-208
10. Buswell, A.M. and Mechenism of Methane Fermenttation Ind.Eng. Chem. 44 (1952) 550-558
11. Buswell, A.M. and Hatfield, W.D. Anaerobic Fermentation StateWater Survey, Bulletin 32 (1938) 101-106
12. Schoberth, S., Mikrobielle Methaniesierung von Klärschlamm. Chemie-Biologie-Potential, Biologische Abfallbehandlung, Klärschlamm. Bundesforschungsministerium 1978
13. Symons, G.E. and Buswell, A.M., The Methane Fermentation of Corbohydrates. Journ. Am Chem. Soc. 55 (1933) 2028-2032

14. Kaltwasser, B.J., Regeneration Energieerzeugung durch anaerobe Fermentation Organischer Abfalle in Biogasanlagen, Wiesbaden, Bauverlag GmbH., 1980
15. Maly, J. Influence of Temperature on Anaerobic Digestion Journal WPCF 43, 4 (1971) 641-645
16. Kunst, S., Untersuchungen zum anaeroben Abbau von Stärke unter besonderer Berücksichtigung einer Optimierung der Hydrolyse- und Versauerungsstufe, Gas- und Wasserfach/Abwasser 124, 2 (1983) 77-82
17. Monod, J., The Growth of Bacterial Cultures Ann. Rev. Microbiol. 3 (1949) 371-380
18. Sanzin, W.D., Biochemische Reaktionsmechanismen bei der Anaerobenfaulung, Wasser und Abwasserforschung 6 (1968), 246-250
19. Andrems, J.F., Kinetics and Characteristics of Volatile Acid Production in Anaerobic Fermentation Processes Intl. Jour. Air and Water Pollution 9 (1965) 439-441
20. Mahr, I., Untersuchungen über die Rolle der niederen Fettsäuren beim anaeroben Faulprozess und Einblick in seine Biozänose, Water Research 3 (1969) 507-510
21. Growther, R.F., Anaerobic Bacteria in Ecological Aspects of Used-Water Treatment Academic Press, London 1975
22. Bryant, M.P., The microbiology of Anaerobic Degradation and Methanogenesis with Special Reference to Sewage Microbial Energy Conference, Göttingen 11 (1976).
23. Sixt, H. Reinigung organisch hochverschmutzter Abwässer mit den Belebungsverfahren am Beispiel von Abwässern der Nahrungsmittelherstellung, Hannover Tech. Uni. Veröffentl. der Inst. für SiWaWi, Heft 50, 1970.
24. Theorien, D.F., Anaerobic Digestion. The Microbiology of Anaerobic Digestion Water Research 1, 7 (1967) 101-103
25. Theorien, D.F., The Bacterial Nature of the Acid-Forming Phase of Anaerobic Digestion Water Research 3, 6 (1969) 385-389
26. Chynoweth, D.P., Bacterial Populations and End Products during Anaerobic Sludge Fermentation of Glucose Journal WPCF 3 (1977) 405-409
27. Bryant, M.P., Methanobacillus omelianski-A Symbiotic Association of two Species of Bacteria Arch. Microbiologie 59 (1967) 20-31
28. Taylor, G.T., The Formation of Methane by Bacteria Process Biochem. 10 (1975) 23-25

29. Imhoff, K., Taschenbuch der Stadtentwässerung, 27, verbesserte Auflage, München, R. Oldenbourg Verlag, 1990
30. Hammer, M.S. Water and Wastewater Technology John Wiley and Sons, Inc., New York 1975
31. Thomas, K., Process Control of Anaerobic Digestion for SCP Recovery. Symposium Papers, New Processes Waste Water Treatment Recover, Horwood Pub. Chichester, Eng., 349 (1978) 1550-1585
32. Günter, D., Untersuchungen zur Phasentrennung bei anaeroben Prozessen Dresden, Technische Universität (Almanya) Sektion Wasserwesen, Diplomarbeit, 1981.
33. Eckenfelder, W.W. Mechanism of Sludge Digestion Water and Sewage Works 114 (1967) 207-211
34. Wilderer, P., Kinetik der Methanproduktion Während der anaeroben alkalischen Schlammfäulung, Gas-und Wasserfach 113, 5 (1972) 226-229
35. Mally, J., Influence of Temperature on Anaerobic Digestion Journal WPCF 43, 4 (1971) 641-647
36. Mc Carty, P.L., Kinetics of Waste Assimilation in Anaerobic Treatment Develop. Ind. Microbiol. 7 (1966) 144-146
37. Maly, J., Factors Determining the Methane Fermentation of Sludge in the Mesophilic Range Wasserwirtschaft Wassertechnik 16, 1 (1966) 20-22
38. Maly, J., Einfluss der Temperatur auf die Methanfermentation von Klarschlamm, Wasserwirtschaft-Wassertechnik 8 (1967) 275-279
39. Maly, J., Änderungen der Chemischen Eigenschaften der Klarschlammes bei der Methanfermentation, Schweiz, Zeitschrift für Hydrologie 33, 1 (1971) 121-132.
40. Monod, J., The Growth of Bacterial Cultures Ann. Rev. Microbiol. 3, (1949) 371-376
41. Leschber Niemitz, W., Erarbeitung von Methoden zur Ermittlung der Konditionierbarkeit, Vom Wasser, 46 (1976) 167-207
42. Möller, U., Entwicklungstendenzen in der Klärschlammbehandlung, Berichte der ATV, Heft 28, 1975.
43. Möller, U., Schlammmenge und Beschaffenheit, 3. Bochumer Workshop, Schriftenreihe Siwawi, Band 7 Bochum 1985.

44. Leschber, R., Möller, U., Schlammkennwert-Notwendigkeit Bestimmung und Bedeutung, Korrespondenz Abwasser 31 (1984) 955-967
45. Loll, U., Bestimmung der Kapillaren Fliesszeit in der Praxis der Maschinellen Klärschlammmentwässerung, Korrespondenz Abwasser 24 (1977) 295-299
46. Mertsch, V., Charakterisierung des Phasenseparationsverhalten von Fallungs- / Flochungsschlämmen bei Sedimentationen, Eindickung und Entwässerung, Dissertation Uni. Karlsruhe 1986.
47. Möller, U. und Leschber, L., Viele neue Begriffe zum Thema "Schlamm" in der neuen DIN 4045 "Abwassertechnik - Begriffe", Korrespondenz Abwasser 31, 5 (1984) 971-975
48. Englman, E., Die Bedeutung von Kennwerten zur Charakterisierung der maschinellen Fest - Flüssing-Trennung von Klarschlamm, Second European Symposium, Wien, 1980, 84-94
49. Neuschafer, U., Möglichkeit der Optimierung der Maschinellen Schlammmentwässerung mit Zentrifugen im Hinblick auf Verbesserte Festigkeitseigenschaften des Entwässerten Klärschlammes, Diplomarbeit am Lehrstuhl für Wasserwirtschaft und Umwelttechnik II, Ruhr Universität Bochum, 1985.
50. Baskerville, R.C. and Gale, R.S., A Simple Automatic Instrument for Determing the Filtrability of Sewage Sludges, Journal of the Institute of Water Pollution Control, 2 (1968) 1070-1078
51. Cost-Aktion 68, Behandlung von Klarschlamm. EUCO/SP/48/75, Komm. der europäischen Gemeinschaften. 1975
52. Unno, H., Muvaio, H. and Akehata, T., Theoretical and Experimental Study of Factors Affecting Capillary Suctiontime Water Res. 17, (1983) 149-156
53. Ügüncü, O., Çöp Depolama Yerlerindeki Dolgu Stabilitesi Problemleri Türkiye 1. Ulusal Heyelan Sempozyumu, 27-29 Kasım 1991, Trabzon, 224-236.
54. Hartmann, L., Biologische Abwasserreinigung, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, 1983
55. Bischof, W., Lehr. und Handbuch Abwassertechnik 9.Auflage, Teubner - Verlag, Stuttgart, 1989.
56. Sai Ram, M., Singh, L. and Alam, S.I., Effect of Sulfate and Nitrate on Anaerobic Degradation of Night Soil, Bioresource Technology, 45 (1993) 229-232

EKLER

Ek Tablo 1: Reaktör R3'deki çürütme gazı analizleri

Tarih	CH ₄ [%]	CO ₂ [%]	AÇIKLAMA
20.07.92	68,8	31,9	
21.07.92	82,5	17,4	
22.07.92	81,7	18,2	
23.07.92	70,6	29,3	
24.07.92	72,0	27,9	
27.07.92	70	30,0	
28.07.92	70	30,0	
29.07.92	66	34,0	
30.07.92	70	30,0	
31.07.92	66	34,0	
03.08.92	66	34,0	
04.08.92	70	30,0	
05.08.92	67	33,0	
06.08.92	72	28,0	
07.08.92	73	27,0	
10.08.92	68,3	31,6	
11.08.92	72	28,0	
12.08.92	72	28,0	
13.08.92	70	30,0	
14.08.92	68	32,0	
17.08.92	77	23,0	
18.08.92	68,5	31,5	
19.08.92	69,5	30,5	
20.08.92	70,0	30,0	
21.08.92	70,0	30,0	
24.08.92	70,0	30,0	
25.08.92	70,0	30,0	
26.08.92	74,0	30,0	
27.08.92	74,0	26,0	
28.08.92	69,5	30,4	

Ek Tablo 2 : Reaktör R 2' deki çürütme gazı analizleri

Tarih	CH ₄ [%]	CO ₂ [%]	AÇIKLAMA
20.07.92	69	31	
21.07.92	68	32	
22.07.92	78	22	
23.07.92	69	31	
24.07.92	68	32	
27.07.92	70	30	
28.07.92	71	29	
29.07.92	68	30	
30.07.92	68	32	
31.07.92	70	30	
03.08.92	70	30	
04.08.92	70	30	
05.08.92	72	28	
06.08.92	68,4	31,6	
07.08.92	73	27	
10.08.92	69,3	30,7	
11.08.92	70	30	
12.08.92	71	29	
13.08.92	71	29	
14.08.92	73	27	
17.08.92	70	30	
18.08.92	71	29	
19.08.92	69	31	
20.08.92	71	29	
21.08.92	69,5	30,5	
24.08.92	70,6	29,4	
25.08.92	70	30	
26.08.92	69	31	
27.08.92	73	27	
28.08.92	71	29	

Ek Tablo 3:Reaktör R 1deki çürütme gazı analizleri

Tarih	CH ₄ [%]	CO ₂ [%]	AÇIKLAMA
20.07.92	66	24	
21.07.92	66	24	
22.07.92	72	28	
23.07.92	69	32	
24.07.92	69	31	
27.07.92	67	23	
28.07.92	66	24	
29.07.92	62	28	
30.07.92	63	27	
31.07.92	65	35	
03.08.92	63	27	
04.08.92	64	26	
05.08.92	70	30	
06.08.92	70	30	
07.08.92	65	35	
10.08.92	69	31	
11.08.92	71	29	
12.08.92	69	31	
13.08.92	67	33	
14.08.92	63	37	
17.08.92	72	29	
18.08.92	70	30	
19.08.92	69	31	
20.08.92	71	29	
21.08.92	69	31	
24.08.92	74	26	
25.08.92	74	26	
26.08.92	68	32	
27.08.92	70	30	
28.08.92	68	32	

Ek Tablo 4 : Reaktör'deki çürütme değerleri

Tarih	Reaktör 1, B.Ç.			Reaktör 2, BÇ/PÇ			Reaktör 3, P.C.			Açıklama
	Gaz	Giriş pH	Çıkış pH	Gaz	Giriş pH	Çıkış pH	Gaz	Giriş pH	Çıkış pH	
	[1]	-	-	[1]	-	-	[1]	-	-	
20.07.92	2,0	7,24	7,15	3,2	7,13	7,12	4,2	6,85	7,06	
21.07.92	1,8	6,89	7,06	3,0	6,95	7,07	3,4	6,78	7,03	
22.07.92	2,0	7,41	7,03	3,2	6,95	7,01	3,6	6,53	6,96	
23.07.92	1,65	7,33	7,03	2,65	6,33	7,04	3,25	6,47	7,0	
24.07.92	1,65	7,33	7,08	3,4	6,43	7,04	4,1	6,37	7,0	
25.07.92	0,9	6,51	7,00	2,8	6,57	7,05	3,4	6,38	7,0	
26.07.92	1,5	6,49	7,09	2,6	6,41	7,01	3,3	6,31	6,93	
27.07.92	2,0	6,76	7,03	2,85	6,6	7,06	3,65	6,65	7,03	
28.07.92	1,8	7,04	7,10	2,65	6,69	7,02	3,65	6,46	6,96	
29.07.92	1,85	6,72	7,12	3,0	6,39	7,03	3,85	6,05	7,03	
30.07.92	1,95	6,48	7,0	3,65	6,36	7,17	4,4	6,40	7,23	
31.07.92	2,05	6,61	7,19	3,25	6,49	7,17	4,0	6,03	7,17	
01.08.92	1,80	6,45	7,20	3,0	6,14	7,13	3,7	6,0	7,15	
02.08.92	1,90	6,40	7,14	3,0	6,26	7,08	4,1	6,07	7,11	
03.08.92	2,00	6,66	7,09	3,2	6,73	7,17	4,4	6,60	7,23	
04.08.92	1,85	6,85	7,17	3,25	6,88	7,16	4,2	6,77	7,17	
05.08.92	1,65	6,50	7,16	2,95	6,68	7,09	3,8	6,82	7,11	
06.08.92	2,00	6,88	7,14	2,85	6,83	7,21	3,45	6,65	7,22	
07.08.92	2,00	6,80	7,25	3,0	6,71	7,17	3,25	6,62	7,17	
08.08.92	2,05	6,84	7,13	2,9	6,65	7,10	3,1	6,04	7,10	
09.08.92	1,95	6,70	7,00	2,75	6,24	7,02	3,8	6,35	7,0	
10.08.92	2,00	6,74	7,08	2,80	6,40	7,0	4,0	6,09	7,13	
11.08.92	1,85	7,0	7,06	3,0	6,35	7,0	4,1	6,64	7,21	
12.08.92	1,90	6,8	7,06	3,1	6,54	7,05	3,8	6,35	6,94	
13.08.92	2,10	6,83	7,00	3,7	6,58	7,01	4,2	6,40	7,0	
14.08.92	2,10	6,47	6,90	3,8	6,6	7,03	4,4	6,47	7,09	
15.08.92	2,0	6,48	7,01	3,65	6,31	7,09	4,0	6,05	7,10	
16.08.92	1,95	6,35	6,99	3,65	6,58	7,07	4,2	6,43	6,95	
17.08.92	2,0	6,44	7,20	3,7	6,5	6,89	4,3	6,7	6,94	
18.08.92	1,85	6,66	7,05	3,5	6,4	7,0	4,15	6,74	7,01	
19.08.92	1,70	6,8	7,19	3,0	6,4	7,0	3,95	6,64	7,05	
20.08.92	1,90	6,75	7,04	3,1	6,39	7,0	3,8	6,7	7,0	
21.08.92	1,90	6,55	6,91	3,2	6,67	7,04	3,85	6,65	6,99	
22.08.92	1,85	6,84	7,00	3,2	6,65	7,04	4,1	6,7	7,05	
23.08.92	1,95	6,8	7,1	3,3	6,58	7,13	4,3	6,48	7,10	
24.08.92	2,0	6,68	7,12	3,35	6,65	7,1	4,5	6,55	7,3	
25.08.92	2,1	6,59	7,08	3,0	6,49	7,0	4,45	6,5	7,0	
26.08.92	2,15	7,31	6,94	3,2	6,49	7,0	3,95	6,7	7,21	
27.08.92	2,2	6,90	7,00	3,25	6,37	7,0	3,70	6,04	6,9	
28.08.92	2,0	6,79	7,13	3,1	6,47	7,0	3,6	6,8	7,11	
29.08.92	2,5	6,70	7,2	3,45	6,11	7,2	3,9	6,69	7,0	

Ek Tablo 5 : Çürütme çamuru(PÇ) suyu yükü

Tarih	Primer Çamur (PÇ)					
	TKN	TP	NH ₄ -N	KOİ	BOİ ₅	Organik Asitler
[-]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
20-23/07/92	680	14,9	642	682	162	-
27-30/07/92	672	17,2	620	1008	222	92
03-06/08/92	721	16,6	652	1208	202	61
10-13/08/92	800	18,3	670	1304	245	64
17-20/08/92	745	16,7	665	1375	260	58
24-27/08/92	694	18,0	683	1400	275	67 ¹

Ek Tablo 6 : Çürütme çamuru (BÇ) suyu yükü

Tarih	Biyolojik Çamur (BÇ)					
	TKN	TP	NH ₄ -N	KOİ	BOİ ₅	Organik Asitler
[-]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
20-23/07/92	734	40	684	440	108	-
27-30/07/92	800	64,2	742	1456	171	46
03-06/08/92	577	56,8	518	1374	181	42
10-13/08/92	650	58,4	605	1382	190	44
17-20/08/92	710	49,8	595	1395	185	48
24-27/08/92	795	61,2	690	1480	189	54

Ek Tablo 7 : Çürütme çamuru (PÇ/BÇ) suyu yükü

Tarih	Karışık Çamur (PÇ/BÇ)					
	TKN	TP	NH ₄ -N	KOİ	BOİ ₅	Organik Asitler
[-]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
20-23/07/92	702	22,1	660	534	134	-
27-30/07/92	768	38,5	734	1024	164	45
03-06/08/92	843	44,0	718	1448	228	40
10-13/08/92	905	48,0	694	1516	240	42
17-20/08/92	980	54,5	740	1750	284	48
24-27/08/92	995	58,4	764	1825	310	53

Ek Tablo 8: Çamur yükleri

Tarih	Çürütme (B.Ç)				Çürütme (B.Ç./P.Ç)				Çürütme (P.Ç)			
	KM	OKM	KOİ	BOİ ₅	KM	OKM	KOİ	BOİ ₅	KM	OKM	KOİ	BOİ ₅
	g/l	%	mg/l	mg/l	g/l	%	mg/l	mg/l	g/l	%	mg/l	mg/l
20.07.92	49,4	64,1	53200	11319	45,4	63,3	54500	11481	41,4	62,7	35900	9756
21.07.92	49,7	64,5	67100	10750	46,7	59,9	50000	10181	58,1	52,9	45900	8419
22.07.92	44,6	64,1	43900	10608	66,7	48,9	52000	11994	87,5	42,2	48000	10081
23.07.92	52,2	64,8	77600	15008	54,8	58,2	57900	16396	68,8	47,2	47100	11669
24.07.92					43,7	59,0			40,4	53,6		
27.07.92	56,8	66,2	72600	15363	47,4	62,9	67500	13744	46,3	60,1	53000	12031
28.07.92	61,8	66,5	84200	16035	55,3	62,8	59700	13769	46,8	58,9	48000	15963
29.07.92	56,0	66,8	73200	13763	54,7	63,5	54900	13363	64,9	59,9	64600	14413
30.07.92	41,1	67,4	50400	9725	41,6	65,5	41000	9750	37,5	63,7	37200	8275
03.08.92	53,8	67,1	74000	15963	49,4	64,6	63000	13025	50,4	58,0	44700	11250
04.08.92	49,0	67,2	57500	11700	44,6	65,4	49000	10888	34,5	64,1	38600	7713
05.08.92	53,1	67,5	65600	13063	42,1	65,1	45700	10438	32,8	60,8	33100	6000
06.08.92	47,9	67,3	48400	10525	48,1	63,6	49200	10640	43,5	60,3	30700	8278
07.08.92	49,2	66,7	55100	12030	43,4	58,2	55010	10610	41,2	52,4	32100	8747
10.08.92	50,8	67,5	61500	11600	47,8	59,5	61400	10890	47,1	56,5	31500	7015
11.08.92	48,2	63,4	50800	14500	55,4	64,9	62100	11010	52,5	50,8	38100	9013
12.08.92	55,4	66,8	71000	12700	54,8	59,0	57000	11540	58,1	52,3	40000	12150
13.08.92	57,2	60,4	68400	13098	46,4	58,9	54000	12000	48,7	57,6	36400	11214
14.08.92	54,8	62,0	62100	14053	53,2	64,8	53000	12150	59,6	54,7	60000	9011
17.08.92	48,9	65,6	59800	16040	45,6	64,5	52100	9870	58,5	51,6	45000	8745
18.08.92	45,6	67,3	70100	15740	67,6	47,9	54000	11455	69,2	46,7	43200	16011
19.08.92	42,5	65,8	72300	10795	53,8	56,9	41700	10785	60,1	55,4	61000	13679
20.08.92	48,6	63,5	68000	13840	47,6	63,9	53000	10442	70,9	47,2	45300	11685
21.08.92	51,2	68,4	49400	12875	40,4	62,5	48900	9640	54,5	51,8	47200	9644
24.08.92	54,8	64,1	59600	10950	55,6	61,4	64890	11510	49,8	51,2	42300	8075
25.08.92	40,1	66,8	64500	11870	50,8	64,7	51200	13015	85,6	41,2	55000	8384
26.08.92	51,0	65,9	69100	13060	46,8	50,8	49800	11200	75,4	42,8	51200	8670

Ek Tablo9: Çürütme çamuru yükleri

Tarih	Çürütme (B.Ç)				Çürütme (B.Ç./P.Ç)				Çürütme (P.Ç)			
	KM	OKM	KOİ	BOİ ₅	KM	OKM	KOİ	BOİ ₅	KM	OKM	KOİ	BOİ ₅
	g/l	%	mg/l	mg/l	g/l	%	mg/l	mg/l	g/l	%	mg/l	mg/l
20.07.92	35,1	57,3	30700	2457	37,6	49,2	27350	2455	45,0	43,1	28550	2180
21.07.92	33,7	56,1	32200	2448	36,7	48,8	25300	1770	41,4	43,2	25700	1587
22.07.92	34,9	56,8	33550	2847	37,5	49,2	28350	2114	42,5	44,5	30700	2282
23.07.92	35,7	56,8	34350	2616	38,4	48,1	28750	2079	42,3	42,7	37800	2273
24.07.92												
27.07.92	35,8	56,5	35350	2753	37,5	47,2	30800	2137	40,4	41,3	26600	2234
28.07.92	37,1	56,5	37100	2426	38,1	48,1	26600	1576	40,1	41,6	31300	2049
29.07.92	37,4	56,0	35550	2727	38,3	47,6	29750	2688	39,8	41,5	25200	2395
30.07.92	37,9	56,6	41350	3365	39,1	48,3	31600	2598	36,1	44,7	21750	2080
03.08.92	37,8	56,2	39750	2948	37,2	50,1	30000	2045	36,2	42,7	24000	2100
04.08.92	37,1	55,9	39450	2875	39,1	48,8	31400	2225	36,3	42,1	22750	1669
05.08.92	37,6	57,3	38900	2917	37,6	49,9	26000	2283	33,9	43,9	22350	2181
06.08.92	37,8	56,7	32300	2406	36,0	50,2	29050	2400	34,2	43,8	20400	2146
07.08.92	35,6	56,1	34100	2605	36,8	49,0	26500	2345	34,3	44,1	21650	2175
10.08.92	37,2	56,0	31400	2846	36,7	48,6	27300	2497	35,8	49,2	30700	2047
11.08.92	31,2	56,5	29650	2915	37,0	49,1	28150	2514	33,6	51,9	28500	2155
12.08.92	37,2	57,0	36140	3456	37,2	49,5	31400	2145	34,5	48,9	30600	2274
13.08.92	37,5	55,9	32550	2894	37,4	47,5	32100	2679	40,7	47,3	26500	1576
14.08.92	37,7	56,2	34250	2961	37,1	47,2	28000	2273	47,9	49,4	23250	2050
17.08.92	38,0	56,5	45500	2985	37,6	46,5	26100	2190	46,3	45,6	24150	2170
18.08.92	37,9	56,7	41250	2365	37,8	49,5	25950	1595	42,5	44,3	26010	2245
19.08.92	37,8	56,8	39900	2890	38,1	47,9	31400	2150	40,3	42,2	25150	2386
20.08.92	38,1	56,8	38500	2996	38,4	49,5	26250	2095	39,6	40,9	22450	2275
21.08.92	37,4	57,2	43450	3455	38,6	50,5	28450	2183	39,9	41,6	23140	2150
24.08.92	37,1	57,2	41250	3455	39,3	51,2	30000	2150	36,2	44,5	28000	2190
25.08.92	37,5	54,4	35410	2746	38,7	49,9	29900	2695	36,5	43,8	27100	2145
26.08.92	37,6	57,3	36745	2717	38,8	50,6	28700	1896	37,2	42,4	29050	2140

Ek Tablo 10 : Çürütme çamuru değerleri

Tarih	Çürütme (B.Ç)				Çürütme (B.Ç./P.Ç)				Çürütme (P.Ç)			
	KM	OKM	TKN	TP	KM	OKM	TKN	TP	KM	OKM	TKN	TP
	g/l	%	mg/l	mg/l	g/l	%	mg/l	mg/l	g/l	%	mg/l	mg/l
20-23/07/92	33,7	56,2	2410	987	37,3	48,5	1940	778	42,1	42,2	1755	555
27-30/07/92	36,8	56,6	2334	913	38,6	48,0	2199	824	38,5	42,7	1705	468
03-06/08/92	37,5	56,8	2850	1080	36,9	49,6	1910	693	34,7	44,0	1460	456
10-13/08/92	37,3	56,4	2715	1100	37,1	48,7	1980	710	36,2	49,3	1395	460
17-20/08/92	38,0	56,7	2890	985	37,9	48,4	2210	815	42,2	43,3	1380	415
24-27/08/92	37,5	57,2	3015	1270	39,0	51,1	2405	905	50,4	43,1	1455	460

Ek Tablo11 : Ham çamur değerleri

Tarih	Çürütme (B.Ç)				Çürütme (P.Ç./B.Ç)				Çürütme (P.Ç)			
	KM	OKM	TKN	TP	KM	OKM	TKN	TP	KM	OKM	TKN	TP
	g/l	%	mg/l	mg/l	g/l	%	mg/l	mg/l	g/l	%	mg/l	mg/l
20-23/07/92	45,6	64,2	2825	1020	53,6	57,1	2280	798	63,8	49,5	1760	428
27-30/07/92	53,5	66,7	3948	1470	48,9	63,6	2415	822	48,9	60,4	1655	525
03-06/08/92	50,4	67,2	4010	1750	46,1	63,6	2970	1160	40,2	61,5	1215	356
10-13/08/92	51,7	64,5	4105	1785	51,1	60,7	3110	1725	51,6	54,3	1310	420
17-20/08/92	52,3	66,1	3980	1900	53,7	58,3	3450	1290	64,7	50,3	1280	395
24-27/08/92	54,5	65,2	4200	2050	52,6	58,9	3670	1320	68,8	48,4	1670	470

Ek Tablo 12:Reaktöre giriş ve çıkış çamurlarında CST değerleri

Tarih	R1		R2		R3	
	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış
20.07.92	35,23	70,16	25,77	57,01	28,19	103,45
21.07.92	23,71	42,2	13	27	33	45
22.07.92	21	42	15	33	28	54
23.07.92	21	51	25	29	13	63
24.07.92	35	59	12	24	14	68
27.07.92	46	36	14	21	20	47
28.07.92	59	43	17	28	17	71
29.07.92	42	58	20	35	26	99
30.07.92	39	63	13	33	24	94
31.07.92	28	50,79	12,49	22	19	39
03.08.92	46,33	37,39	18,36	25	27	87
04.08.92	28,52	54	12	26	21	44
05.08.92	30	70	18	54	14	65
06.08.92	27	87	18	45	19	54
07.08.92	17	50	10	23	22	45
10.08.92	22	50	20	28	25	60
11.08.92	24	40	14	31	34	58
12.08.92	23,7	65,3	15,0	18	21	77
13.08.92	18,9	35,6	13,6	29	13	63
14.08.92	26	88	17	49	20	59
17.08.92	28,3	83,02	20,12	38,34	18,07	47,48
18.08.92	27,5	88,3	16,8	46,2	17,9	59,6

ÖZGEÇMİŞ

Yük.Müh.Osman ÜÇÜNCÜ, 1963 yılında Akçaabat'ta doğmuş ve sırasıyla ilk, orta ve lise öğrenimini Trabzon'da tamamlamıştır. 1979 yılında Almanya'da Goethe Institut, 1980 yılında Studienkolleg ve 1987 yılında Fachhochschule Darmstadt'dan Dipl-Ing. ünvanı ile mezun olmuştur.

1987'den 1988 yılına kadar Karlsruhe Teknik Üniv.'de asistan olarak çalışmış ve aynı yıl askerlik görevini yapmak için Türkiye'ye gelmiş ve askerliğini tamamlamıştır.

1988 yılında K.T.Ü. Fe Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı doktora programına başlamıştır. Halen, Hidrolik Anabilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi olarak çalışmakta olan, Osman Üçüncü, İngilizce ve Almanca bilmektedir.

Dresden Teknik Üniversitesi'nin ve Basel Şehri Akarsu Koruma Dairesi Zemin Suyu Koruma ve Hidroloji Kısımının burslusu olarak Almanya ve İsviçre'de bulunmuştur.

1994-1995 öğretim yılı için Türk Hükümeti emrine verilen Finlandiya araştırma bursunu asil aday olarak kazanmıştır.