

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Organik Kim., End., Arz., Bilye, Ola., Arz., Inc.

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Güldehen Özyol

1989

41-
R 150
178

25.000
YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

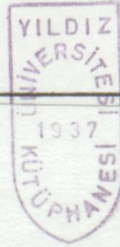
ORGANİK KİMYA ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ
BİYOLOJİK OLARAK ARITILABİLİRLİĞİNİN
İNCELENMESİ

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)
GÜLDEHEN ÖZYOL

İSTANBUL-1989

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
KÜTÜPHANE DOKÜMANTASYON
DAİRE BAŞKANLIĞI

Kot : R 150
173
Alındığı Yer : FEN BİL .ENS.
Tarih : 21.10.1991
Fatura : - - - - -
Fiyatı : 25.000.TL.
Ayniyat No : 1/15
Kayıt No : 47766
UDC : 624. 378.242.
Ek :



İÇİNDEKİLER

KISIT

BÖLÜM I KISIT VE KAPSAM TEŞEKKÜR

1.1 KISIT

1

1.2 KAPSAMIN KAPSAMI

2

Tez çalışması süresince ilgi ve yardımlarını gördüğüm hocam Prof. Dr. Adem Baştürk'e, yardımlarını esirgemeyen Mass Arıtma Sistemleri Ltd.Şti çalışanlarına ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

2.1 MİKROBİYOLOJİ

4

2.1.1 Genel Bilgiler

6

2.1.2 Biyofilm Mikrobiyolojisi

8

BÖLÜM II BİYOFİLM KİNETİĞİ

3.1 BİYOFİLMİN TANIMI VE BİYOFİLM SİSTEMLERİ

11

3.2 BİYOFİMLERDE KİTİLTAYICI OLAYLAR

11

3.3 BİYOFİMLERDE SUBSTRAT BİDERME MEKANİZMASI

12

3.3.1 Sıvı Film Difüzyonu

14

3.3.2 Biyofilme Difüzyon

15

3.3.3 Reaksiyon

16

3.3.4 Biyofilme Dışına Difüzyon

18

3.3.5 Adsorpsiyon ve Hidroliz

19

3.4 MOLE TRANSFERİ

3.4.1 Literatür Arastırması

19

3.4.2 Genel Denklemler

22

3.5 UYULANACAK MATEMATİK MODELLER

24

BÖLÜM IV DENEYSEL ÇALIŞMALARI VE UYGULAMASI

4.1 TESİSİN TANITILMASI	28
4.2 PILOT TESİSİN TANITILMASI	31
4.3 PILOT TESİS DENEY SONUÇLARI	32
4.4 SONUÇLARIN SUNULMASI	39
4.5 PILOT BİYODİSK SİSTEMİNDEKİ İZLENİMLER	54
4.6 SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	54
4.7 BİYODİSK DENEY SONUÇLARININ MATEMATİK MODELE UYGULAMASI	57

KAYNAKLAR

62

ÖZBEÇMİŞ

63

ÖZET

Çevre Mühendisliği dalındaki çalışmaların henüz yetersiz olduğu ülkemizde, endüstriyel atıksuların pilot ölçekli tesisler kurularak arıtılabilirliğinin incelenmesi ve deneysel sonuçların değerlendirilmesi ile arıtma sistemine karar verilmesi oldukça yenidir.

Bu çalışma kapsamında şbir organik kimya endüstrisi atıksularının ikinci kademe biyolojik arıtılabilirliği çalışması ve incelenen biyolojik arıtma sistemlerinden biyodisk sistemi,mevcut bilgi birikimlerini ortaya konarak ve deneysel sonuçları değerlendirilerek tasarıma sunulmuştur.

Birinci bölümde çalışmanın amacı ve kapsamı ortaya konulmuştur.

İkinci bölümde biyolojik sistem tanıtılmış, zaman içindeki gelişimine ve bu konuda yapılmış çalışmalar verilmiştir.

Ayrıca mikrobiyoloji konusunda genel bilgiler ve biyofilm mikrobiyolojisine değinilmiştir.

Üçüncü bölümde biyofilm kinetiği açıklanmış ve deney sonuçlarının tahkikinde kullanılacak matematik model kullanılmıştır.

Dördüncü Bölümde arıtılabilirlik çalışması yapılan fabrika ve pilot tesisler tanıtılmıştır.Deney sonuçları sunulularak seçilen matematik model ile uygulaması yapılmıştır.

SUMMARY

In Turkey , the studies to decide on the type of the treatment system by contracting pilot systems and the evaluation of experimental results began in recent years.

In this research among the biological treatment systems biodisk-system is investigated for the waste water treatment of the organic chemical industry.

The first part includes the purpose and content of the study.

In the second part the history of biodisk-system and previous studys are given. Some basic fact about microbiology and microbiology of biofilm are also given in this part.

In the third part biofilm kinetics is explained and mathematical model which is used in the analysis of experimental results is introduced.

The fourth part of the study included the introduction of the industry and pilot systems. The application of experimental results through the mathematical model is given.

BÖLÜM I

KONU VE KAPSAM

1.1 GİRİŞ

Çevre kirlenmesi; insan faaliyetleri sonucunda doğal dengenin, her hangi bir yararlı kullanıma engel olacak şekilde bozulması şeklinde tanımlanabilir.

Karbon içeren atıksuların alıcı ortama deşarjı sonucu, organik maddenin oksidasyonu için ortamdaki oksijeni kullanması nedeniyle, alıcı ortamda oksijen eksikliği oluşmakta ve ekolojik denge bozulmaktadır. Bu durumda ortamda havasız koşullar oluşarak sülfür, azot ve metan gibi kokulu gazlar ortaya çıkmakta ve alıcı ortamın herhangi bir yararlı kullanım için değerlendirme olanağı tamamen ortadan kalkmaktadır.

Atıksularda bulunan kirletici unsurlardan organik maddenin yaratacağı olumsuz etkilerin giderilmesi için biyolojik arıtma sistemleri kullanılmaktadır.

Atıksuların biyolojik olarak arıtılması yüzyıldan daha fazla bir zamandır kullanılmaktadır. Fakat prosesin içeriğinin anlaşılmasında hala ciddi eksiklikler bulunmaktadır. Bu eksiklikler özellikle yeni teknolojiler geliştirildiğinde ve yeni standartlar konulduğunda açıkça görülmektedir.

Biyolojik arıtma sistemleri aşağıdaki şekilde sınıflandırılmaktadır.

1. Askıda Çoğalan Sistemler (Aktif Çamur gibi.)
2. Biyofilm Sistemleri (RBC, Damlatmalı Filtreler gibi.)

Askıda sistemler, enerjinin ucuza kullanıldığı 1970'li yıllara kadar tüm dünyada geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Ancak 1970'li yıllardan sonra yaşanan enerji krizleri daha az enerji kullanan sistemler üzerinde

yoğun araştırmaların başlamasına neden olmuştur. Bu nedenle havalı veya havasız biyofilm sistemleri ilgi çekmiş ve Avrupa'dan başlayarak Amerika ve Asya'da kullanılmaya başlanmıştır.

Havalı biyofilm sistemi olan biyodisk (RBC) sistemleri evsel ve endüstriyel atıksuların arıtılmasında son yıllarda Avrupa, özellikle Almanya'da kullanılmaktadır. Son on yıldır Amerika'da da başarılı uygulamaları görölmektedir.

Biyodiskler (RBC), evsel ve endüstriyel atıksuların arıtılmasında son yıllarda Avrupa, özellikle Almanya'da kullanılmaktadır. Son on yıldır Amerika'da da başarılı uygulamalar görölmektedir.

Biyodisk sistemi bir şafta irtibatlandırılmış birbirine yakın bir seri diskten oluşmuştur. Diskler dönerken üst kısımları atmosferde alt kısımlarıda suyun içindedir.

RBC sistemlerinde hedeflenen amaçlar; uygunluk, yüksek arıtma verimi, proses kararlılığı, düşük bakım ve güç tüketimi, istenen nitrifikasyon ve iyi çamur çökeltmesidir.

Bu prosesin geniş uygulama alanlarının olmasına karşın, çalışmalarda yeterli veri toplanadığından teorik analizleri tahkik edebilmek mümkün değildir.

1.2 ÇALIşMANIN KAPSAMI

Bir atıksu arıtma tesisinin başarısızlığı esas olarak aşağıdaki nedenlere bağlı olabilir;

- 1/ Uygun olmayan dizayn kriterleri,
- 2/ Atıksuyun zehirliliği,
- 3/ Kötü inşaat,
- 4/ İşletme problemleri

Burada 1.ve 2. maddeler projelendirme safhasında önem taşımaktadır. Çalışmamızda yararlandığımız fabrikada bu yaklaşımla yaptığı atıksu kontrol ve arıtma düzeni çalışması sonucunda ; atıksuların özellikle biyolojik

arıtmada sorun yaratma potansiyeline sahip bileşenler içermesi nedeniyle arıtma tesisinin iki aşamada gerçekleştirilmesi , önce fiziksel-kimyasal arıtma tesisi kılarak arıtma çıkış suyunda pilot biyolojik arıtma deneyleri yapılması ve pilot deney sonuçlarından yararlanılarak biyolojik arıtma tesisinin tasarlanması ve kurulması öngörülmüştür.

Pilot biyolojik arıtma deneyleri bu nedenlerle ikincil arıtma sisteminin tasarım ve işletmesine ışık tutmak amacıyla yapılmıştır. Pilot tesiste paralel çalışan 3 ünite çalışmaktadır: aktif çamur , biyofiltre ve biyodisk.

Bu çalışmanın amacı ; Bölüm 1.1'de de belirtildiği gibi özellikle biyodisk konusunda teorik analizleri tahkik edecek yeterince veri olmadığı gözönünde tutularak bu konudaki mevcut bilgi birikiminin ortaya konulması ve yukarıda sözü edilen biyodisk sisteminden elde edilen deney sonuçlarının bu bilgi birikimi çerçevesinde tahkik edilmesidir.

Yukarıda belirtilen temel amaçlar doğrultusunda yürütülen çalışmanın kapsamı;

- Biyodisk biyolojik arıtma sisteminin zaman içindeki gelişimi,
- Biyofilm sistemlerinin mikrobiyolojisi,
- Biyofilmin tanımı,
- Biyofilm kinetiğinin açıklanması,
- Substrat giderme mekanizması ve matematik modelin incelenmesi,
- Arıtılabilirlik çalışması yapılan fabrikanın tanıtılması,
- Pilot tesislerin tanıtılması, işletme koşullarının açıklanması,
- Deney sonuçlarının sunulması,
- Deney sonuçlarının kullanılarak matematik modeldeki kinetik katsayıların hesaplanması,
- Bu bilgiler ışığında biyodisk sisteminin tasarımı

olarak belirlenmiştir.

BÖLÜM II

BIYODISK SİSTEMİ VE MİKROBİYOLOJİSİ

2.1 BIYODISK SİSTEMİNİN TARİHİ GELİŞİMİ

İngiltere ve Amerika'da bugün kullanılan dönen biyolojik temas yüzeyleri Travis tarafından yapılmış dönen eleklere dayanılarak geliştirilmiştir.

Bu sistem, II.Dünya Savaşı sırasında askeri birliklerin atıksu problemini çözmek için kullanılmıştır. Atıksu bulunan havuzlara asbestli çimento levhalar daldırılıp bu levhaların üzerine biyolojik çim ekilmiş ve hava üflenerek oksijene doymun hale getirilmiştir. Ancak oksijen sarfiyatının fazla olması, levhalar arasında çok miktarda çamur birikmesi ve koku problemi nedeniyle bu sistem uygun bulunmamıştır.

Dönen biyolojik temas yüzeyi sistemlerinin Almanya'da gelişimi 1900'lü yıllara dayanır. Biyolojik arıtma tesislerinde enerji ihtiyacını azaltmak için ilk defa Weigand tarafından daldırılmış silindirik filtreler kullanılmıştır. Çıtadan yapılmış bir silindirin içine çalı çırpı doldurulmuş ve yarıya kadar atıksuya daldırılmıştır. Bazı atıksu tesislerinde bu silindirler kullanılmıştır. Bu tesisler istenen başarıyı sağlayamamışlardır. Nedeni; bu silindirlerde yeterince havalı ortamın sağlanamamış olması ve çamur promlemidir. Bu nedenle silindirlerin zaman zaman sökölüp temizlenmesi gerekiyordu.

1929'da Doman'nın yaptığı RBC deneysel çalışmasının sonucunda %27 BOI giderimi sağlamıştır. Bu çalışmada, en iyi sonucu veren azami yüzey kalınlığının 0.8 mm'den ince olduğu dikkati çekmiştir. Arıtma veriminin düşük olmasının nedeni kısmen yetersiz ön çökeltme ünitesi ve birim hacim başına düşen yüzey alanıdır.

1934'de Hays temaslı havalandırma sistemi üzerinde çalışmalar yapmıştır. Hays silindirler içinde çökelen katı maddelerin çürümesinin alttan havalandırma suretiyle önlenebileceğini bulmuştur.Hays'ın teorisi Amerikada temaslı havalandırma olarak tanınır. Ama Avrupa'da batırılmış filtre olarak adlandırılır.

1934'de Bach, Hays'ın sisteminde gerekli olan havaya gerek duymayan dönen disk sistemini dizayn etmiştir. Ancak bu proste silindirin duvarlarının çamur ile tıkanması sonucu başarısızlığa uğramıştır.

1950'li yıllarda biyofilm sistemlerine ilgi artmış. Ama bu ilgi daha çok damlatmalı filtreler üzerine yoğunlaşmış. Bu yıllarda silindirlerin içine çalı çırpı konulmaktan vazgeçilerek silindirler daire şeklinde, aralarında mesafe olan disklerden oluşturulmuştur. Böylece silindirler içinde çamur birikme problemi ortadan kaldırılmıştır. Önce diskler asbestli çimentodan yapılmıştır. Ancak uygulamada bu disklerin ağırlığı engelleyici bir unsur olmuş ve 1959'da Stengel tarafından çok hafif ama çok dayanıklı olan sitropor malzemesi önerilmiştir. Bu malzeme hafif olduğu için silindiri döndüren shaftı zorlamamaktadır.

1970 'li yıllarda silindir olarak plastik malzeme kullanılmıştır. 1973 petrol krizinden sonra enerji sarfiyatı daha az olduğu için hafif malzemeye ilgi artmıştır.

Hartman 1960'da yaptığı RBC pilot tesis çalışmasında aşağıdaki sonuçlara ulaşmıştır:

1/ 1 m çapında bir disk için optimum dönme hızı 5-7 rpm dir.

2/ Diskler arası mesafe 15 mm olmalıdır.

3/ Diskler mümkün olduğu kadar derine daldırılmalıdır.

4/ Disk dönme yönü atıksuyun akış yönü ile aynı olduğunda en iyi sonucu verir.

5/ Bu sistem küçük tesisler için uygundur. Çünkü küçük tesislerin bakım maliyetleri az ve gelen yük değişken değildir.

6/ İşletme maliyetleri aktif çamur ve damlatmalı filtre sistemlerinden çok daha düşük olmuştur.

Hartman 1963'de Döner Disk sistemi için patent almıştır.

Pöpel, büyük ölçekli tesisler kullanarak Hartman'nın çalışmasını geliştirmiş ve substrat giderme verimliliğinin işletme değişkenleri açısından ampirik bir korelasyon çıkarmıştır.

1960'ların Almanyası'nda genellikle nüfusu 1000 kişiden az olan yerleşim bölgelerinde biyodisk sistemleri kullanılmıştır. Ancak bu tarihten sonra RBC sistemindeki gelişmeler Avrupa'da noktalanmıştır. Ama 1960 ile 1970 arasında Amerika'da bu konuda Allis-Chalmers önemli gelişmeler kaydetmişlerdir.

RBC teknolojisinin Avrupa'daki kullanımı oldukça geniştir ve şu anda 1000'nin üzerinde tesis vardır. Amerika'da ise 1972 yılından beri RBC atıksu arıtımında kullanılmaktadır ve çalışan 300 ' ü aşkın tesis vardır.

2.2 MIKROBİYOLOJİ

2.2.1 Genel Bilgiler

Doğada bulunan mikroorganizmalar protista (yüksek ve alçak) bitki ve hayvan olmak üzere üç ana gruba ayrılır.

Bunlar çekirdeğin yapısına göre sınıflandırıldıklarında belirgin çekirdeğe sahip olanlar okaryotik, belirgin çekirdeği olmayanlar prokaryotik olarak adlandırılırlar. (Tablo 2.1).

Tablo 2.1.

Su ve atıksularda bulunan mikroorganizmaların basitleştirilmiş sınıflandırılması (Metcalf-Eddy, 1981; Tchobanoglous ve Schroeder 1985)

ANA GRUP	BELİRGİN TİP	HUCRESEL SINIFLAMA	KARAKTERİZASYON
Hayvan	Kabuklular Kurtçuk Rotifer		
Bitki	Koklü su bitkileri Tohumlu bitkiler Fernler Yosunsular	Okaryotik	Hücre farklılaşması olan çok hücreliler

Protista			
Yüksek seviyeli	Protozoa Alg Mantar (küf ve Maya)		Tek hücreliler yada hücre farklılaşması olmayan çok hücreliler
Alçak Seviyeli	Mavi Yeşil Alg Bakteri	Prokaryotik	

Çoğalma ve diğer fonksiyonlarını sürdürebilmek için bir mikroorganizmanın karbon ve enerji kaynağına gereksinimi vardır. Karbon dışında sülfür, potasyum, magnezyum gibi eser elementlerde hücre sentezi için gereklidir. Hücresel karbonunu inorganik karbon bileşiklerinden temin eden mikroorganizmalar ototrof, organik karbon bileşiklerinden temin edenler ise heterotrof olarak gruplandırılırlar.

(Tablo 2.2.) Ototrof organizmalar hücre sentezi içinde gerekli enerjilerini fotosentez yoluyla güneş ışığından yada inorganik reaksiyonundan temin ederler, heterotrof organizmalar ise hücre sentezi için gerekli enerjiyi organik maddenin oksidasyonundan veya fermentasyonundan elde ederler (Metcalf-Eddy, 1981).

Tablo 2.2. Enerji ve karbon kaynağına göre Mikroorganizmaların Genel Sınıflandırılması (Chobanoglu ve Schroeder 1985)

SINIF	ENERJİ KAYNAGI	KARBON KAYNAGI	TİPİK ORGANİZMA GRUBU
Fotoototrof	Güneş ışığı	CO ₂	Yüksek bitkiler Alg, Fotosentetik bakteri
Fotoheterotrof	Güneş ışığı	Organik Madde	Fotosentetik bakteri
Kemoheterotrof	Organik madde	Organik	Bakteri, Mantar, protozoa hayvan

Karbon ve enerjinin yanısıra oksijende hücre büyümesinde önemli bir rol oynar. Pekçok organizma metabolizmaları için moleküler oksijene gerek duyarlar, bunlar aerob organizmalardır. Bazı organizmalar içinse oksijen toksittir, bunlar anaerob organizmalardır. Bazıları hem oksijenli hem de oksijensiz ortamda yaşayabilirler, bunlar fakültatif anaerob bakterilerdir (Metcalf-Eddy, 1981).

2.2.2. Biyofilm Mikrobiyolojisi

Aerobik biyofilm sistemlerinde bakteri ,fungi,protozoa , alg,rotifer,kurtçuk gibi çok çeşitli mikroorganizma türlerine rastlanmaktadır. Tutunma yüzeyi üzerinde bu canlıların gelişmesi sistemin her bir bölmesine gelen besin maddesi miktarına bağlı olarak değişmektedir. Pretorius , 1971 ; Welch, 1968; Antonie ve Welch,1969; Tomlinson, 1966;Sack,1973;Torpey ve dig., 1971 hem evsel atıksu hemde endüstriyel atıksu arıtan biyofilm sistemlerinde değişik işletme koşulları altındaki organizma gelişmelerini incelemişlerdir.Piston akımlı döner disk sistemlerinde ilk birkaç bölmedeki mikroorganizma üremesi son bölmelerden çok daha hızlı gerçekleşmektedir. (torpey ve dig. 1971).

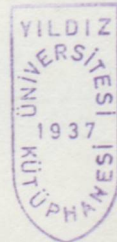
Aynı zamanda bölmeler boyunca geçen atıksudaki karbon ve enerji miktarının azalmasına bağlı olarak ilk bölmelerde giderek incelmekte ve biyofilm ağırlığı azalmaktadır. Bakteriler organik madde gideren biyofilm sistemlerinin en önemli organizma grubunu oluştururlar.Evsel atıksularda yapılan araştırmalarda giriş bölgesinde ve ilk bölmelerde sphaerotilus ce zoogloeal bakteri hakim mikroorganizma grubunu oluşturuyorlar (Torpey ve dig.)

Daha sonraki bölmelerde ise fungi ,protozoa rotifer ve kurtçukların oluşturduğu film tabakası gözlenmektedir. Tomlinson (1966) evsel atık yerine saf substrat olan glu kozla yaptığı çalışmada fungilerin ağırlıkta olduğu farklı türde bir film tabakası oluşturduğu gözlenmiştir.

oluşan bu tabaka ,oksijen difuzyon katsayısının evsel atıkla oluşan filminkine oranla çok daha fazla olmasına bağlı olarak evsel atığınkine göre çok daha fazla kalınlalaşabiliyor.Pseudomonas denitrificaus ve baggiatoa gibi bakterilerin gözlenmesi ,sistemde mevcut bulunan azot ve sülfürün kullanılmasının bir göstergesi olarak kabul edilebilir.Döner disk sistemlerinde görülen bu denli bol ve çeşitli mikroorganizma faaliyetleri organik maddenin yeterli miktarda ayrıştırılmasını ve daha yüksek dereceli arıtmaları sağlamaktadır.Substrat konsantrasyonundaki değişmelere bağlı olarak herbir bölmede morfolojik ve biokimyasal özellikleri farklı mikroorganizmaların gelişmesi , döner disk sistemlerinde aktif çamur sistemlerine nazaran daha yüksek arıtma elde edilmesine neden olmaktadır. Biyofilm sistemlerinde karşılaşılan mikroorganizma Tablo 2.3. de verilmiştir.

Tablo 2.3. Biofilm Sistemlerinde Karşılaşılan Mikroorganizmalar

ATIKSU TIPI	SINIFI	MIKROORGANİZMA ADI	EN SIK RASTLANILDIĞI YER		KAYNAK
Anaerobik on arıtmadan geçmiş evsel atıksu (doner disk)	Bakteri	Sphaerotilus	ilk bolme		preto-rius 1971
		Beggiatoa	"		
	protozoa	Amoeba	"		
		Parameci	"		
	Kurtçuk	Nematod	"		
	Fungi	Arthrobotryse	Son bolme		
	Bakteri		"		
Süt tozu ile sentetik atıksu (doner disk)	Bakteri	Escherichia ko	Tüm sistemde		Welch, 1968
		li Enterecoccus	"		
		Aerobacter aero	"		
		genes	"		
	Fungi	Geotricum candi	"		
		dum			
Süt endüstri atığı (doner disk)	Bakteri	Aerobacter aero	"		Antonie ve Welch 1969
		genes	"		
		Escherichia ko	"		
		Escherichia	"		
		freundii	"		
		Escherichia spp.	"		
		Micrococcus conglo	"		
		meratus			
		Micrococcus intents			
		pseudomonas denitri			
		fican			
		pseudomonas fluo-			
		rescens			
	pseudomonas aerugi				
	nosa				
	bassillus cereus				
	Zoogloea filipendula				
	Fungi	geotrichum candidum			



BÖLÜM III

BIYOFİLM KİNETİĞİ

3.1 BIYOFİLMİN TANIMI VE BIYOFİLM SİSTEMLERİ

Biyofilm bir katı madde yüzeyinde tutunan organizmaların oluşturduğu bir tabakadır. Biyofilmler, akarsu yatakları, yeraltı suyu akiferleri, göl tabanları, borularda vb. görülebilmektedir. Doğada görülen bu sistemin Çevre Mühendisliği alanında uygulamalarına 1900'li yıllarda başlanmıştır. (Bkz. Bölüm II)

Biyofilm sistemleri ile organik madde, azot, fosfor giderilmektedir. Havasız ortamlarda da bu sistemle organik madde, azot, fosfor giderimi sağlanmaktadır. Yüksek organik madde içeren atıksularda I. kademe arıtma olarak biyofilm sistemlerinin ve 2. kademe arıtma olarakta havalı sistemlerin kullanıldığı uygulamalara rastlanmaktadır.

Biyofilm sisteminde giderme mekanizması bir redoks prosesi olarak tanımlanabilir. Diğer bir deyişle reaksiyon sürecinde bir substrat okside edilirken diğeri indirgenir. Reaksiyon sonucu biyokütle üretimi olması için besi maddeleri kullanımı da söz konusudur.

Ared + Box + besi maddesi ---> Aox + Bred + biyokütle

Biyofilm sisteminin uygulamalarına, damlatmalı filtreler, döner disk (Biyodisk), batık filtreler ve akışkan yataklı sistemler şeklinde rastlanmaktadır. Bu sistemlerden damlatmalı filtreler ve biyodisk sistemlerinde hava, sıvı ve biyofilm fazları mevcuttur. Diğer iki sistemde ise sıvı ve biyofilm fazları görülür. Gerekli oksijen atıksuya verilir.

3.2. BIYOFİMLERDE KISITLAYICI OLAYLAR

Biyolojik süreçlerde kısıtlama çok kullanılan bir terimdir ve sistem tasarımında çok önemli rol oynar. Genel olarak iki tip sınırlama söz konusudur.

1. Stökyometrik kısıtlama; biyolojik süreç içinde substratlardan biri çeşitli nedenle sıvıdan uzaklaşır ve ileriki aşama reaksiyonları kısıtlar.

2. Hız kısıtlaması:

Difüzyon hız kısıtlaması; Reaksiyon için tüm bileşenler sıvı kütlede mevcuttur. Ancak bunlardan biri veya birkaçı biyofilm içine tam olarak geçememektedir.

Substrat hız kısıtlaması; reaksiyon için gerekli tüm bileşenler herhangi bir durumda biyofilm içinde mevcut olduğu halde, bunlardan birinin konsantrasyonu, sürecin gerçek hızını belirler.

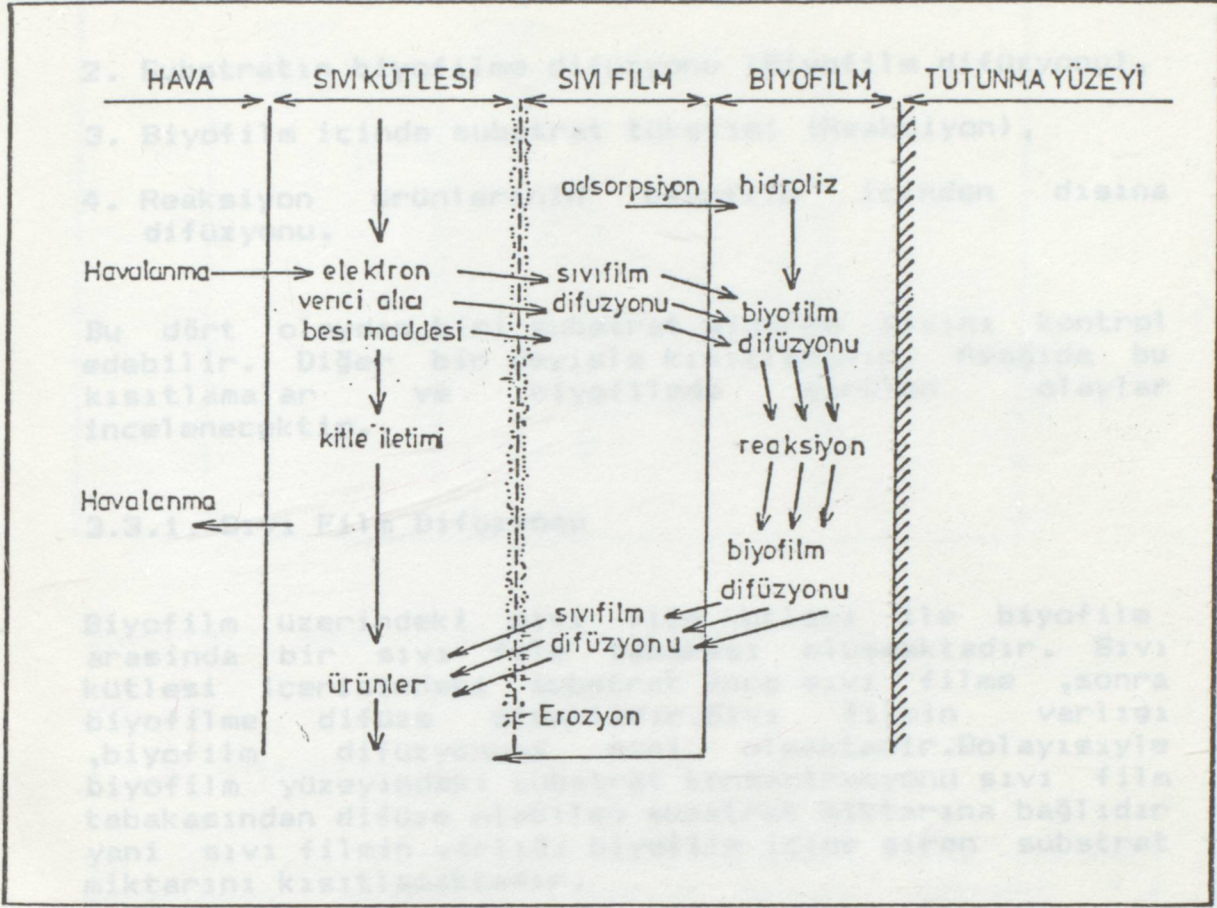
Yukardaki kısıtlamaların herhangi birinin olmaması halinde, süreç için reaksiyon hız kısıtlaması vardır. Diğer bir deyişle süreç, reaksiyon bileşiklerinden başka sistemin kapasitesi ile kısıtlanmıştır.

3.3. BİYOFİMLERDE SUBSTRAT GİDERME MEKANİZMASI

Biyofilmin geometrisine bakıldığında bunun karmaşık olduğu görülmektedir. Bu nedenle model çalışmalarında biyofilmin katı yüzeye üzerinde homojen bir şekilde tutunduğu kabul edilir. Bu yaklaşım nitrifiye ve denitrifiye organizmalarda gerçeğe yakın olmakla birlikte diğer organizmalarda farklıdır.

Biyolojik arıtma prosesinin biyofilm içinde oluşması sırasında herbiri prosesin hızını etkileyen pek çok olay gözlenmektedir. Şekil 3.1'de bu olaylar şematik olarak gösterilmiştir. Bu şematik görünüm Pasveer (1954) ve Wührman (1963) tarafından geliştirilmiştir.

Bu şematik açıklamaya göre reaksiyon için gerekli her bir substrat (elektron verici ve alıcı) ve her besi maddesi sıvı kütlelerinden, reaksiyonun olduğu biyofilm içine difüze olmalıdır. Biyokütle dışında tüm ürünler aynı şekilde biyofilm dışına atılmalıdır.



Şekil 3.1 Biyofilmlerde meydana gelen olayların şematik gösterimi.

Biyofilmlerde kısıtlayıcı başlıca olayları şöyle sıralayabiliriz:

- . Sıvı film difüzyonu
- . Biyofilm difüzyonu
- . Reaksiyon

Eğer substratlardan biri gaz ise, gaz kütlesi ile sıvı kütlesi arasındaki kütle iletimi aynı şekilde söz konusu olur.

Özet olarak biyofilimde substrat giderme mekanizmasını kontrol eden olayları aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür.

1. Substratın sıvı kütlesinden sıvı filme difüzyonu (Sıvı film difüzyonu),

2. Substratın biyofilme difüzyonu (Biyofilm difüzyonu),
3. Biyofilm içinde substrat tüketimi (Reaksiyon),
4. Reaksiyon ürünlerinin biyofilm içinden dışına difüzyonu.

Bu dört olaydan biri substrat giderme hızını kontrol edebilir. Diğer bir deyişle kısıtlamadır. Aşağıda bu kısıtlamalar ve biyofilme görülen olaylar incelenecektir.

3.3.1. Sıvı Film Difüzyonu

Biyofilm üzerindeki sıvı film kütlesi ile biyofilm arasında bir sıvı film tabakası oluşmaktadır. Sıvı kütlesi içerisindeki substrat önce sıvı filme ,sonra biyofilme difüze olmaktadır.Sıvı filmin varlığı ,biyofilm difüzyonuna mani olmaktadır.Dolayısıyla biyofilm yüzeyindeki substrat konsantrasyonu sıvı film tabakasından difüze olabilen substrat miktarına bağlıdır yani sıvı filmin varlığı biyofilm içine giren substrat miktarını kısıtlamaktadır.

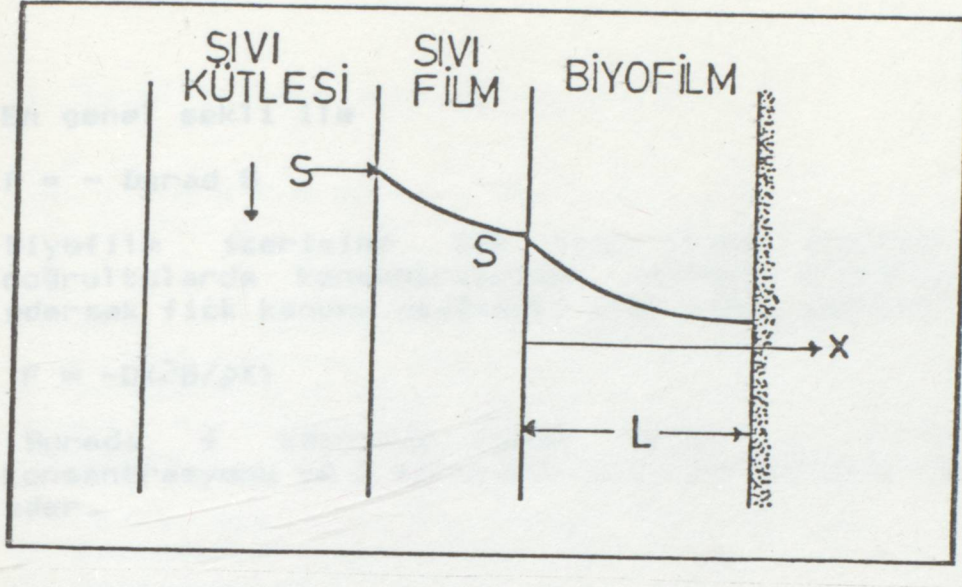
La Matta (1970) ya göre sıvı hızını uygun seçerek biyofilm akışı difüzyon direnci önlenir. Bu durumda sıvı film difüzyonu kısıtlayıcı olmaz Harremoes (1982)'e göre, geliştirilen kriter sıvı film difüzyonu ile değişmez, ancak matematik işlemler giderek zorlaşır. Williamson ve McCarty (1976), böyle bir tabakanın varlığından emin olmadıklarını belirtmişlerdir.

Sıvı filmin kalınlığı Reynolds sayısına bağlıdır.Reynolds artan değerlerinde sifıra yaklaşmaktadır. Dolayısıyla sıvı filmin varlığı sistemin hidrolisine bağlı olarak değişmektedir.(Herremaes,1978)

Fick kanununa uygun olarak sıvı film difüzyonu

$$N = h(S - S^*)$$

olarak verilmektedir.Burada N sıvı filme dik madde akışını , h kütle transfer sabitini ,S sıvı kütlesindeki substrat konsantrasyonunu ,S* ise biyofilm yüzeyindeki substrat konsantrasyonunu göstermektedir.



Sekil 3.2. Substratın biyofilme difüzyonu

3.3.2. Biyofilme Difüzyon

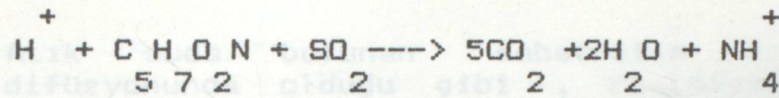
Bir gaz yada sıvı içerisinde çözülmüş veya askıdaki maddelerin moleküler tesirler sonucu çevresi ile karışması olayına moleküler difüzyon denir. Difüzyonun doğurduğu karışım ortamda madde dağılımını daima üniform yapmaya çalışır. Dolayısıyla ortamda konsantrasyon farklılıkları varsa difüzyon olayı meydana gelecek ve konsantrasyonu büyük noktalardan küçük noktalara doğru madde difüzyonu görülecektir. (Mutlu Sümer). Difüzyon dolayısıyla birim zamanda birim alandan geçen madde miktarına AKI denir.

Biyofilm sistemlerinde sıvı kütlesi içinde yüksek konsantrasyonda bulunan substrat ve besi maddeleri konsantrasyonu düşük olduğu biyofilm derinliklerine doğru moleküler difüzyonla sızarlar. Bu nedenle biyofilm sistemlerinde yalnızca biyofilme dik doğrultuda konsantrasyon gradyanı olduğu diğer yönlerdeki konsantrasyon gradyanının ihmal edilebileceği kabul edilir.

Aşağıda Fick (1855) kanunu ve biyofilm içerisine moleküler difüzyona bağlı AKI bu kanuna uygun olarak verilmiştir.

$$F = -D(\partial s / \partial x) \quad F = -D (\partial s / \partial y) \quad F = -D(\partial s / \partial z)$$

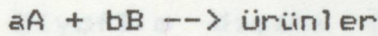
3. İçsel solunum (oto oksidasyon)



Kinetik ,kimyasal reaksiyonların hızı ile ilgilidir.Kimyasal reaksiyonların hızı ise reaksiyona giren maddelerin reaksiyon ürünlerine dönüşmesi şeklinde ifade edilebilir.Bu olayı etkileyen üç faktor söz konusudur.

1. Reaksiyona giren maddelerin konsantrasyonu
2. Reaksiyonun hangi sıcaklıkta olduğu
3. Ortamdaki katalizörler

Genel bir reaksiyonu ele aldığımızda



şeklinde yazabiliriz.

Bu reaksiyonun hızı

$$r = -1/a(d[A]/dt) - 1/b (d[B]/dt) = k[A]^a [B]^b$$

olarak ifade edilir .

Burada ,k reaksiyon hız sabiti ,a ve b A ve B maddelerine göre reaksiyonun mertebelerini gösterirler.

Genel olarak n. dereceden bir reaksiyon hız denklemi aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$r = - ds/dt = kC^n$$

Çevre mühendisliğinde en çok karşılaşılan reaksiyon mertebeleri aşağıda verilmistir.

$r = -ds/dt = k$	0. mertebe reaksiyon
$r = -ds/dt = kC$	1. " "
$r = -ds/dt = kC^2$	2. " "

3.3.4 Biyofilm Dışına Difüzyon

Atık suda bulunan substratın biyofilm içine difüzyonunda olduğu gibi , reaksiyon sonucu oluşan ürünlerin biyofilm dışına taşınmasında konsantrasyon gradyanı ile olmaktadır.

Reaksiyon sonucu oluşan son ürünler gaz ise ve dışarı difüzyon süreci yavaş meydana geliyorsa, bu maddelerin biyofilm içinde birikimi ve konsantrasyonlarının doygunluk değerine ulaşabilmesi söz konusudur.

Oluşan gaz habbeciklerinin dışarıya çıkış sırasında biyofilmde parçalanmalara rastlanmaktadır. Biyofilm dışına difüzyonda önemli olan diğer bir nokta, reaksiyon sonucu ortaya çıkan asidite ve alkalinitenin biyofilm dışına difüzyonu olayıdır.

Biyofilm dışına difüzyonu konusundaki görüşleri şöyle sıralayabiliriz:

La Motta (1976) çalışmasında biyofilm dışına difüzyonun substrat yararlanma hızına etkili olmadığı ileri sürmüştür. Bu görüş , reaksiyonların geri dönüşü olmayan reaksiyonlar olması açısından desteklenebilir.

Bu durumda reaksiyon hızı ürünlerin konsantrasyonundan, bu ürünler ortamda aşırı birikimler oluşturmadıkları müddetce etkilenmez. Ama bazı durumlarda son ürünlerin konsantrasyonları, sıvı fazındaki konsantrasyonlardan aşırı miktarda sapabilir. Bu birikimin biyokütle üzerin de zehirli etkisi olması olasıdır (Riemer , 1977).

Harremoes (1978) , çözülmüş organik maddenin oksidasyonu ile oluşan CO₂'nin , nitrifikasyon sonucu asiditenin ve denitrifikasyon sonucu oluşan alkalinitenin , ortamda pH değişmesi yarattığı gerekçesi ile reaksiyon hızını etkileyebileceğini önesürmüştür.

Toschi (1980) , yaptığı çalışmada bu olayın math. modelini kurmuştur.

Sıvı içerisindeki pH ne olursa olsun, biyofilmdeki pH nin değişimi organizmalarının reaksiyon hızlarında bir azalma meydana getirecek veya mikroorganizmaların ölmesine neden olacaktır.

3.3.5. Adsorbsiyon ve Hidroliz

Biyofilm kinetiğinde substrat ; difüze olabilen (Çözünmüş) ve difüze olamayan (Partiküler) substrat olarak iki kısımda incelenmektedir. Bu ayırım 1980'lerden sonra biyofilm kinetiğinde hidroliz ve adsorbsiyon olaylarının etkisinin anlaşılması ile yapılmaya başlandı. Difüze olabilen substrat sıvı kütlesinden biyofilm kütlesine doğrudan geçebilmektedir. Ancak ikinci tip substratlar ise önce biyofilm yüzeyine tutunmakta sonra biyofilm içine geçmektedirler. Yani sırasıyla adsorbsiyon, hidroliz ve difüzyon olayları gözlenmektedir.

Adsorbsiyon çözeltideki maddelerin iki farz civarındaki ara yüzeyde birikmesi olarak tanımlanabilir. Bu olay genellikle sıvı ve katı farz ara yüzeyinde gerçekleşir. Adsorbsiyon sürecinde çözeltiden ayrılan moleküllerin kimyasal ve fiziksel bağlar ile katı yüzey üzerinde tutunması söz konusudur.

Adsorblanan madde miktarı, konsantrasyon ve sıcaklığın fonksiyonudur ve sabit sıcaklıkta ;

$$X/M = k C^{1/n} \quad (\text{Freundlich izoterm bağıntısı})$$

$$X/M = abC/1+bC \quad (\text{Langminir izoterm bağıntısı})$$

şeklinde iki ayrı anpirik bağıntı ile hesaplanabilir. Burada X/M birim ağırlıkta absorblayıcı için absorbe edilen miktarı, C adsorbsiyondan sonra çözelti içinde absorbe edilen maddenin denge konsantrasyonunu göstermektedir, a, b, k, n ise anpirik sabitlerdir.

3.4 KÜTLE TRANSFERİ

3.4.1 Literatür Araştırması

Biyolojik sistemlerde kütle transferi araştırmaları 1920'de Warburg'un ince dilimlerde difüzyon parametrelerinde oksijen kullanımını araştırması ile başlamıştır. Warburg'un O₂ kullanım hızıyla birlikte

Fiks'in difüzyon kuralından yararlanarak geliştirdiği kuram biofilm merkezindeki O₂ konsantrasyonunun sifıra eşit olduğu şeklindeki 'Greznchnittdicke' yani sınırlayıcı dilim kalınlığının kantitatif tanımına izin verir.

Biyolojik sistemlerin değişik tipleri için teorik ve deneysel çok sayıda araştırma Warburg'un çalışmalarını takiben yürütülmüş fakat 1960'ların ortalarına kadar sabit film reaktörlerinde deneysel bir araştırma yapılmıştı.

1964'de Sanders bir camın üzerinde biyofilm içeren karışımli bir silindir kullanarak,sınırlayıcı biyofilm kalınlığını (21mm.) sağlamak için (aktif derinlik) 20 mg/lt substrat kullanmıştır.

Sanders'in substrat limitli sisteminde , hız reaksiyon oranlarını etkiler.Bu da biyofilme yakın (bitişik) kütle transferinin direncini gösterir.Cok sayıda araştırmada,sabit film sistemlerinde sıvı filmin giderme hızına etkisinin önemi tahkik edilmiştir.

Swilley,Maier,Kehrberger reaksiyonun biyofilm yüzeyinde oluştuğu(sıvı-biyofilm arayüzey) laminer akışlı eğik plakalı reaktörden oluşan bir model geliştirmişlerdir.Swilley ve Kehrberger 1. derece substrat giderme kinetiklerini kullanırken Maier biyofilm yüzeyinde substrat konsantrasyonunun 0 olduğunu kabul ediyor.

Mehta yüksek hızda damlatmalı filtrelerin dizaynında ,oksijen limitli reaksiyon olduğu kabulü ile (oksijen konsantrasyonu biyofilm yüzeyinde sifıra eşittir) laminer film kavramını uygulamıştır.Bu arada diğer araştırmacılar biyofilmin giderme hızlarının kontrolundeki önemini belirtmişlerdir.

Warburg tarafından ince dilimler için ve Mueller tarafından biyolojik flok partikülleri için yaptıkları modellerin benzeri olarak Tomlinson ve Snaddon,sıfırinci derecede (anoksit esaslı) reaksiyonları kullanarak kendi çalışmalarının sonuçlarını açıklamışlardır.

Kornegay ve Andrews , Michaelis Sabitinin substrat gradyant faktörü ile çarpılarak, yayılma dizenci için

Kornegay ve Andrew, yayılma direncini Michaelis'in kinetiklerini kullanarak tanımlamışlardır. Buna göre yayılma direncini hesaplamak için Michaelis sabiti SGF ile çarpılır. Aynı yaklaşım Young ve Mc Carthy tarafından anaerobik filtre modeli için kullanılmıştır.

1973'de Jank SGF kullanarak 1.8 m. (6 ft) uzunluğundan büyük düz plakalarda ampirik korelasyon kullanmaksızın giderinin tahmin edilemeyeceğini yukardaki yaklaşımdan yararlanarak göstermiştir.

1969'da Whalen, Bungay ve Sanders, bir mikroelektrod ile mikroskop camı üstünde sıvı ve biyofilme doğru çoğalan oksijen profilini ölçmüşlerdi; ölçülen bu datalar sabit film sistemlerinde kontrol edici giderme hızının sıvı ve biyofilme önemini göstermektedir.

Nispeten hassas analitik teknikler kullanıldığı için bu çalışmanın aynısı tekrar yapılmıştır.

Atkinson, Haug ve Mc Carthy, Williamson ve Mc Carthy tarafından yapılan çalışmalarda sabit film giderme kinetiklerinin tarifinde her iki filmin de önemi tahkik edilmiştir. sıvı film ve durgun filmin her ikisindeki laminer akışı biyofilme bitişik sıvı film direncini tanımlamak için kullanılmıştır.

Bunların daha sonra daha basit olarak matematiksel tanımları vardır.

Biyofilme oksijen sınırlaması olduğu zaman aktif film derinliği düşük substrat konsantrasyonlarında yaklaşık 21 μ olan, yüksek substrat konsantrasyonlarında da 150 μ 'a kadar değişir.

Hoehn biyofilm yoğunluğu ile ilginç ölçümler elde etmiştir. Tam olarak aerobik bir filmde yoğunluk, 0.1 gr/cm³ katı maddenin kuru ağırlığıdır. 150 μ 'dan daha büyük olan derinliklerde üretimi ve alt anaerobik tabakalarda lysing'den dolayı yoğunlukta 0.025 gr/cm³'e kadar azalma olur.

Biyofilmlerdeki biyolojik reaksiyon hızlarını tanımlamak için kullanılan kinetiklerin tipi Michaelis ve sıfırıncı derece kinetiklerin her ikisini de içermektedir. Sonraki kinetik fonksiyon, pratik bir görüş noktasından iki yerine yalnızca bir hız parametresinin hesabına ihtiyaç duyduğundan daha iyidir.

Toplam biyofilm derinliğinde penetrasyon tam olmadığı zaman , biyofilmdeki konsantrasyonla ilgili olan sıfırıncı derecedeki kinetik fonksiyon , biyofilm yüzeyindeki konsantrasyona bağlı olan $1/2$. dereceden kinetik fonksiyona iner.

Bu son fonksiyon Michaelis kinetiğinin Whale'in datalarını tanımlamak için gerek duyulduğuna inanan Atkinson ve Davis'in analizlerinin aksine Mueller tarafından hem Gulewich'in datalarını hem de Whalen'in ölçülmüş biyofilm profillerini tanımlamaya uygun olduğu gösterilmiştir.

Son zamanlarda LaMonta tarafından yapılan bir çalışma bir biyofilm oluştuğunda sıfırıncı derece kinetiklere başvurulacağını göstermiştir.

Ne var ki, sıfırıncı derece hız sabitinin büyüklüğü gelişme safhaları sırasında başlangıç substrat konsantrasyonunun (Michaelis tipi doygunluk) bir fonksiyonudur. Çünkü bakteri hücrelerindeki nüfuz etme yerlerinin sayısını belirleyen budur.

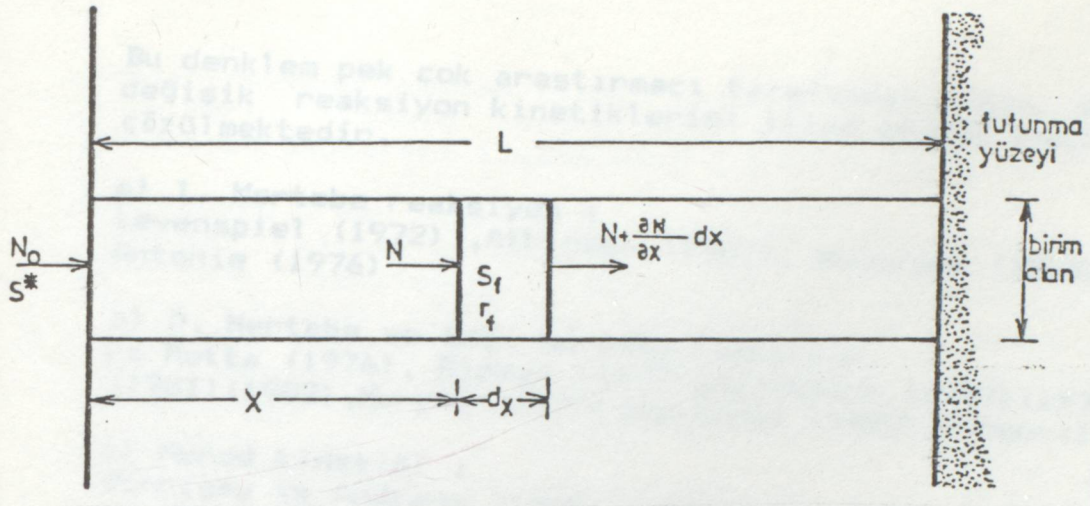
İlgili maddeleri kullanarak özellikle RBC prosesini tanımlamak için Grieves substrat kullanmak için hem 1. derece hem de Michaelis kinetiklerini kullanarak RBC'ye kütle transfer direncini uygulamıştır.

Bu modelde oksijen konsantrasyonunun düşünülmemesine (kullanılmamasına) rağmen kısmi tahkik Torpey'den datalar kullanılarak elde edilir.

Grieves'in çalışması RBC prosesi için pratik bir dizayn denklemine , kütle transfer direncine birleştirmek için yapılan ilk çalışmadır. Karegay biyolojik gelişme üzerine kütle transfer direncini ihmal eden Michealis kinetiklerini kullanarak bir model önermiştir.

Friedman , RBC pilot tesis datalarını kullanarak iki modeli analiz etmiştir: biri tüm reaksiyon hızı üzerinde substrat difüzyonunun kontrolü ve basit bir 1. dereceden model. Substrat difüzyon kontrol modeli ile daha fazla substratın giderildiği ilk basamaklardaki organik madde giderimine daha doğru olarak tahmin edilmiştir.

Şimdiye kadar olan çalışmalarda RBC prosesinde hem sıvı hem biyofilm direnci ile oksijen ve substrat taşınmasının tahkiki yapılmamıştır.



Şekil 3.3 Biyofilm geometrisi

3.4.2. Genel Denklemler

Sıvı kütlesindeki substrat konsantrasyonu S^* ve biyofilm içindeki substrat giderme reaksiyonu r ile gösterilirse, biyofilm içindeki bir dx kalınlığı ve birim alan için kütle dengesi denklemi

$$ds/dt = N - (N + (dn/dx) * dx) + r$$

şeklinde yazılabilir. Burada N biyofilm akıyı ifade etmektedir. Kararlı denge halinde $ds/dt = 0$ olacağından bu denklem

$$dN/dx = -r$$

haline gelir.

Biyofilm içinde yalnızca biyofilm içine dik doğrultuda konsantrasyon gradyanı olduğu kabulü ile moleküler difüz yona bağlı akı, Fick kanununa göre

$$N = -D ds/dx$$

olarak ifade edilir. D halde biyofilm difüzyonunu ifade eden denklem

$$D(d^2S/dx^2) = r$$

veya boyutsuz hale getirilirse

$$d^2s/d\xi^2 = (L^2 / DS^*) * r \quad s = S / S^* ; \xi = x / L$$

Bu denklem pek çok araştırmacı tarafından r'nin değişik değişik reaksiyon kinetiklerini ifade ettiği kabulü ile çözülmektedir.

a) 1. Mertebe reaksiyon :

Levenspiel (1972) ,Atkinson (1967), Hansford (1978),
Antonie (1976)

b) 0. Mertebe ve 1/2. mertebe reaksiyon

La Motta (1976), Riemer (1977),Harremoës (1977)(1978)
(1981)(1982),Murphy (1977),Watanabe (1980),Gonenc(1983)

c) Monod kinetiği :

Kornigey ve Andrews (1968) , Atkinson (1970),Williamson
ve Mc Carty (1976), Rittman ve Mccarty (1980),
Mueller (1978)

3.5 UYGULANACAK MATEMATİK MODEL

Avrupa'da bilinen yaklaşık 1000 adet RBC tesisi olmasına karşın bunların kinetik analizleri hakkında çok az bilgi sağlanabilmiştir.

Grieves tarafından geliştirilen bir matematik model Torpey ve arkadaşları tarafından 10 basamaklı bir pilot tesisten alınan datalar kullanılarak denenmiştir. Tam karışımli bir reaktör , diskin batmış kısmındaki organizmalar, sıvı filmin altındaki organizma filmi, sıvı filmdeki substratların kütle dengesi ile disk alanı, disk dönme hızı ve batma derinliği gibi parametreler kullanılarak model geliştirilmiştir. Kinetik sabit Y'nin 0.5 ve μ_{max} 'ın 4.8 gün⁻¹ ve toplam BOI'ye göre kurulmuş bir model ile bulunan deney sonuçları, daha önce bildirilen modellerle uyum göstermiştir. Artan basamak sayısı ile atıksuyun arıtılabilirliği azalırken kolay parçalanabilen organik maddeler sistemin ilk basamaklarında uzaklaştırılır. Bununla beraber organizma büyüme hızının eldeki datalara göre %10 az olması durumunda olay bir önceki basamağa benzer. Torpey ve arkadaşları tarafından yapılan çalışma oldukça komplektir ve kullanılan değişkenlerin hepsinin tanımını yapmak zordur.

Hansford modeli değiştirmiş ve literatürdeki datalar ile denemiştir. Pratikte gözlenen eğilimler ile bazı noktalar benzerlik göstermiştir. Substrat

konsantrasyonu yüksek olduğu zaman ($> 50 \text{ mg/lt BOI5}$) modeldeki tahmin doğruluğu azalır ve kinetik reaksiyon sabitleri 1.dereceden sapma gösterir.

Williamson ve McCarty'nin geliştirdiği matematiksel modelde; biyofilm içindeki substratın kullanılması, simultane biyokimyasal reaksiyonlarda bir moleküler difüzyon prosesi gibi tarif edilmiştir. Model biyofilmin yoğunluğu, substrat konsantrasyonu, biyofilm ve durgun sıvı tabakası derinlikleri, biyofilme ve suya difüzyon katsayıları, Monod maksimum kullanım hızı ve yarı hız sabitleri üzerine kurulmuştur. Bu model uygulanmadan önce, biyofilmdeki elektron verici veya alıcıların sifıra yaklaştığının saptanması gerekir. Şayet yaklaşıyorsa bu olaya akış sınırlaması denir. Akış limitli örnekler biyofilmde aynı zamanda substrat limitli de olmalıdır. Bu limitler modelin kullanımını kısıtlar.

RBC'leri de içeren sabit filmlerli biyolojik reaktörlerin kinetiği ile ilgili çalışmalar Kornegay tarafından yapılmıştır. Bu model pilot tesis çalışmalarında kolaylıkla uygulanabilir. Disklerdeki toplam kütleye göre aktif biyokütlenin yüzdesini saptayabilmek için modelde bazı değişiklikler yapılması gerekmektedir.

Modelin Gelişmesi :

RBC'de kütle dengesi ;

$$\text{Birikme} = \text{Giriş} - \text{Çıkış} \quad (1)$$

-- Tutunmuş mikroorganizmalar tarafından tüketim

-- Askıda mikroorganizmalar tarafından tüketim

RBC'de karışımın yoğunluğundan dolayı tam karışımli sıvının hacmi tahmin edilir ve organizmaların gelişme hızı çürüme hızı ile mukayese edildiğinde çürüme hızı çok düşük olduğundan ihmal edilir. Bundan dolayı Denklem (1)'deki matematiksel ifade aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$V(dS/dt) = FSo - FS_1 - (\mu_a/Y_a)AwX_a - (\mu_s/Y_s)X_sV \quad (2)$$

V : Reaktördeki sıvı hacmi (m³)

dS/dt : Zamanla substrat konsantrasyonundaki değişim (mg/lt-sn)

- F : Atıksu debisi (lt/sn)
- S₀ : Giriş substrat konsantrasyonu (mg/lt)
- S₁ : Çıkış substrat konsantrasyonu (mg/lt)
- μ_a : Tutunmuş organizmalar spesifik büyüme hızı (Biyokütle/gün)
- Y_a : Tutunmuş biyokütlenin dönüşüm hızı (kg üretilen biyokütle/kg tüketilen substrat)
- A_w : Biyodiskinin ıslak alanı (m²)
- X_a : Biyodiskinin birim alanı başına tutunmuş aktif biyokütle (gr/m²)
- μ_s : Askıda organizmalar spesifik büyüme hızı (1/gün)
- Y_s : Askıda organizmalar dönüşüm hızı (kg üretilen biyokütle/kg tüketilen substrat)
- X_s : Askıda organizmaların konsantrasyonu (mg/lt)

(2). denkleme tutunmuş organizmaların aktif kütle miktarı, biyodiskinin birim alanı başına tutunmuş aktif biyokütle ve biyodiskinin ıslak alanınının üretimi olarak ifade edilir. Hidrolik bekleme süresi nispeten kısa (Normal yükleme koşullarında, 20 dk) ve tutunmuş biyokütle arıtmaya hakim iken (örneğin; ≈100 mg/lt askıda mikroorganizmaya karşı > 1400 mg/lt tutunmuş mikroorganizma) askıda madde büyümesi ihmal edilebilir. Bu durumda Denklem (2) şu şekli alır:

$$V(dS/dt) = F S_0 - F S_1 - (\mu_a/Y_a) A_w X_a \quad (3)$$

Monod denklemini kullanarak;

$$\mu_a = \mu_{max} (S_1 / (K_s + S_1)) \quad (4)$$

Burada;

μ_{max} : Tutunmuş biyokütle için maksimum spesifik büyüme hızı (gün⁻¹)

K_s : Monod yarı hız katsayısı (mg/lt)

BÖLÜM IV

Substrat konsantrasyonu spesifik büyüme hızına göre:

$$V(dS/dt) = F(S_0 - S_1) - (\mu_{max}/Y_a)A_w X_a (S_1/(K_s + S_1)) \quad (5)$$

Denklem (5)'deki birleşik parametreler $(\mu_{max}/Y_a)X_a$, diskin yüzey alanı başına günde giderilen substrat miktarını, alan kapasite sabiti P olarak verir. $[F(S_0 - S_1)]A_w$ her diskin birim yüzey alanı başına giderilen substrat miktarını verir ve giderme katsayısı R olarak tanımlanır.

Kararlı hal koşulunda $dS/dt = 0$ 'dır ve bu durumda Denklem (5) şu şekilde yazılabilir,

$$1/R = (K_s/P)(1/S_1) + (1/P)$$

Noktalar doğru bir çizgi olarak birleştirilir ve $1/S_1$ ile $1/R$ 'nin korelasyonu ile oluşturulan doğrunun eğimi K_s/P 'yi verecektir.

Bu metod diske tutunmuş biyokütle için K_s ve P 'nin hesabını verir ve Y_a , X_a ve μ_{max} hesapla belirlenebilir.

BÖLÜM IV

Yapıştırıcılar

Ambalaj, DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE UYGULAMASI

yapıştırıcıları

Duvar kağıdı, PVC

boru,

izolebant,

etiket

yapıştırıcıları

4.1 TESİSİN TANITILMASI

İlaç, tarım ilacı, kosmetik, deterjan, plastik ve boya Atıksuyu incelenen fabrika organik kimya endüstrisi kategorisine girmektedir. Tesiste tekstil, deri işleme, plastik, metal, gıda vd. sanayilerine yardımcı maddeler üretilmekte ve ayrıca çeşitli tiplerde yapıştırıcılar imal edilmektedir.

Başlıca ürün çeşitleri kullanım amaçlarına göre gruplandırılmış olarak Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 4.1 Kullanım alanlarına göre gruplandırılmış ürünler

Tekstil Yardımcı Maddeleri

Yumuşatıcı, ıslatıcı, yıkayıcı ve yağlayıcılar
Harmanyağı ve emülgatörler
Kasar, boya ve baskı yardımcıları
Dink, yıkama, pişirme ve kaynatma maddeleri
Apre ve avivage maddeleri
Antistatikler ve böbin yağları

Deri İşleme Yardımcıları

Sentetik ve doğal yağlayıcılar
Islatma, kireçleme ve kıl dökme maddeleri
Kireç giderme maddeleri
Sama maddeleri
Sentetik sepileyiciler
Yağ alma maddeleri
Finisaj maddeleri

Metal Son İşlemleri Yardımcı Maddeleri

Alkali yağ alıcılar
Fosfatlama, kromatlama maddeleri
Aluminyum yüzeyler için satinej, aşındırma ve parlatma maddeleri
Kesme ve soğutma yağları

Yapıştırıcılar

Ambalaj, mobilya, kundura, otomotiv, matbaa yapıştırıcıları
Duvar kağıdı, PVC boru, izolebant, etiket yapıştırıcıları

Diğer

ilaç, tarım ilacı, kozmetik, deterjan, plastik ve boya yardımcı maddeleri

Asit inhibitörleri, Boya ve taş sökücüler

Tesiste 800'e yakın hammadde kullanılarak 400 civarında ürün elde edilmektedir. Yıllık üretim 20,000 ton'a yakındır.

Endüstrinin özelliği ürün çeşidinin fazlalığı ve imalatın kesikli yürütülmesidir. Yüzlerce hammadde ve ara ürün tamamıyla kesikli tarzda yürütülen proseslerle yüzlerce ara ve son ürüne dönüştürülmektedir.

Tesiste birçok farklı amaçlarla su kullanılmaktadır.

- Çözücü, reaktan, reaksiyon ortamı, soğutucu vb. olarak proseste dolaysız kullanım.
- Pompalarda vb. dolaylı olarak proses temaslı kullanım.
- Buhar üretiminde ve yardımcı tesislerde temassız kullanım.
- Bakım, donanım temizleme yıkamalarında ve yer yıkamalarında kullanım.
- Araştırma, geliştirme ve kalite kontrol hizmetlerinde kullanım.
- Evsel kullanım.

Tesiste çok çeşitli maddelerin üretilmesi ve üretimin tamamen kesikli tarzda yürütülmesinin sonucu olarak atıksu, çok çeşitli kalite özelliklerine sahip, çok sayıda tekil, kesikli atıksu akımının birleşmesinden meydana gelmektedir.

Atıksuda yüksek değerlerde organik madde, yağ, deterjan, Kjeldahl azotu, amonyak ve askıda katı madde bulunmaktadır. Bunlar kadar önemli düzeyde olmamakla birlikte atıklar, bazı ağır metalleri de içine alan inorganik kirleticiler de içermektedir.

Tablo 4.2'de atıksulardaki ortalama kirletici konsantrasyonlar verilmektedir.

Tablo 4.2 Proses Atıksuları Analiz Sonuçları

Parametre	Ortalama Konsantrasyon (mg/lit)
KDI	10,600
BOİ5	5,700
AKM	1,200
Yağ ve Gres	1,300
Anyonik	
Yüzey Aktifler	970
NH3-N	430
TKN	3,200
Toplam P	13
Fenoller	3.1
Zn	5.1
Cr	1.3
Cu	0.1
Ni	0.2

Tesisin Deşarj Standartlarını sağlayabilmesi için, ilke olarak, atıkların birinci ve ikinci aşama arıtıma tabi tutulması gerektiği saptanmıştır. Birincil arıtma olarak fiziksel-kimyasal arıtma ve ikincil arıtma olarak da biyolojik arıtma önerilmiştir.

Birincil arıtma aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır;

- Serbest yağların giderilmesi amacıyla, dengelenmiş birleşik proses atıksuyu akımının bir yağ ayırıcıdan geçirilmesi ,
- Askıdaki ve kolloidal katı maddeler ile emülsifiye yağların pıhtılaştırma-yumaklaştırma-çökeltme prosesi ile giderilmesi. Bu proseste çökme, adsorpsiyon, vd. mekanizmalarla çözülmüş maddeler de giderilmektedir.

c) Arıtma çamurlarının yerçekimiyle koyulaştırılması ve filtre preste suyunun giderilmesi.

Fabrikada aşağıdaki birimleri içeren fiziksel-kimyasal atıksu arıtma tesisi ile çamur arıtımı tesisleri kurulmuş ve çalışmaktadır.

- Dengeleme
- Yağ Tutucu
- Pıhtılaştırma-Yumaklaştırma-Çökeltim
- Çamur Yoğunlaştırma
- Filtre Pres

Arıtma tesisi akım şeması Şekil 4.1'deki verilmektedir. İkincil arıtma olarak gerekli görülen biyolojik arıtma sisteminin seçilebilmesi için kimyasal arıtma çıkış suyunda pilot ölçekli biyolojik arıtma model deneylerinin yapılmasına karar verilmiştir. Bu kararın nedeni; atıksuda biyolojik inhibitörlerin varlığı, atıksu da bulunan zor ayrışan maddeler, atıksu kalitesinin değişkenliği ve azot konsantrasyonu sorununun belirtilmesidir.

Özet olarak pilot biyolojik arıtma deneyleri ikincil arıtma sisteminin tasarım ve işletmesine ışık tutmak amacıyla kurulmuştur.

Pilot tesiste paralel çalışan 3 ünite bulunmaktadır: aktif çamur, biyofiltre ve biyodisk.

Çalışmamıza esas teşkil eden biyodisk sisteminin incelenmesidir. Bu amaçla literatürden elde edilen bilgiler ile deney sonuçları irdelenmeye ve bununla birlikte aktif çamur ve biyofiltre sistemleri ile biyodisk sisteminin karşılaştırması yapılmaya çalışılmıştır. Bu nedenle aşağıdaki bölümlerde biyodisk sistemi ile birlikte aktif çamur ve biyofiltre sistemleri de tanıtılmış ve deney sonuçları sunulmuştur.

4.2 PİLOT TESİSİN TANITILMASI

Pilot atıksu arıtma tesisi,

1/ 2 m³ plastik dolgulu biyofiltre kulesi, çökeltme

tankı, geri devir tankı ve pompası,

2/ Varyatörlü motorla tahrik edilen toplam 20 m² alana sahip 50 adet 50 cm çapında disk içeren biyodisk teknesi ve çökeltme tankı,

3/ İçten Çökeltme bölmeli net 2 m³ hacimli aktif çamur tankı,

4/ Kimyasal arıtma çıkış suyu terfi pompası ve pH kontrolüne bağlı HCl dozaj pompası ve dağıtma tankı,

ve çeşitli terfi, iletim, deşarj hatları ile ayar ve tahliye vanaları ve elektrik tesisatından meydana gelmektedir. (Resim 1,2)

Pilot tesis akım şeması Şekil 4.2 'de verilmektedir.

Kimyasal arıtma çıkış suyu pompalanarak, biyodisk, biyofiltre, aktif çamur ünitelerine ayrı ayrı beslenmektedir. Bu arada pompaj hattında atıksuyu nötralize etmek için HCl dozlanması yapılmaktadır.

4.3 PİLOT TESİS DENEY SONUÇLARI

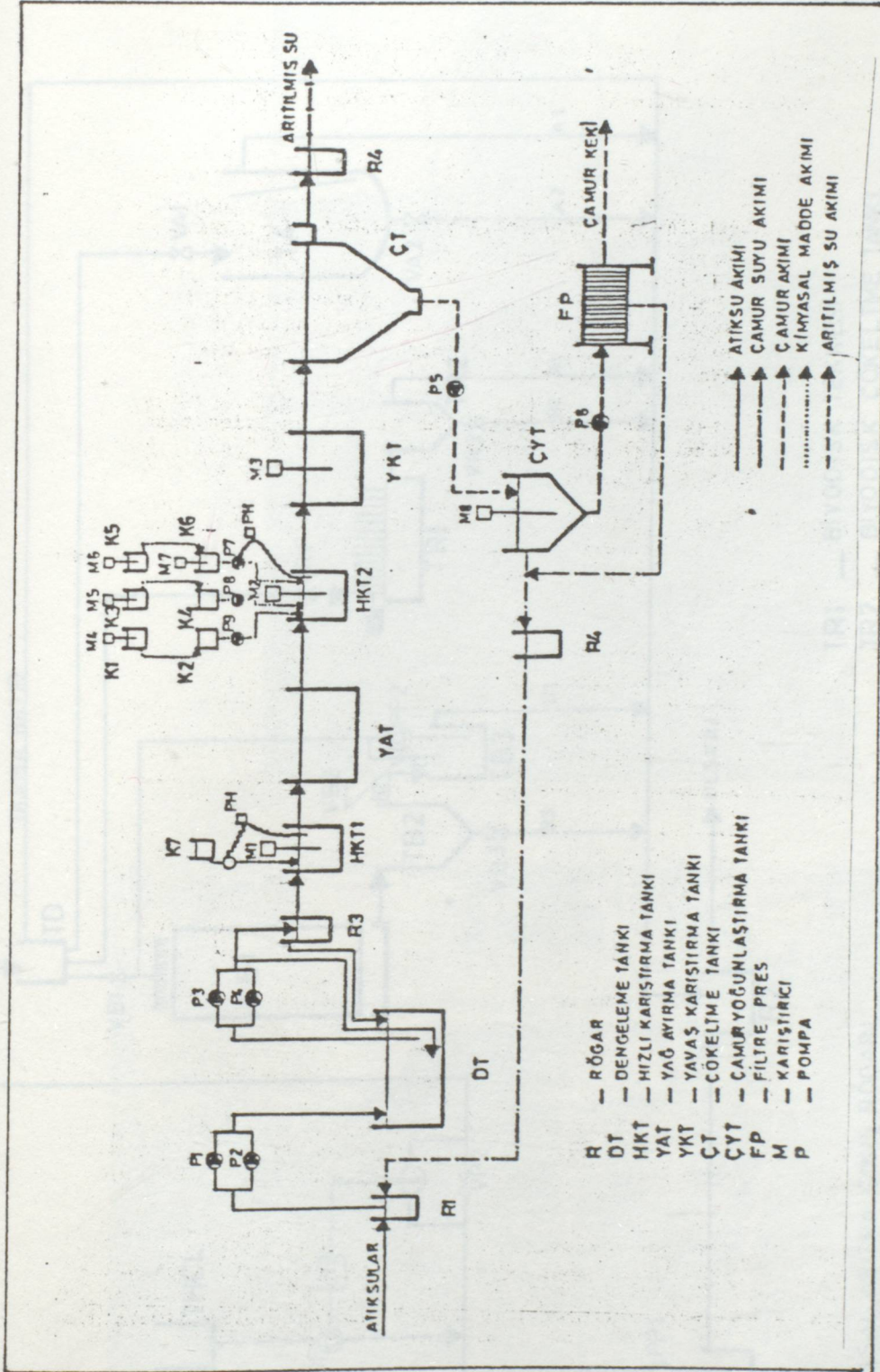
Pilot tesis giriş suyunda kimyasal arıtma çıkış suyunda günlük kompozit numuneler hazırlanarak KOI, NH₃-N ve anyonik deterjan parametreleri sürekli izlenmiştir.

Biyodisk çıkış suyu olarak, biyodisk çökeltme tankı çıkış akımında günlük kompozit numuneler oluşturularak KOI parametresi, haftanın bazı günleri AKM parametresi ölçülmüştür.

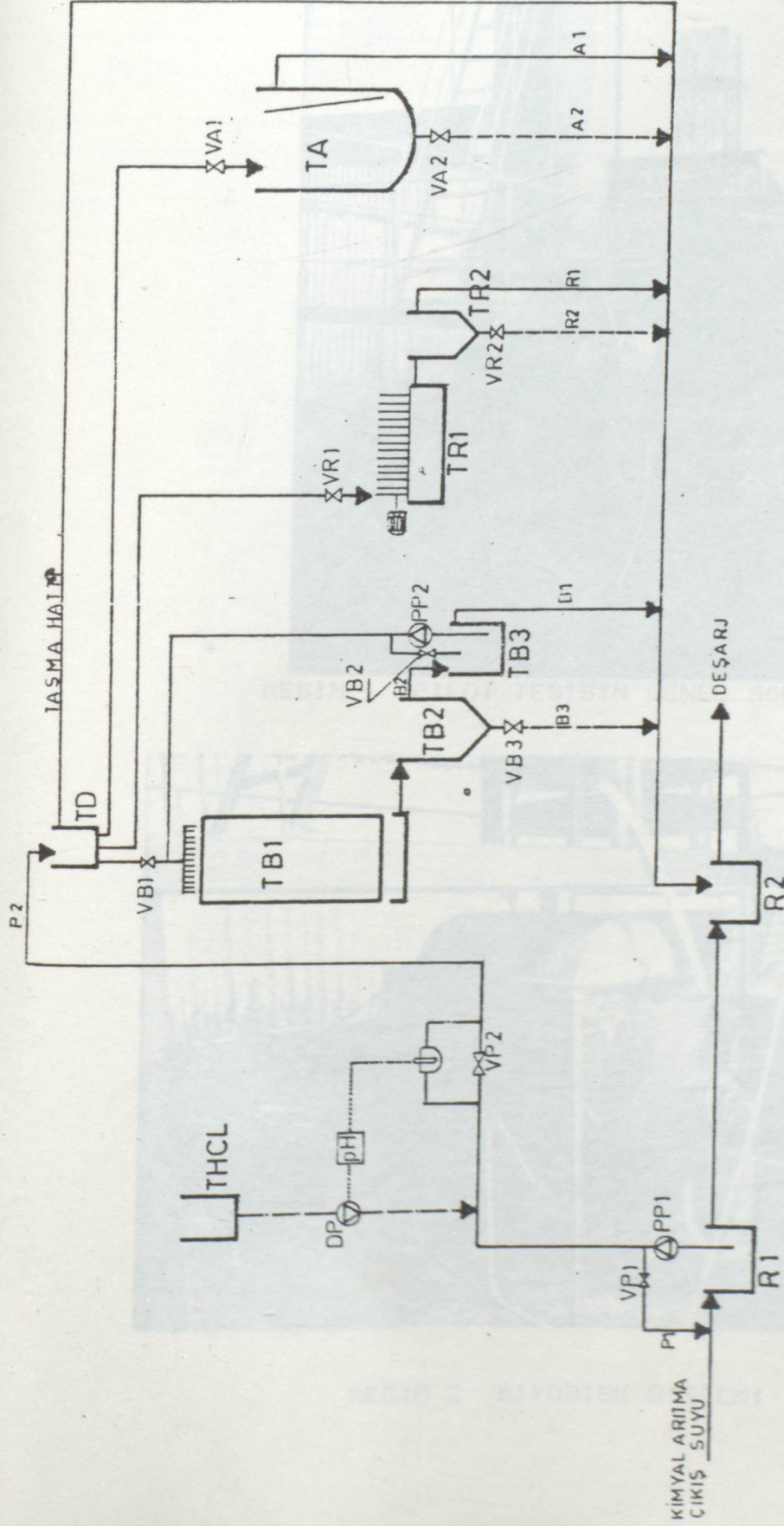
Biyofiltre çıkış suyu olarak, biyofiltre çökeltme tankı çıkış akımında günlük kompozit numuneler oluşturularak KOI parametresi sürekli olarak izlenmiştir. Haftanın bazı günleri de AKM parametresi ölçülmüştür.

Aktif çamur sistemi içinde aynı şekilde arıtılmış su akımında günlük kompozit numuneler oluşturularak KOI ve AKM parametreleri ölçülmüştür.

Pilot tesis giriş suyu ile arıtılmış su çıkış değerleri Tablo 4.3'de verilmektedir



Şekil 4.1. Birincil Arıtma Akım Şeması



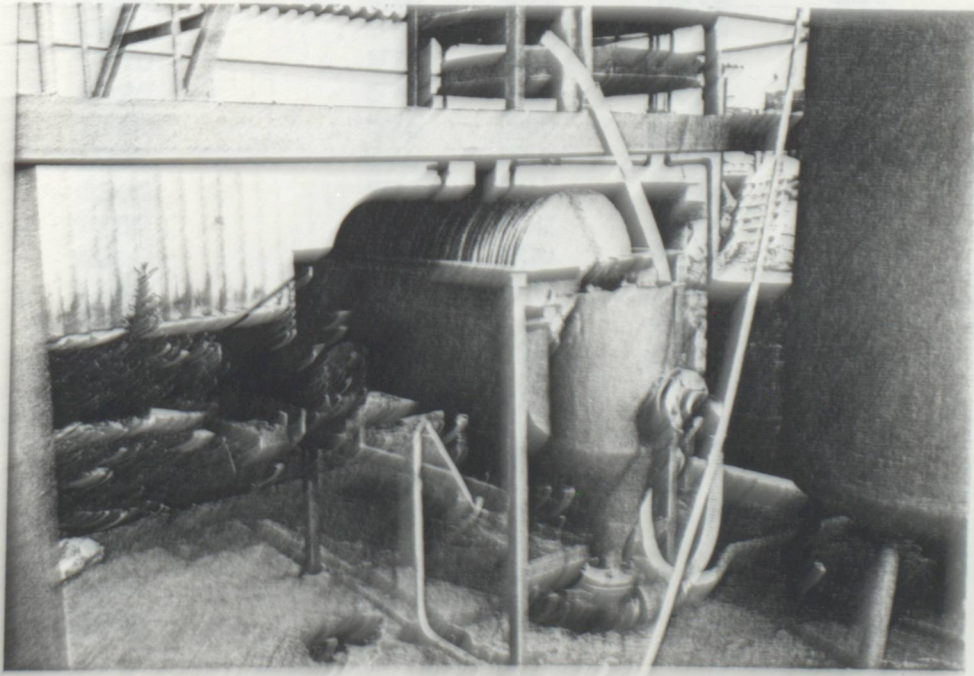
- R1 — KİMYASAL ARITMA ÇIKIŞ ROĞARI
 (PİLOT TESİS SU ALMA ROĞARI)
 R2 — PİLOT TESİS DEŞARJ ROĞARI
 THCL — HCL TANKI
 TD — DAĞITMA TANKI
 TB1 — BİYOFİLTRE DOLGULU KULESİ
 TB2 — BİYOFİLTRE ÇÖKELTME TANKI
 TB3 — BİYOFİLTRE GERİ DEVİR TANKI

- TR1 — BİYODİSK TEKNESİ
 TR2 — BİYODİSK ÇÖKELTME TANKI
 TA — AKTİF ÇAMUR TANKI
 PP1 — PİLOT TESİS SULAMA POMPASI
 PP2 — BİYOFİLTRE GERİ DEVİR POMPASI
 DP — HCL DOZAJ POMPASI
 V — VANALAR
 P1, P2, B1, B2, B3, R1, R2, A1, A2 — ATIKSU, ARITILMIŞ SU VE ÇAMUR AKIMLARI

Şekil 4.2. Pilot Tesis Akım Şeması



RESİM 1 PILOT TESİSİN GENEL GÖRÜNÜŞÜ



RESİM 2 BİYODİSK SİSTEMİ

TABLO 4.3 PİLOT TESİS DENEY SONUÇLARI

Tarih	Pilot Tesis Giriş	Aktif Çamur		Biyofiltre		Biyodisk	
	KOI (mg/lt)	Debi (lt/gün)	KOI (mg/lt)	Debi (lt/gün)	KOI (mg/lt)	Debi (lt/gün)	KOI (mg/lt)
26/4/1988	1560	576	680	2016	---	216	900
27/4	2060	576	860	2016	940	216	770
28/4	1390	576	920	2016	970	216	660
29/4	1270	576	900	2016	1000	216	590
2/5	1045	576	570	2016	1020	216	665
3/5	1250	576	590	2016	790	216	670
4/5	1270	576	570	2016	580	216	665
5/5	980	576	630	2016	750	216	600
6/5	1380	576	660	2016	660	216	740
9/5	1120	576	770	2016	780	216	780
10/5	940	576	770	2016	800	216	680
11/5	1410	576	720	2016	870	216	560
12/5	1390	576	710	2016	790	216	670
13/5	1330	576	730	2016	785	216	680
25/5	2270	576	450	2016	980	216	1000
26/5	3060	576	1060	2016	1380	216	1125
30/5	---	576	580	2016	650	216	670
31/5	740	576	575	2016	565	216	590
1/6	1470	576	585	2016	---	216	---
2/6	1360	576	600	2016	580	216	610
3/6	1460	576	600	2016	725	216	930
6/6	1270	576	660	2016	700	216	910
7/6	1020	576	490	2016	650	216	670
8/6	1140	576	500	2016	660	216	680
9/6	1380	576	510	2016	740	216	530
10/6	1300	576	520	2016	660	216	540
14/6	1150	576	550	2016	700	216	540
15/6	1360	576	550	2016	570	216	560
16/6	1440	576	500	2016	510	216	570
17/6	1340	576	510	2016	580	216	580
20/6	1460	576	390	2016	320	216	520
21/6	1070	576	340	2016	490	216	460
22/6	1260	576	400	2016	580	216	460
12/7	1210	576	460	3024	570	360	360
13/7	1570	576	480	3024	650	360	380
14/7	1490	576	410	3024	630	360	430
15/7	2020	576	450	3024	1200	360	455
18/7	2240	576	490	3024	1210	360	670
19/7	2700	576	400	3024	900	360	660

4.4 SONUÇLARIN SUNULMASI

Tarih	Pilot Tesis Giriş	Aktif Çamur		Biyofiltre		Biyodisk	
	KOI (mg/lt)	Debi (lt/gün)	KOI (mg/lt)	Debi (lt/gün)	KOI (mg/lt)	Debi (lt/gün)	KOI (mg/lt)
20/7	2750	576	480	3024	1270	360	620
21/7	2190	576	450	3024	980	360	---
3/8	1660	576	680	3024	640	360	630
4/8	1710	576	780	3024	800	360	640
5/8	1930	576	690	3024	770	360	650
9/8	1370	576	360	3024	590	360	330
10/8	1870	576	280	3024	530	360	330
11/8	1320	576	330	3024	540	360	380
12/8	1620	576	370	3024	570	360	390
16/8	1130	576	290	3024	500	360	420
17/8	1240	576	330	3024	590	360	440
18/8	1800	576	360	3024	620	360	690
19/8	1970	576	430	3024	710	360	720
23/8	1290	576	370	3024	510	360	415
24/8	1020	576	380	3024	450	360	350
25/8	1140	576	320	3024	460	360	350
26/8	1120	576	290	3024	490	360	300
1/9	1200	576	320	3024	420	360	200
2/9	1230	576	330	3024	420	360	220
6/9	1160	576	310	3024	510	360	290
7/9	1200	576	310	3024	500	360	260
8/9	1670	576	330	3024	520	360	400
9/9	1560	576	320	3024	550	360	390
12/9	1310	576	280	6048	650	720	430
13/9	1650	576	285	6048	1040	720	640
15/9	2040	576	365	6048	1300	720	660
19/9	1690	576	420	6048	1070	720	570
20/9	1710	576	430	6048	1090	720	590
21/9	1900	576	400	6048	1120	720	570
22/9	2480	576	415	6048	1250	720	890
23/9	2980	576	425	6048	1650	720	1030
27/9	1880	576	570	6048	1290	720	1180
28/9	1680	576	545	6048	1320	720	1000
29/9	1700	576	550	6048	1300	720	1030

4.4 SONUÇLARIN SUNULMASI

Kimyasal arıtma çıkış suyunda pilot deneyler süresince ölçülen ortalama KOI konsantrasyonu 1680 mg/lt olmuştur. Pilot tesis çalışması iki Bayram tatilinin araya girmesi nedeniyle zaman zaman kesintiye uğramıştır. Bu nedenle deney sonuçları dönemlere ayrılarak sunulmuştur.

- 1.dönem : 26.4.1988 - 13.5.1988
- 2.dönem : 25.5.1988 - 22.6.1988
- 3.dönem : 12.7.1988 - 9.9.1988
- 4.dönem : 12.9.1988 - 29.9.1988

Pilot deneylerin özellikle 1. ve 2. dönemleri boyunca üretimin normal koşulları yansıtmadığı göz önünde tutularak kinetik katsayılar 3. dönem esas alınarak belirlenmiştir. Biyodisk sisteminde 1. ve 2. dönemde aynı hidrolik yük uygulanmış, 3. ve 4. dönemlerde hidrolik yükler 2'şer katına çıkartılmıştır. Böylelikle hidrolik yükler ile KOI giderme verimi, organik yük, giriş-çıkış konsantrasyonu arasındaki bağıntılar belirtilmeye çalışılmıştır.

Pilot deney sürecinde organik madde ölçümü için KOI parametresi kullanıldığından BO15 değeri, BO15 ile KOI arasında saptanan korelasyondan yararlanarak belirlenmiştir. Tablo 4.4 de pilot tesis giriş atıksuyunda ölçülen kirletici parametrelerin dönemlere göre ortalama konsantrasyonları verilmiştir.

Tablo 4.4 Pilot tesis ortalama giriş konsantrasyonları
(Birimler mg/lt dir.)

Dönemi	KOI	NH3-N	Org.-N	Anyonik det.
1.dönem	1314	146	43	32
2.dönem	1390	147	61	36
3.dönem	1601	214	52	30
4.dönem	1910	---	---	---
Genel ort.	1680	190	52	32

Biyodisk sistemine ait ortalama değerlerin genel özeti Tablo 4.5, 6'de verilmektedir. Bu değerler grafikler halinde de sunulmaktadır. Ayrıca aktif çamur ve

biyofiltre sistemlerini ait özet bilgilerde Tablo 8, 9, 10, 11, 12, 13'de verilmektedir. Böylelikle bu sistemlerin biyodisk sistemi ile karşılaştırılmasının da yapılması sağlanmıştır.

Pilot tesis çalışması sırasında KOD parametresi dışında NH₃-N, Org-N ve Anyonik Deterjan parametreleride ölçülmüştür. Tablolarda bu değerlerde verilmektedir. Ancak ölçümler değerlendirilmede kullanılması amacı ile değil atıksuyun kalitesi hakkında bilgi vermek üzere sunulmuştur.

Her üç sistemin giriş - çıkış konsantrasyonları da grafik halinde verilmektedir.

Tablo 4.5 Biyodisk Sistemi Çıkış Konsantrasyonları
(Birimler mg/lt dir.)

Dönemi	KOD	NH ₃ -N	Org.-N	Anyonik det.
1.dönem	688	---	---	13
2.dönem	668	102	38	4
3.dönem	442	146	10	4
4.dönem	781	---	---	---
Genel ort.	645	131	19	5

Tablo 4.6 Biyodisk Giderme Verimleri (%)

Dönemi	KOD	NH ₃ -N	Org.-N	Anyonik det.
1.dönem	48	---	---	60
2.dönem	52	31	38	88
3.dönem	72	32	81	86
4.dönem	59	---	---	---
Genel ort.	58	32	60	78

Tablo 4.7 Biyodisk Yükleme Değerleri

Dönemi	g KOD /m ² -gün	g BOD /m ² -gün	MLSS kg/m ³	Giderim g KOD /m ² -gün
1.dönem	14	9	108	7
2.dönem	15	9	152	8
3.dönem	33	20	369	24
4.dönem	69	-41	2000	40

Hidrolik yükleme, m³/m²-gün

1.dönem	0.011
2.dönem	0.011
3.dönem	0.018
4.dönem	0.036

Tablo 4.8 Aktif Çamur Sistemi Çıkış Konsantrasyonları
(Birimler mg/lt dir.)

Dönemi	KOD	NH ₃ -N	Org.-N	Anyonik det.
1.dönem	720	---	---	15
2.dönem	543	---	---	7
3.dönem	407	142	17	4
4.dönem	425	---	---	---
Genel ort.	524	142	17	8

Tablo 4.9 Aktif Çamur Giderme Verimleri (%)

Dönemi	KOD	NH ₃ -N	Org.-N	Anyonik det.
1.dönem	44	---	---	46
2.dönem	59	---	---	80
3.dönem	74	46	55	87
4.dönem	78	---	---	---
Genel ort.	64	46	55	76

Tablo 4.10 Aktif Çamur Yükleme Değerleri

Dönemi	kg KOI /gün	F/M kg KOI/ kg MLSS-g	MLSS kg/m ³	SVI ml/gr
1.dönem	0.76	0.43	891	154
2.dönem	0.80	0.41	973	60
3.dönem	0.92	0.28	1811	52
Genel ort.	0.85	0.35	1330	90

Tablo 4.11 Biyofiltre Sistemi Çıkış Konsantrasyonları
(Birimler mg/lt dir.)

Dönemi	KOI	Anyonik det.
1.dönem	820	4
2.dönem	665	6
3.dönem	661	8
4.dönem	1190	
Genel ort.	834	7

Tablo 4.12 Biyofiltre Giderme Verimleri (%)

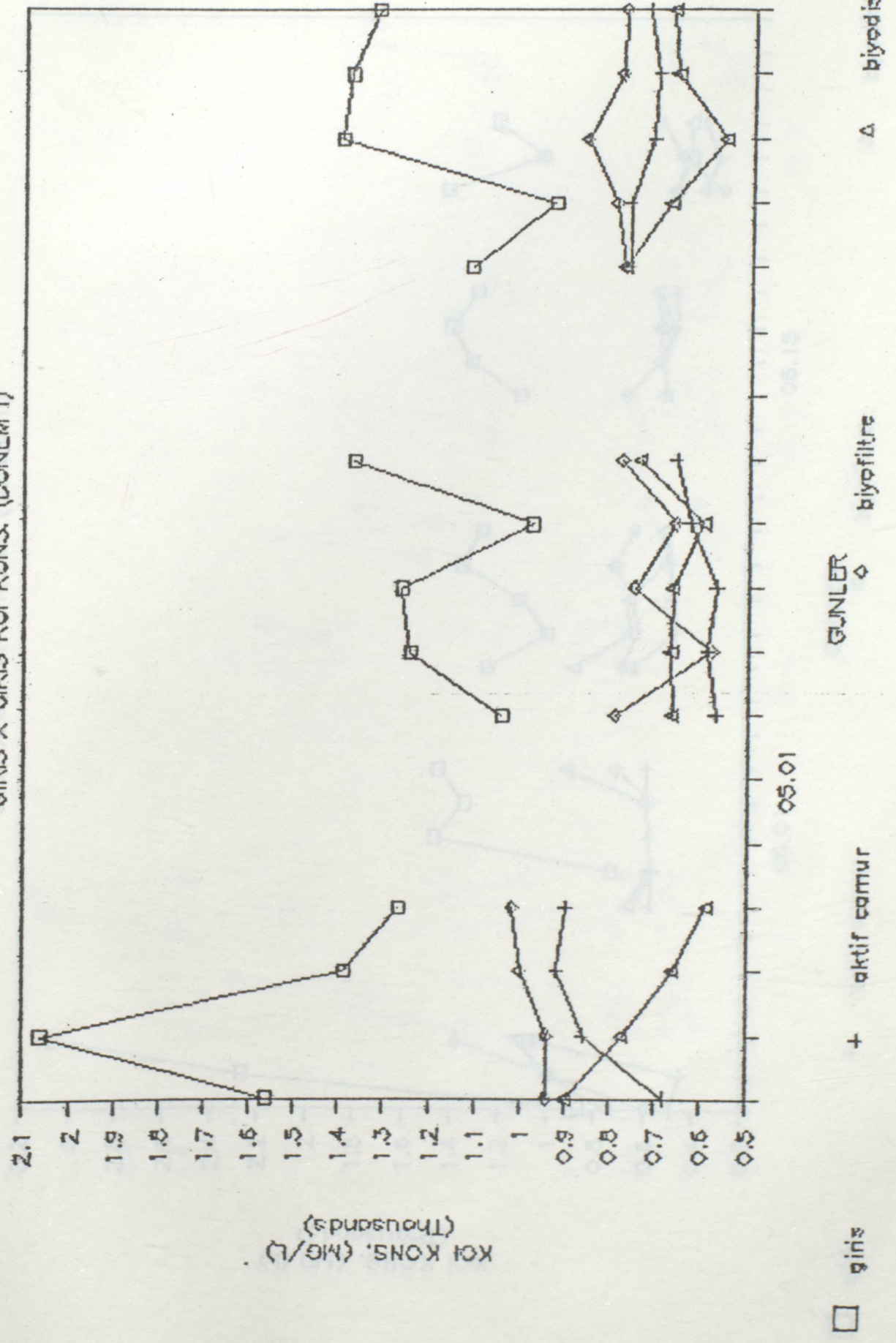
Dönemi	KOI	Anyonik det.
1.dönem	36	73
2.dönem	50	71
3.dönem	59	77
4.dönem	38	---
Genel ort.	46	75

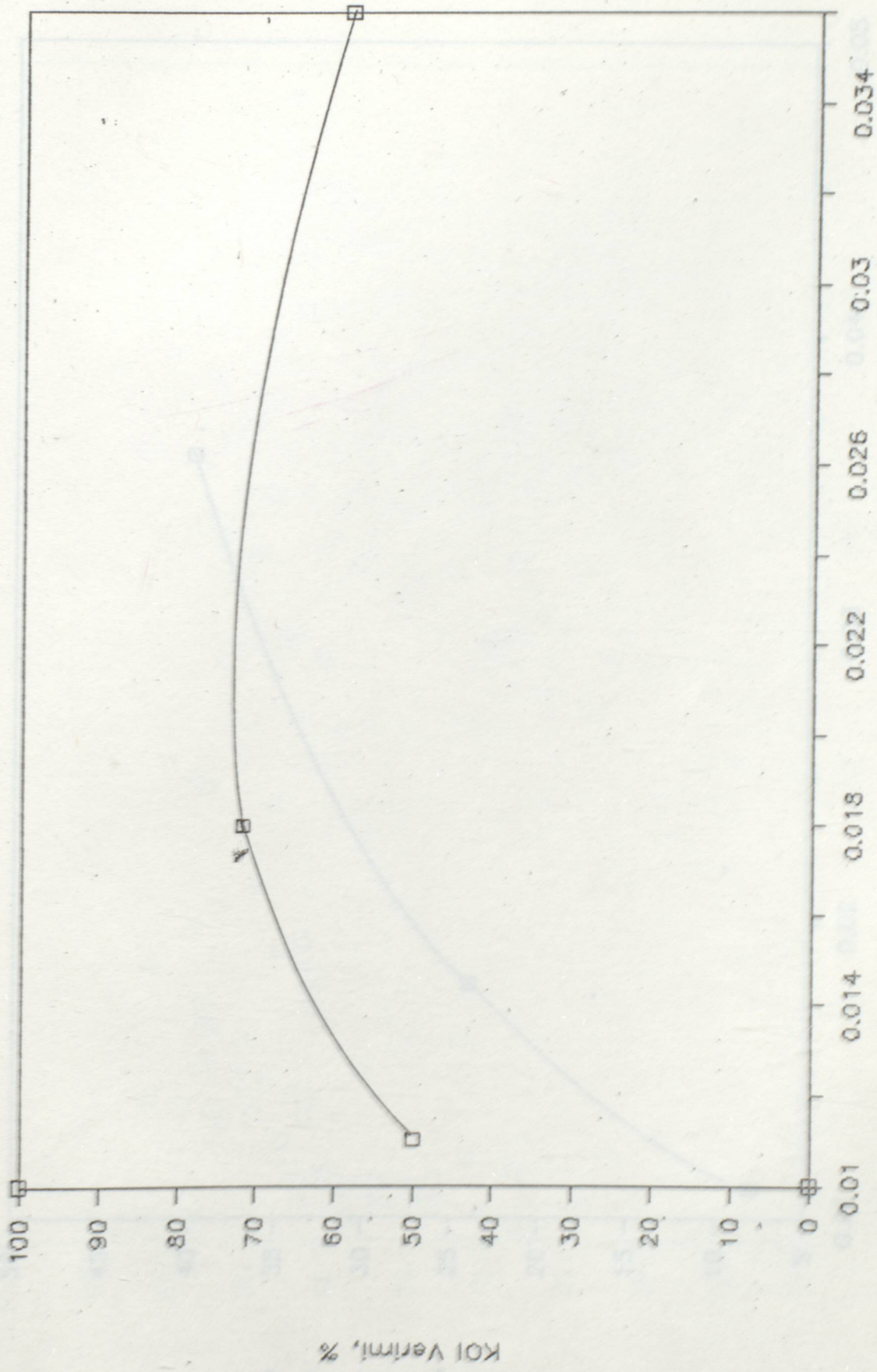
Tablo 4.13 Biyofiltre Yükleme Değerleri

Dönemi	kg KOI /m ³ -gün	kg BOI /m ³ -gün	MLSS kg/m ³	Giderim kg KOI /m ² -gün
1.dönem	1.32	0.79	69	0.50
2.dönem	1.40	0.84	98	0.73
3.dönem	2.85	1.71	166	1.70
Genel ort.	2.03	1.22	122	1.11

PILOT TESİSİ

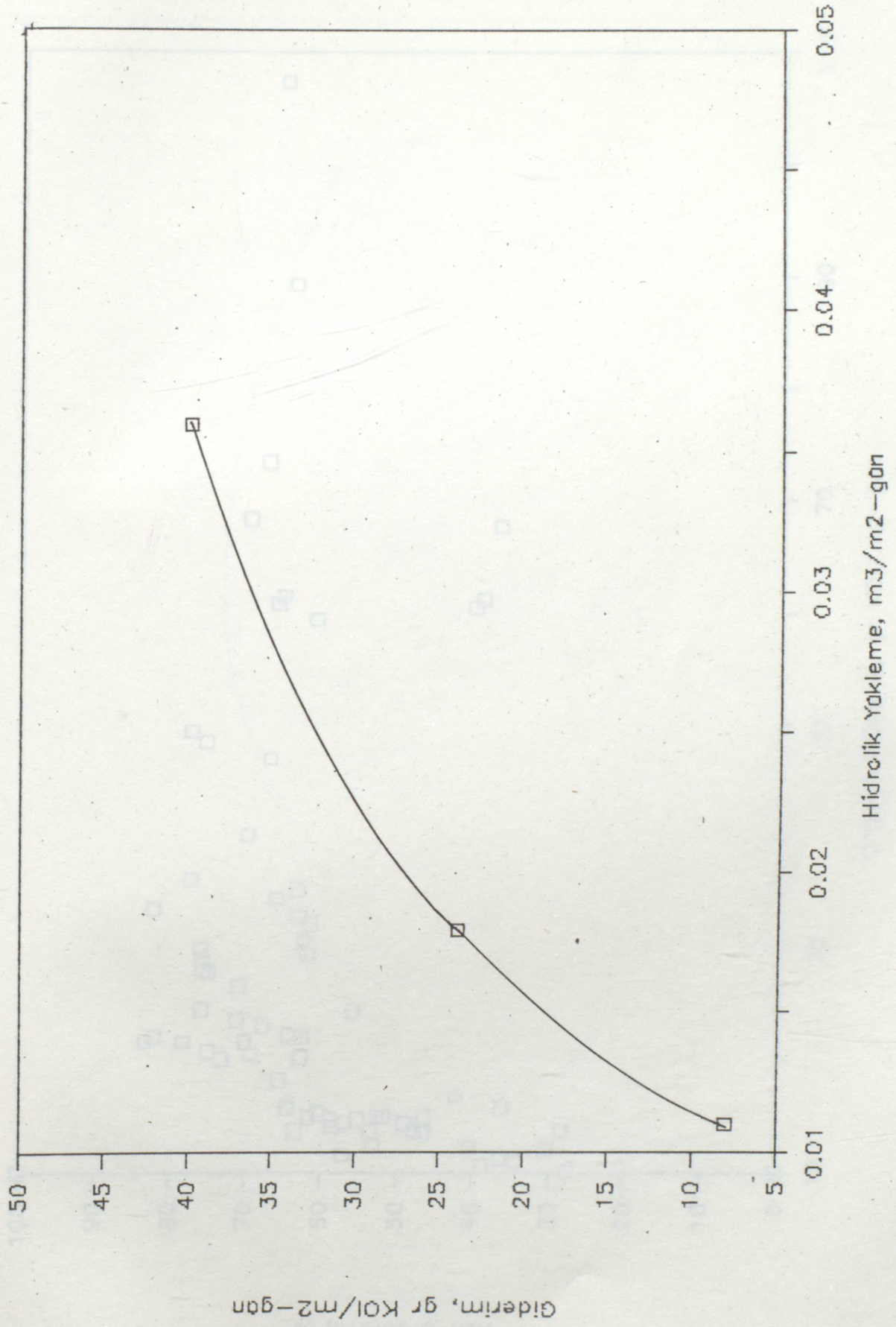
GİRİŞ X ÇIKIŞ KOİ KONS. (DÖNEM I)



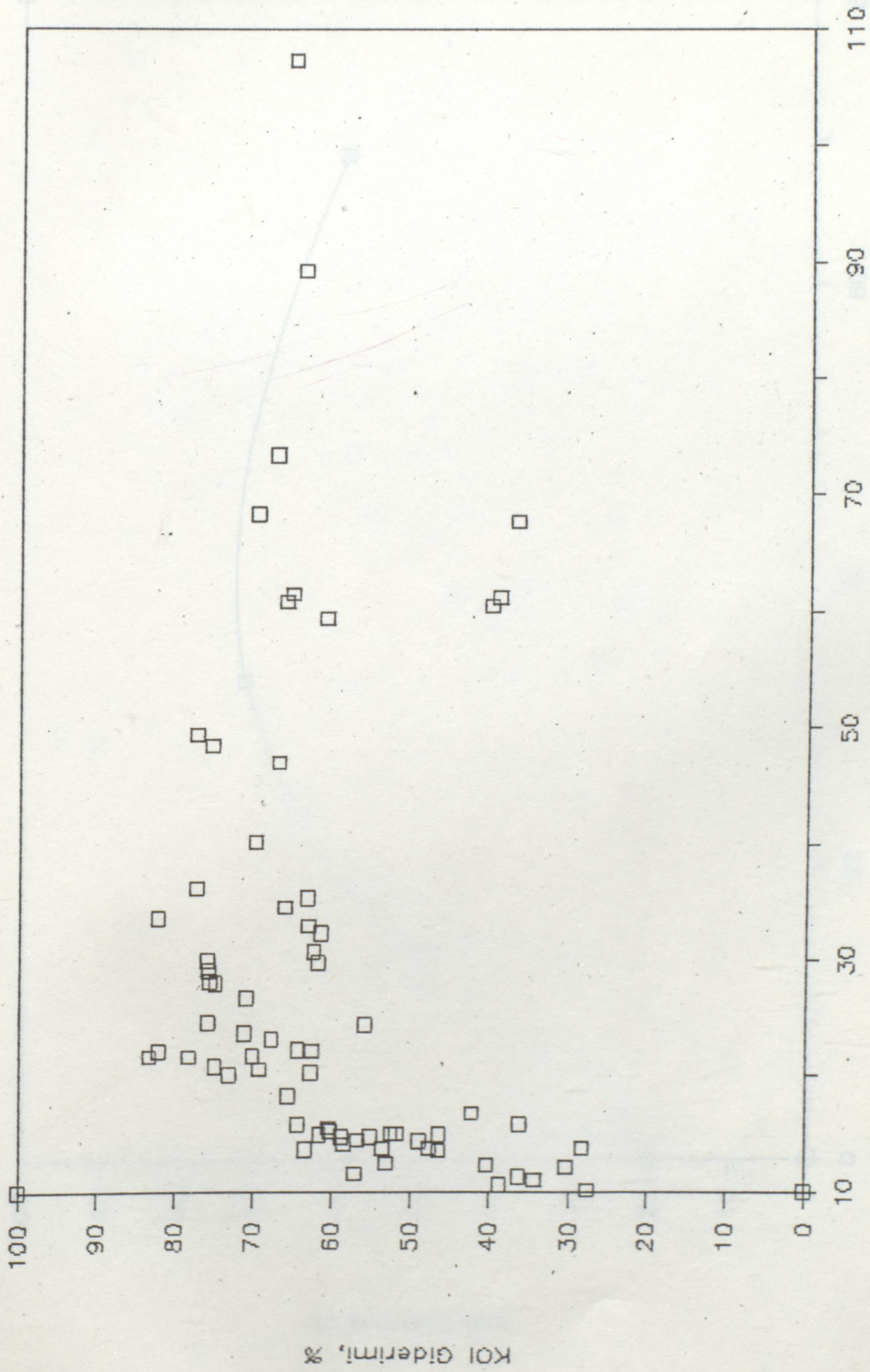


Hidrolik Yükleme, m³/m²-gün

GRAFİK 4



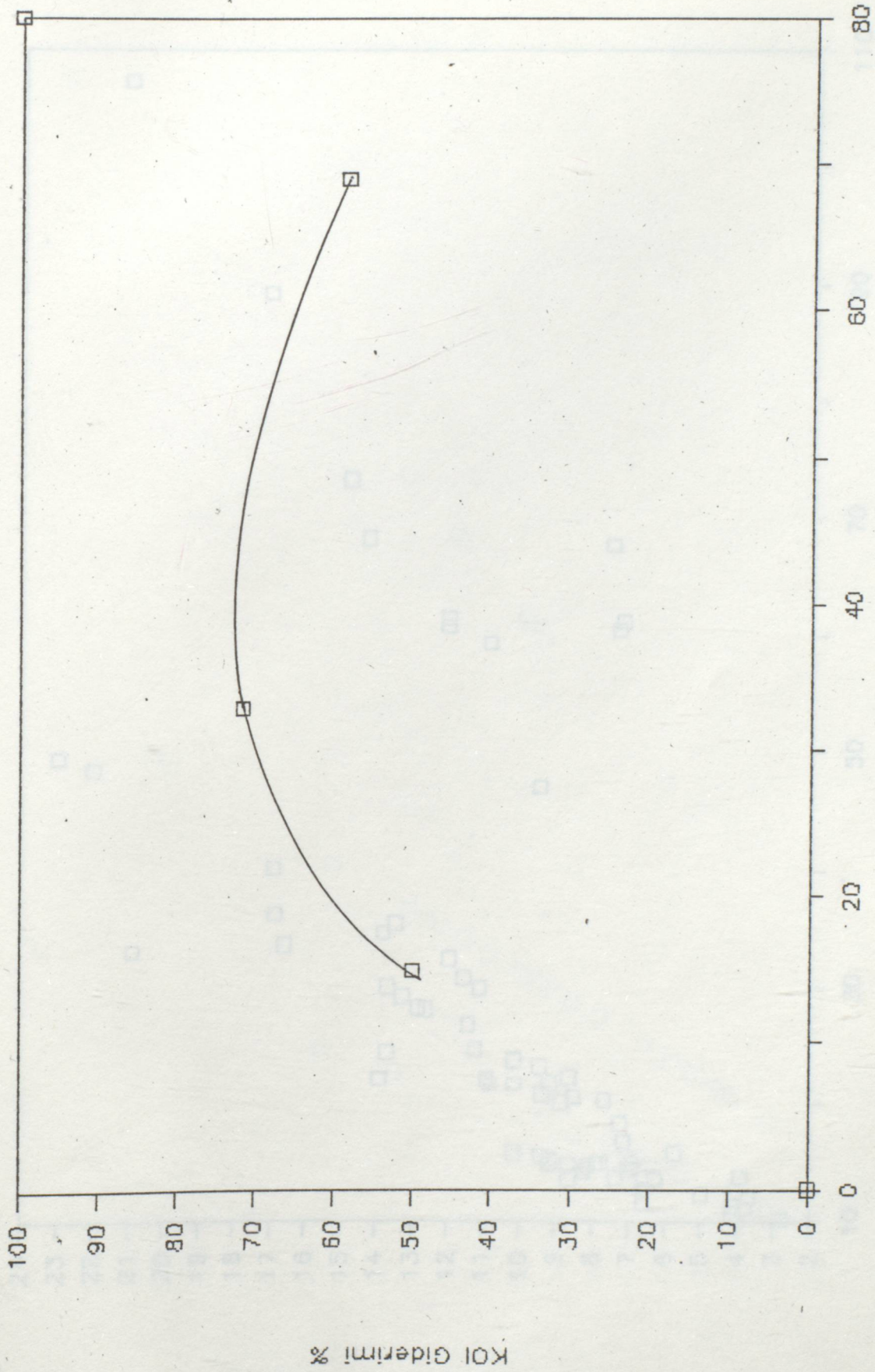
GRAFİK 5



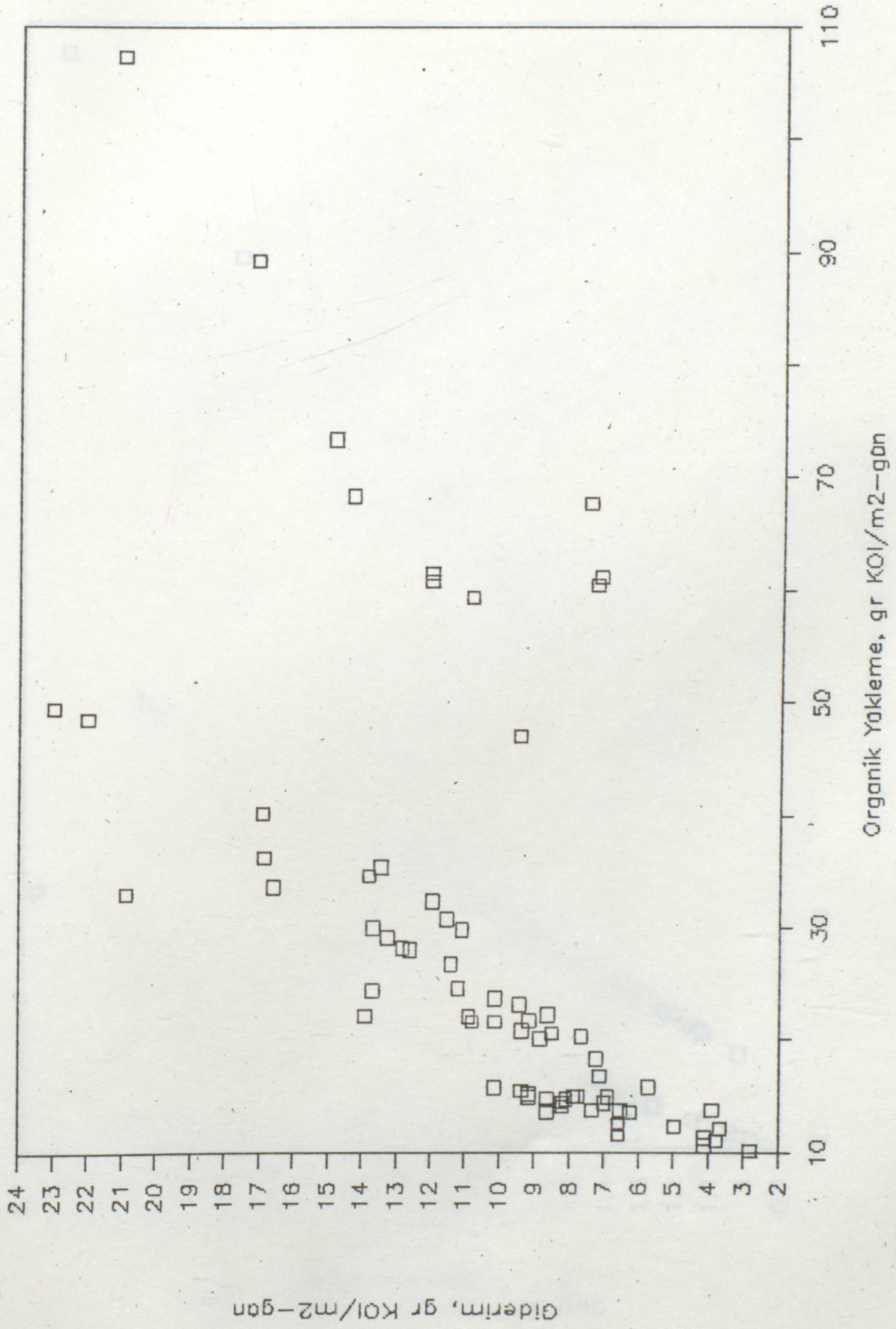
Organik Yükleme, gr KOI/m²-gün

GRAFİK 6

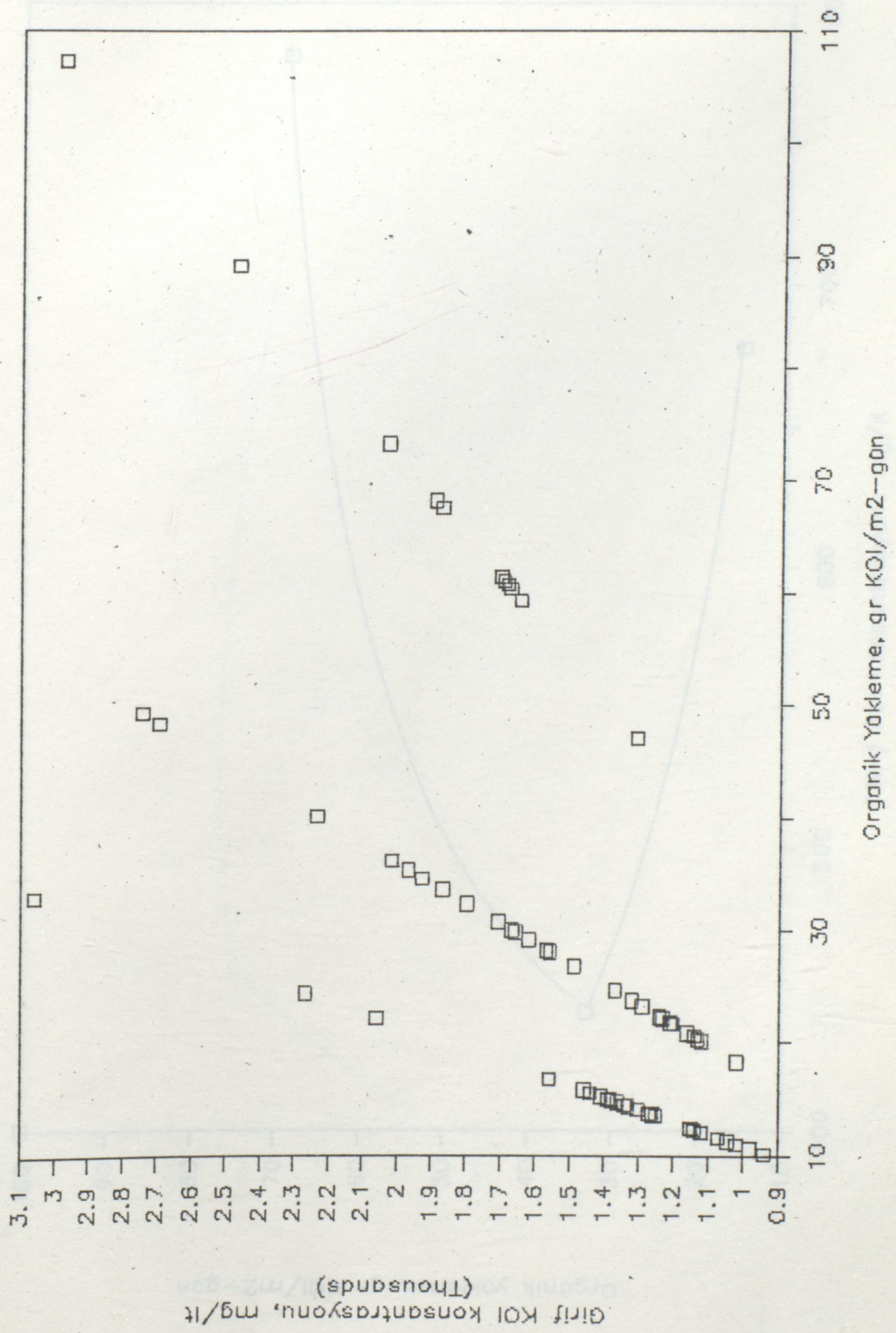
10/4

Organik yikleme, gr KOI/m²-gün

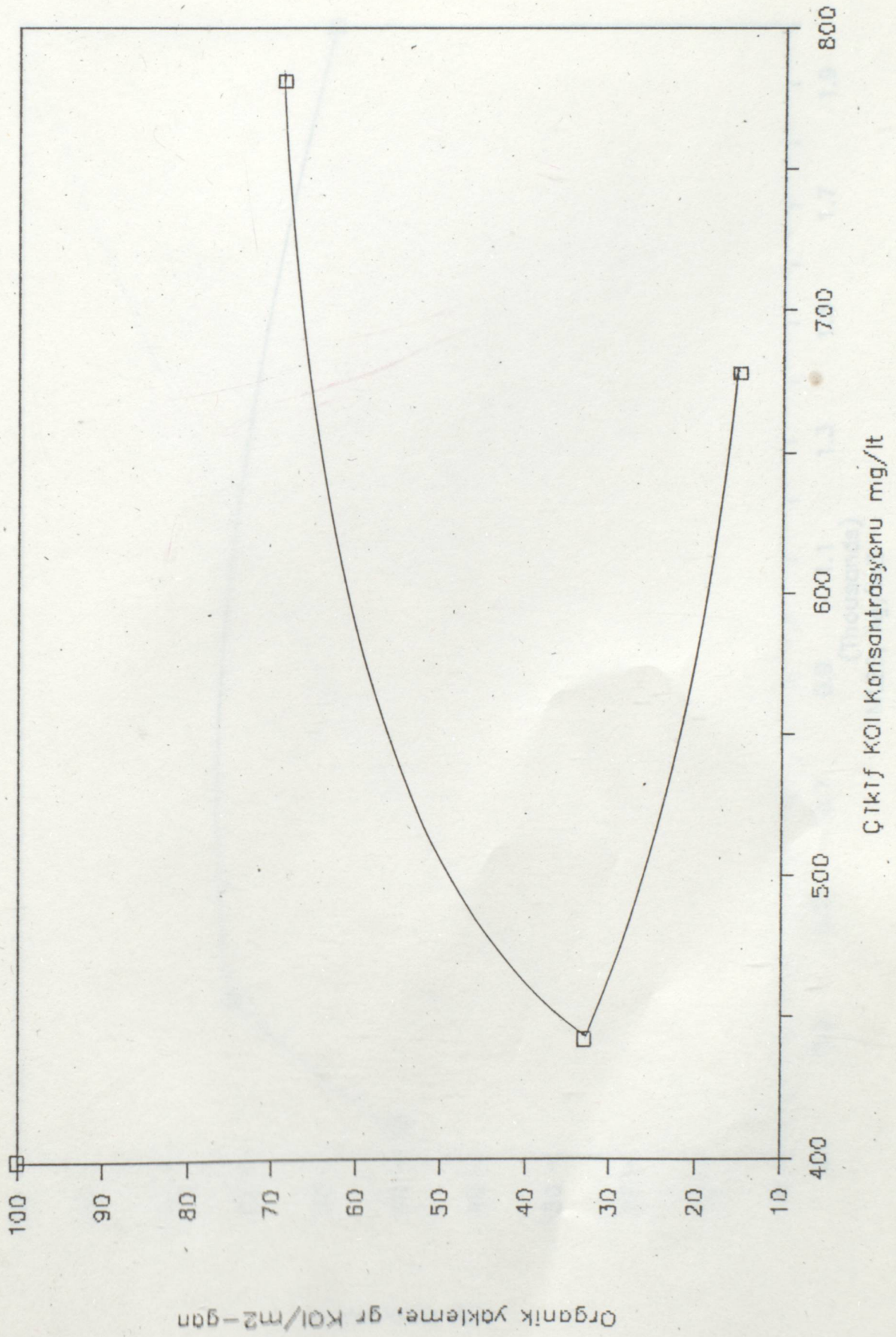
GRAFİK 7



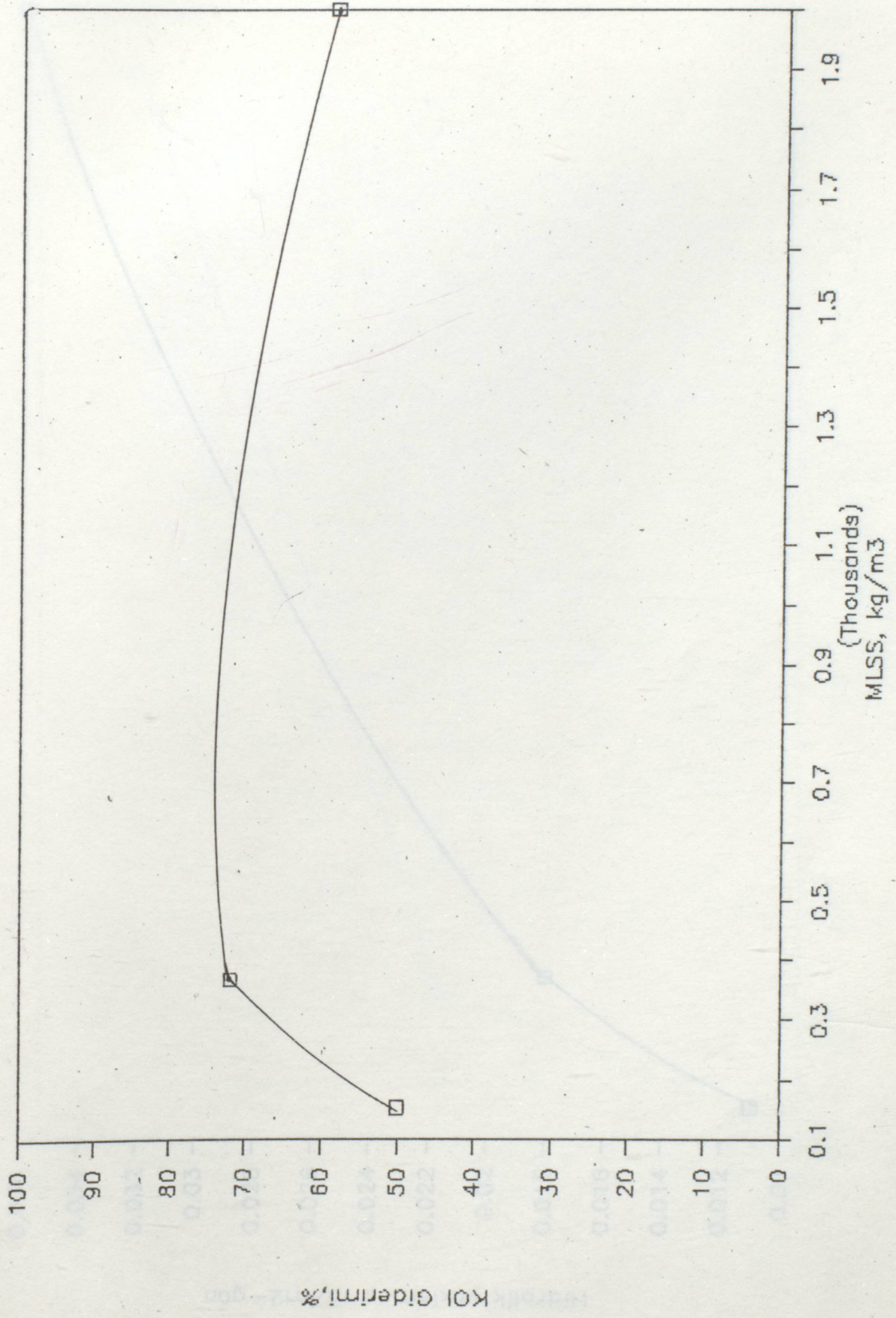
GRAFİK 8

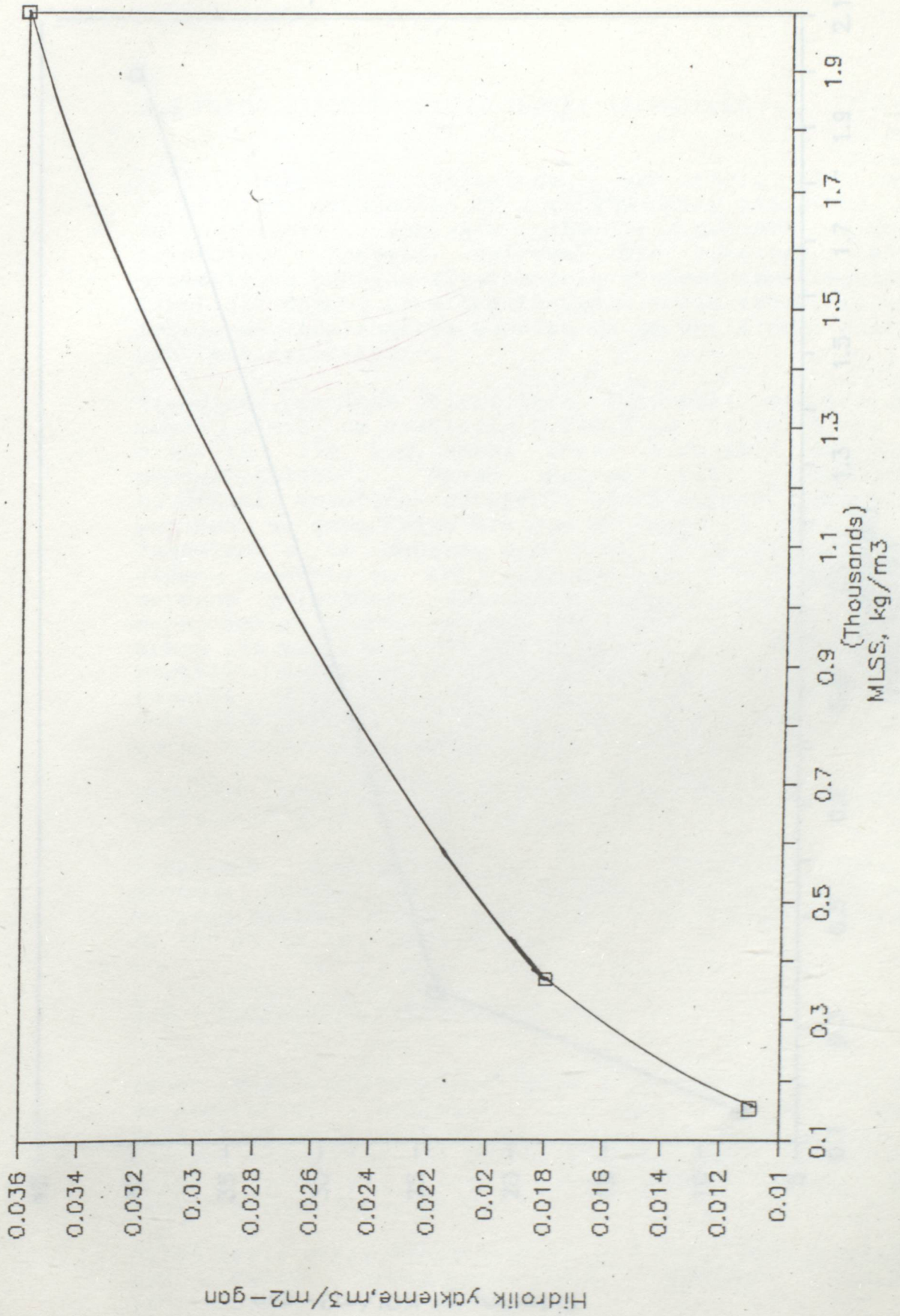


GRAFİK 9



GRAFİK 10





GRAFIK 12

