

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

704782

**İSTANBUL SU ARITMA TESİSLERİNDE DEMİR-MANGAN PROBLEMİ
ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA**

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Müh. Müge YARDIMUMAR

(501981244)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 11 Haziran 2001

Tezin Savunulduğu Tarih : 27 Haziran 2001

Tez Danışmanı : Prof.Dr.Hasan Zuhuri SARIKAYA

Diğer Juri Üyeleri : Doç.Dr. Ayşegül Baysal TANIK (İ.T.Ü.)

Y.Doç.Dr. Neşe Tüfekçi (İ.Ü.)

HAZİRAN 2001

704782

ÖNSÖZ

İçme suyundan demir ve mangan giderilmesi konusunda çalışmama öncü olan ve çalışmalarım süresince yardımını esirgemeyen danışman hocam Prof.Dr.Hasan Zuhuri SARIKAYA'ya, deneysel çalışmalarında bana tecrübeleriyle ve imkanlarıyla destek olan başta Kimya Yüksek Mühendisi Şerif ÇİL olmak üzere yardımsever İSKİ Kağıthane İşletmeler Müdürlüğü laboratuvarı çalışanlarına ve çalışmalarımın her aşamasında bilgisi ve inancıyla yanımda olan özverili arkadaşım Serkan EREN'e katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Haziran 2001

Müge YARDIMUMAR

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÖZET	ix
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
1.1. Çalışmanın Anlam ve Önemi	1
1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı	2
2. DOĞAL SULARDAKİ DEMİR VE MANGAN FORMLARI	4
2.1. Demir ve Manganın Doğada Bulunuşu	4
2.2. Doğal Sulardaki Demir Kaynakları	7
2.2.1. Demirbikarbonat	7
2.2.2. Demirsülfat	8
2.2.3. Kolloidal Demir	8
2.2.4. Demirhidroksit	8
2.3. Doğal Sulardaki Mangan Kaynakları	8
2.4. Demir ve Manganın Zararları	9
2.5. Demir ve Mangan İçin İçme Suyu Standartları	10
3. DEMİR ve MANGAN BERTARAF YÖNTEMLERİ	11
3.1. Demir ve Mangan Bertarafının Tarihçesi	11
3.2. Demir ve Mangan Giderme Yöntemleri	11
3.2.1. Demir ve Mangan Bikarbonat Giderimi	11
3.2.2. Demir ve Mangan Sülfat Giderimi	14
3.2.3. Kolloidal Demir ve Mangan Giderimi	14
3.2.4. Demir Hidroksit ve Mangandioksit Giderimi	15
3.3. Kimyasal Oksidasyon	15
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	21
4.1. Deneysel Çalışmanın Kapsamı	21
4.2. Kullanılan Düzenek ve Yöntemler	21
4.2.1. Analiz Yöntemleri	24
4.2.2. Toplam Demir Tayini(Fenantrolin Yöntemi)	26
4.3. Deneyin Yapılışı	27
5. DENEYSEL ÇALIŞMALARIN SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ	28
5.1. Deneysel Çalışmaların Özetlenmesi	28
5.2. Kağıthane Çelebi Mehmet Han İçme Suyu Tasfiye Tesisi Simülasyon Çalışması	28
5.2.1. Kalibrasyon Eğrisinin Hazırlanması ve Deneysel Çalışmalar	29

5.3. Ömerli Çalışması	36
5.4. Filtre Kumu Çalışması	37
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	40
KAYNAKLAR	43
EKLER	46
ÖZGEÇMİŞ	105



TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1.	Demir ve Mangan İçeren Mineraller.....	6
Tablo 2.2.	Demir ve Mangan İçin İçme Suyu Standartları.....	10
Tablo 3.1.	Demirin Süreye Bağlı Olarak Oksidasyon Yüzdesi.....	13
Tablo 3.2.	Demir ve Mangan Oksidasyonunda Oksidant İhtiyaçları.....	19
Tablo 4.1.	Kağıthane ÇMH İçme Suyu Tasfiye Tesisi Boyutlandırma Parametreleri.....	23
Tablo 4.2.	Işık Yolu Seçimi.....	26
Tablo 5.1.	Kağıthane ÇMH İçme Suyu Tasfiye Tesisi Demir Konsantrasyonları.....	30
Tablo 5.2.	Hamsuya Mohr Tuzu İlave Edildiğinde Demir Konsantrasyonları.....	31
Tablo 5.3.	Hamsuya Cl ₂ (5.2 mg/l, 7.8 mg/l) ve KMnO ₄ (0.5 mg/l) Oksidantları Eklendiğinde Demir Konsantrasyonları.....	31
Tablo 5.4.	Hamsuya Oksidant İlave Edilmediğinde Demir Konsantrasyonları ve Çözünmüş Oksijen Profili.....	32
Tablo 5.5.	7.8 mg/l Cl ₂ Dozlaması Yapıldığında Demir Konsantrasyonları ve Çözünmüş Oksijen Profili.....	32
Tablo 5.6.	3 mg/l KMnO ₄ İlave Edildiğinde Demir Konsantrasyonları ve Çözünmüş Oksijen Profili.....	32
Tablo 5.7.	ÇMH İçme Suyu Tasfiye Tesisi Çözünmüş Oksijen Profili.....	33
Tablo 5.8.	Hamsuya Cl ₂ (7.8 mg/l) ve KMnO ₄ (3 mg/l) Oksidantları İlave Edildiğinde Demir Konsantrasyonları.....	33
Tablo 5.9.	Kağıthane ÇMH İçme Suyu Tasfiye Tesisi Mangan ve Çözünmüş Oksijen Profili.....	34
Tablo 5.10.	Hamsuya Mangansülfat Tuzu İlave Edildiğinde Mangan Konsantrasyonları.....	34
Tablo 5.11.	Hamsuya Mangansülfat Tuzu İlave Edildiğinde Mangan Konsantrasyonları.....	35
Tablo 5.12.	Cl ₂ (9 mg/l, 12 mg/l) Dozlaması Yapıldığında Mangan Konsantrasyonları.....	35
Tablo 5.13.	KMnO ₄ (2 mg/l, 4 mg/l) Dozlaması Yapıldığında Mangan Konsantrasyonları.....	36
Tablo 5.14.	Kullanılmış Filtre Kumu Üzerinde Birikmiş Demir ve Mangan Konsantrasyonları.....	37
Tablo 5.15.	Kum Yoğunlukları.....	38

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 4.1	: Kağıthane Çelebi Mehmet Han İçme Suyu Tasfiye Tesisi Akım Şeması.....	22
Şekil 4.2	: Deney Düzeneginin Fotoğrafı.....	25
Şekil 4.3	: Deney Düzeneginin Fotoğrafı.....	25
Şekil 5.1	: 5 cm Işık Yolu İçin Kalibrasyon Eğrisi.....	29
Şekil A.1	: 01.08.2000 Tarihinde Ömerli Barajı Demir-Mangan Profili.....	48
Şekil A.2	: 02.08.2000 Tarihinde Ömerli Barajı Demir-Mangan Profili.....	48
Şekil A.3	: 03.08.2000 Tarihinde Ömerli Barajı Demir-Mangan Profili.....	49
Şekil A.4	: 04.08.2000 Tarihinde Ömerli Barajı Demir-Mangan Profili.....	49
Şekil A.5	: 17.08.2000 Tarihinde Ömerli Barajı Demir-Mangan Profili.....	50
Şekil A.6	: 24.08.2000 Tarihinde Ömerli Barajı Demir-Mangan Profili.....	50
Şekil A.7	: 31.08.2000 Tarihinde Ömerli Barajı Demir-Mangan Profili.....	51
Şekil A.8	: 14.09.2000 Tarihinde Ömerli Barajı Demir-Mangan Profili.....	51
Şekil A.9	: 21.09.2000 Tarihinde Ömerli Barajı Demir-Mangan Profili.....	52
Şekil A.10	: 03.10.2000 Tarihinde Ömerli Barajı Demir-Mangan Profili.....	52
Şekil A.11	: 12.10.2000 Tarihinde Ömerli Barajı Demir-Mangan Profili.....	53
Şekil A.12	: 19.10.2000 Tarihinde Ömerli Barajı Demir-Mangan Profili.....	53
Şekil A.13	: 26.10.2000 Tarihinde Ömerli Barajı Demir-Mangan Profili.....	54
Şekil A.14	: 02.11.2000 Tarihinde Ömerli Barajı Demir-Mangan Profili.....	54
Şekil A.15	: 09.11.2000 Tarihinde Ömerli Barajı Demir-Mangan Profili.....	55
Şekil A.16	: 07.12.2000 Tarihinde Ömerli Barajı Demir-Mangan Profili.....	55
Şekil A.17	: 14.12.2000 Tarihinde Ömerli Barajı Demir-Mangan Profili.....	56
Şekil A.18	: 11.01.2001 Tarihinde Ömerli Barajı Demir-Mangan Profili.....	56
Şekil A.19	: 18.01.2001 Tarihinde Ömerli Barajı Demir-Mangan Profili.....	57
Şekil A.20	: 25.01.2001 Tarihinde Ömerli Barajı Demir-Mangan Profili.....	57
Şekil A.21	: 01.02.2001 Tarihinde Ömerli Barajı Demir-Mangan Profili.....	58
Şekil A.22	: 08.02.2001 Tarihinde Ömerli Barajı Demir-Mangan Profili.....	58
Şekil A.23	: 15.02.2001 Tarihinde Ömerli Barajı Demir-Mangan Profili.....	59
Şekil A.24	: 22.02.2001 Tarihinde Ömerli Barajı Demir-Mangan Profili.....	59
Şekil B.1	: Ömerli Muradiye İçme Suyu Tasfiye Tesisi Akım Şeması.....	61
Şekil B.2	: 02.08.2000 Tarihinde Muradiye Demir-Mangan Profili.....	62
Şekil B.3	: 03.08.2000 Tarihinde Muradiye Demir-Mangan Profili.....	62
Şekil B.4	: 04.08.2000 Tarihinde Muradiye Demir-Mangan Profili.....	63
Şekil B.5	: 17.08.2000 Tarihinde Muradiye Demir-Mangan Profili.....	63
Şekil B.6	: 24.08.2000 Tarihinde Muradiye Demir-Mangan Profili.....	64
Şekil B.7	: 31.08.2000 Tarihinde Muradiye Demir-Mangan Profili.....	64
Şekil B.8	: 14.09.2000 Tarihinde Muradiye Demir-Mangan Profili.....	65
Şekil B.9	: 21.09.2000 Tarihinde Muradiye Demir-Mangan Profili.....	65
Şekil B.10	: 03.10.2000 Tarihinde Muradiye Demir-Mangan Profili.....	66
Şekil B.11	: 12.10.2000 Tarihinde Muradiye Demir-Mangan Profili.....	66
Şekil B.12	: 19.10.2000 Tarihinde Muradiye Demir-Mangan Profili.....	67
Şekil B.13	: 26.10.2000 Tarihinde Muradiye Demir-Mangan Profili.....	67
Şekil B.14	: 02.11.2000 Tarihinde Muradiye Demir-Mangan Profili.....	68

Şekil B.15 :	09.11.2000 Tarihinde Muradiye Demir-Mangan Profili.....	68
Şekil B.16 :	07.12.2000 Tarihinde Muradiye Demir-Mangan Profili.....	69
Şekil B.17 :	11.01.2001 Tarihinde Muradiye Demir-Mangan Profili.....	69
Şekil B.18 :	18.01.2001 Tarihinde Muradiye Demir-Mangan Profili.....	70
Şekil B.19 :	25.01.2001 Tarihinde Muradiye Demir-Mangan Profili.....	70
Şekil B.20 :	01.02.2001 Tarihinde Muradiye Demir-Mangan Profili.....	71
Şekil B.21 :	08.02.2001 Tarihinde Muradiye Demir-Mangan Profili.....	71
Şekil B.22 :	12.02.2001 Tarihinde Muradiye Demir-Mangan Profili.....	72
Şekil B.23 :	15.02.2001 Tarihinde Muradiye Demir-Mangan Profili.....	72
Şekil B.24 :	22.02.2001 Tarihinde Muradiye Demir-Mangan Profili.....	73
Şekil C.1 :	Ömerli Orhaniye İçme Suyu Tasfiye Tesisi Akım Şeması.....	75
Şekil C.2 :	03.08.2000 Tarihinde Orhaniye Demir- Mangan Profili.....	76
Şekil C.3 :	17.08.2000 Tarihinde Orhaniye Demir- Mangan Profili.....	76
Şekil C.4 :	24.08.2000 Tarihinde Orhaniye Demir- Mangan Profili.....	77
Şekil C.5 :	31.08.2000 Tarihinde Orhaniye Demir- Mangan Profili.....	77
Şekil C.6 :	14.09.2000 Tarihinde Orhaniye Demir- Mangan Profili.....	78
Şekil C.7 :	21.09.2000 Tarihinde Orhaniye Demir- Mangan Profili.....	78
Şekil C.8 :	12.10.2000 Tarihinde Orhaniye Demir- Mangan Profili.....	79
Şekil C.9 :	19.10.2000 Tarihinde Orhaniye Demir- Mangan Profili.....	79
Şekil C.10 :	26.10.2000 Tarihinde Orhaniye Demir- Mangan Profili.....	80
Şekil C.11 :	02.11.2000 Tarihinde Orhaniye Demir- Mangan Profili.....	80
Şekil C.12 :	09.11.2000 Tarihinde Orhaniye Demir- Mangan Profili.....	81
Şekil C.13 :	07.12.2000 Tarihinde Orhaniye Demir- Mangan Profili.....	81
Şekil C.14 :	11.01.2001 Tarihinde Orhaniye Demir- Mangan Profili.....	82
Şekil C.15 :	18.01.2001 Tarihinde Orhaniye Demir- Mangan Profili.....	82
Şekil C.16 :	25.01.2001 Tarihinde Orhaniye Demir- Mangan Profili.....	83
Şekil C.17 :	01.02.2001 Tarihinde Orhaniye Demir- Mangan Profili.....	83
Şekil C.18 :	08.02.2001 Tarihinde Orhaniye Demir- Mangan Profili.....	84
Şekil C.19 :	12.02.2001 Tarihinde Orhaniye Demir- Mangan Profili.....	84
Şekil C.20 :	15.02.2001 Tarihinde Orhaniye Demir- Mangan Profili.....	85
Şekil C.21 :	22.02.2001 Tarihinde Orhaniye Demir- Mangan Profili.....	85
Şekil D.1 :	Ömerli Osmaniye İçme Suyu Tasfiye Tesisi Akım Şeması.....	87
Şekil D.2 :	19.10.2000 Tarihinde Osmaniye Demir-Mangan Profili.....	88
Şekil D.3 :	26.10.2000 Tarihinde Osmaniye Demir-Mangan Profili.....	88
Şekil D.4 :	02.11.2000 Tarihinde Osmaniye Demir-Mangan Profili.....	89
Şekil D.5 :	09.11.2000 Tarihinde Osmaniye Demir-Mangan Profili.....	89
Şekil D.6 :	07.12.2000 Tarihinde Osmaniye Demir-Mangan Profili.....	90
Şekil D.7 :	10.01.2001 Tarihinde Osmaniye Demir-Mangan Profili.....	90
Şekil D.8 :	18.01.2001 Tarihinde Osmaniye Demir-Mangan Profili.....	91
Şekil D.9 :	25.01.2001 Tarihinde Osmaniye Demir-Mangan Profili.....	91
Şekil D.10 :	01.02.2001 Tarihinde Osmaniye Demir-Mangan Profili.....	92
Şekil D.11 :	08.02.2001 Tarihinde Osmaniye Demir-Mangan Profili.....	92
Şekil D.12 :	12.02.2001 Tarihinde Osmaniye Demir-Mangan Profili.....	93
Şekil D.13 :	15.02.2001 Tarihinde Osmaniye Demir-Mangan Profili.....	93
Şekil D.14 :	22.02.2001 Tarihinde Osmaniye Demir-Mangan Profili.....	94
Şekil E.1 :	Ömerli Yıkanmamış Kum Danesinin Büyütülmüş Fotoğrafı	96
Şekil E.2 :	Ömerli Yıkanmamış Kum Danesinin Büyütülmüş Fotoğrafı.....	96
Şekil E.3 :	Ömerli Yıkanmamış Kum Danesinin Büyütülmüş Fotoğrafı.....	97
Şekil E.4 :	Ömerli Yıkanmamış Kum Danesinin Büyütülmüş Fotoğrafı.....	97
Şekil E.5 :	Ömerli Yıkanmamış Kum Danesinin Büyütülmüş Fotoğrafı.....	98

Şekil E.6	:	Ömerli Yıkanmamış Kum Danesinin Büyütülmüş Fotoğrafi.....	98
Şekil E.7	:	Ömerli Yıkanmış Kum Danesinin Büyütülmüş Fotoğrafi	99
Şekil E.8	:	Ömerli Yıkanmış Kum Danesinin Büyütülmüş Fotoğrafi.....	99
Şekil E.9	:	Ömerli Yıkanmış Kum Danesinin Büyütülmüş Fotoğrafi.....	100
Şekil E.10	:	Kağıthane Yıkanmamış Kum Danesinin Büyütülmüş Fotoğrafi....	101
Şekil E.11	:	Kağıthane Yıkanmamış Kum Danesinin Büyütülmüş Fotoğrafi.....	101
Şekil E.12	:	Kağıthane Yıkanmamış Kum Danesinin Büyütülmüş Fotoğrafi.....	102
Şekil E.13	:	Kağıthane Yıkanmamış Kum Danesinin Büyütülmüş Fotoğrafi.....	102
Şekil E.14	:	Kağıthane Yıkanmış Kum Danesinin Büyütülmüş Fotoğrafi.....	103
Şekil E.15	:	Kağıthane Yıkanmış Kum Danesinin Büyütülmüş Fotoğrafi.....	103
Şekil E.16	:	Kağıthane Yıkanmış Kum Danesinin Büyütülmüş Fotoğrafi.....	104
Şekil E.17	:	Kağıthane Yıkanmış Kum Danesinin Büyütülmüş Fotoğrafi.....	104



ÖZET

Demir ve mangan yeryüzü kabuğunda bol bulunan elementlerden ikisi olup, su kaynaklarında istenmeyen maddelerdir. Genellikle yeraltı sularında ve ötrofik göllerin hipolimnion tabakalarında üç değerlikli demir iki değerlikli demire, dört değerlikli mangansa iki değerlikli mangana indirgenmektedir. İçme ve endüstriyel amaçlı su temininde, demir ve mangan içeren suların kullanılması problemlere neden olmaktadır. İçme suyunda demir ve mangan konsantrasyonlarının standartlarda belirtilen değerlerin üzerinde olması halinde, su bulanık bir görünüş almaktadır ki bu durum tüketiciler tarafından istenmemektedir.

Bu çalışmada Kağıthane ve Ömerli'de bulunan tasfiye tesislerindeki mevcut sistemle demir ve mangan gideriminin ne derece gerçekleştiği belirlenmiş olup, giderme verimini artırmak için yapılabilecek işlemler araştırılmıştır. Bu amaçla Kağıthane Çelebi Mehmet Han İçme Suyu Tasfiye Tesis simüle edilerek deneysel çalışmalar yürütülmüştür. Ömerli Barajı demir ve mangan profili çıkarılmıştır. Ek olarak Ömerli ve Kağıthane arıtma tesislerinde kullanılmış filtre kumu üzerinde birikmiş demir ve mangan miktarı tespit edilmiştir.

Çalışmanın I. bölümünde; çalışmanın anlam ve önemiyle, amaç ve kapsamına yer verilmiştir. II. Bölümdeyse demir ve manganın doğada bulunuş şekilleri, doğal sulardaki demir ve mangan kaynakları konuları işlenmiştir. Ayrıca demir ve manganın zararlarıyla, içme suyu açısından farklı standartlara değinilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar ve elde edilen sonuçların değerlendirilmesi konularına Bölüm 4 ve Bölüm 5'de yer verilmiştir.

İSKİ Kağıthane Çelebi Mehmet Han İçme Suyu Tasfiye Tesisinin simüle edildiği deneysel çalışmalarda, hamsudaki demir ve manganın mevcut imkanlarla giderilebilirliği ve verimin iyileştirilmesi için oksidant kullanımı konuları incelenmiştir. Oksidant olarak Cl_2 ve $KMnO_4$ kullanılmıştır. Tesis giriş suyunda 1 mg/l'ye kadar demir, 0.5 mg/l'ye kadar mangan bulunması durumlarında mevcut sistemle çıkış suyunda standartlar yakalanabilmektedir. Ayrıca daha yüksek dozlarda demir ve mangan bulunması halinde Cl_2 ve $KMnO_4$ gibi oksidantlara ihtiyaç duyulmaktadır. Deneylerde demir ve mangan konsantrasyonlarının yanında çözünmüş oksijen, pH, bulanıklık ve sıcaklık değerleri de kaydedilmiştir. Arıtma veriminin oksidant ilave edilmesi durumunda arttığı tespit edilmiştir.

Ayrıca, deneysel çalışmalarda Ömerli barajıyla Muradiye, Orhaniye ve Osmaniye İçme Suyu Tasfiye Tesisleri demir-mangan profilleri çıkarılarak, elde edilen veriler yorumlanmıştır. Ömerli barajı dip derinliğinde anaerobik koşulların oluşması sebebiyle demir-mangan problemi oluşmaktadır. Bahar aylarında su yüzeyinin ısınması ve rüzgarın etkisiyle baraj gölünde karışım meydana gelmektedir. Bu dönemlerde su yüzeyinden alınan numunelerde demir ve mangan konsantrasyonları standart değerlerden yüksek çıkmaktadır. Arıtma tesisi çıkış suyundaysa mevcut sistemle demir ve mangan açısından standart değerler yakalanmaktadır.

Kum alışması yardımıyla da yaklaşık olarak bir filtre kolonunda birikebilecek demir-mangan miktarları belirlenirken, kum danelerinin mikroskopla büyütölmüş fotoğraflarına bakıldığında demir-manganla kaplanmış danelerin küresellik katsayılarının 1'e yaklaştığı tespit edilmiştir.

Son bölümdeyse tez çalışması süresince ulaşılan bilgiler ve bu bilgiler ışığında demir ve mangan bertaraf verimini artırmak için geliştirilen öneriler yer almaktadır.



THE STUDY OF IRON AND MANGANESE PROBLEM OF ISTANBUL DRINKING WATER TREATMENT PLANTS

SUMMARY

The presence of iron and manganese in water is objectionable primarily because the precipitation of these metals alters the appearance of the water, turning it a turbid yellow-brown to black. In addition, the deposition of these precipitates will cause staining of plumbing fixtures and laundry.

Another condition which has been associated with the presence of iron and manganese in water supplies is the growth of microorganisms in distribution systems. Accumulations of microbial growths can lead to reductions in pipeline carrying capacity and the clogging of meters and valves. Sloughing of the accumulations often leads to adverse consumer reaction including complaints of tastes and odors. Depositions of iron and manganese precipitates in mains are frequently resuspended by increased flow rates causing high turbidities.

Iron and manganese themselves in concentrations greater than several milligrams per liter will impart a taste to water which described as metallic, astringent, or medicinal. Finally, the precipitation of these metals may lead to difficulty with water-treatment processes as ion exchange.

Because of the nuisance caused by relatively small concentrations of these metals, many groundwater supplies for municipalities, industries, and individual homes require treatment for the removal or control of iron and manganese.

Comparatively few surface waters require treatment for the removal of iron and manganese from solution. Those surface supplies which do require such treatment are generally derived from the hypolimnion of deep lakes or from eutrophic lakes where reducing conditions have developed to the extent that deposits of precipitated iron and manganese are returned to solution.

This report includes six chapters as following:

In the first chapter, the importance and the general objectives of the study are defined in detail.

In the second chapter, the chemistry of a aqueous iron and manganese, and character of iron and manganese precipitates are given.

In the third chapter the methods of iron and manganese removal are explained. Coagulation, filtration, precipitation and especially chemical oxidation via using different oxidant such as Cl_2 , O_2 , O_3 , KMnO_4 are described.

In the fourth chapter, the experimental techniques for this subject are explained.

In the fifth and sixth chapter, the results of the experiments are discussed. Experimental studies were carried out three stages.

In the first stage similitude was used for Kağıthane Çelebi Mehmet Han Drinking Water Treatment Plant and experiments were completed in lab-scale. In order to show iron and manganese problems, some of iron and manganese salts were given to influent which was taken Terkos and Alibey Lakes. If iron concentration is much than 1 mg/l and manganese concentration is much than 0.5 mg/l, the treatment process needs oxidation unit. Using oxidation reagents such as Cl_2 and $KMnO_4$ leads to increasing of drinking water treatment plant performance. During experiments dissolved oxygen, pH, turbidity and temperature were determined for lab-scale process and original Çelebi Mehmet Han Drinking Water Treatment Plant.

In the second stage which was called Ömerli study iron and manganese concentration were defined for different depth (0-59 m.). Generally manganese concentrations were too high according to TSE 266 Drinking Water Standards. In addition, this stage contains experiments which were showed Muradiye, Orhaniye and Osmaniye Drinking Water Treatment Plant performance graphics. Nearly all of samples which were taken effluent water quality suitable according to TSE 266 Drinking Water Standards.

In the last stage total amount of iron and manganese were determined on the filter sand which were used Kağıthane and Ömerli Drinking Water Treatment Plants. For used filter sand and new filter sand were taken photographs under microscope. In this study, sphericity was near to 1 for used filter sand was observed.

1 . GİRİŞ VE AMAÇ

1.1.Çalışmanın Anlam ve Önemi

Yeraltı suları ve ötrofik göllerin hipolimnion tabakaları gibi oksijenin yetersiz olduğu sulu ortamlarda demir ve mangan iki değerliklidir. Çözünmüş oksijen miktarı çok az veya sıfır olan, demir ve manganlı tabakalardan geçen yeraltı suları, yüksek konsantrasyonlarda Fe(II) ve Mn(II) içermektedirler. Diğer taraftan ötrofik göllerin anaerobik hale geçmiş hipolimnion tabakalarında Fe(III)'ün indirgenmesi sonucu Fe(II) konsantrasyonu, Mn(IV)'ün indirgenmesi sonucu da Mn(II) konsantrasyonu yükselmektedir. Bu tür sular atmosfer ile dolayısıyla oksijenle temasa geçtikleri zaman sudaki Fe(II), Fe(III) haline yükseltgenerek sarı-kırmızı renkteki Fe(OH)₃ yumakları halinde çökmektedir. Benzer şekilde Mn(II), Mn(IV) haline yükseltgenerek kahverengi-siyah renkte MnO₂ şeklinde çökmektedir. Bu tip su kaynaklarının evsel ve endüstriyel amaçlı kullanımları için bu su kaynaklarından demir ve manganın giderilmesi gerekmektedir. Birçok konvansiyonel arıtma tesisinde demir ve mangan gideriminde önemli problemlerle karşılaşıldığı görülmektedir.

Sudan demir ve mangan giderimi içme ve kullanma açısından da büyük öneme sahiptir. Örneğin kağıt ve tekstil endüstrisinde demir ve mangan içeren suyun kullanımı, kağıtta ve kumaşta lekeler meydana getirirken, gıda ve içki endüstrisinde renk, görünüş ve tat açısından problemler ortaya çıkarmaktadır. İçme suyunda demir ve manganın standartlarda belirtilen konsantrasyonların üzerinde bulunması halinde su bulanık ve kötü bir görünüş almaktadır; bu durum ise kullanıcılar tarafından istenmemektedir. İlave olarak yüksek konsantrasyonlardaki Fe(II) sebebiyle su dağıtım şebekelerinde birikmeler olmakta ve mikroorganizma sayısında artma meydana gelmektedir. Bütün bunlar boruların kesitlerini daralttığı gibi, yüksek debiler esnasında da zaman zaman yerlerinden koparak şikayetlere sebep olmaktadır. Ayrıca birkaç mg/l'den daha yüksek demir ve mangan konsantrasyonlarında su metalik bir tat kazanmaktadır. Bu olumsuz etkileri daha da arttırmak mümkündür.

İçme ve kullanma sularındaki demir ve manganın giderilmesi bu maddelerin eriyebilen şekillerinin oksitlenerek erimeyen şekillere sokulmasından ibarettir. İçme sularından demir ve mangan giderimi esas itibariyle; "pH'ın yükseltilmesi", "oksidasyon" ve "pH'ın yükseltilmesi ile oksidasyonun birlikte uygulanması" mekanizmalarıyla sağlanmaktadır. Bu mekanizmalar; havalandırma, kimyasal oksidasyon, pH ayarlanması, katalitik etki, koagülasyon-sedimentasyon, filtrasyon, iyon değiştirme, yumuşatma ve bekletme proseslerinin bir veya birkaçının birlikte uygulanmasıyla sağlanmaktadır. Organik madde ile bağlı olarak demir ve manganın bulunduğu ortamlarda havalandırma, kireç işlemi, çökeltme ve kum filtrasyonu gibi arıtma işlemleri kullanılmaktadır. Organik madde ile bileşik halde demir ve mangan ihtiva eden renkli ve bulanık yüzey sularında ise, havalandırma, koagülasyon ve kireç işlemi, çökeltme ve kum filtresi gibi arıtma işlemleri uygulanmaktadır.

Yeraltı sularında ve yüzeysel sularda yüksek konsantrasyonlarda demir ve mangan bulunması bunun da içme, kullanım ve endüstriyel açıdan çok büyük önem taşıması, demir ve mangan giderim yöntemlerinin daha verimli duruma gelmesini gerektirmektedir. Fe(II) ve Mn(II)'nin oksijenle oksidasyonu ve ardından çöktürülmesi çok uzun yıllardan beri uygulanmakta olmasına rağmen, Fe(OH)₃ ve MnO₂ yumaklarının katalitik etkisi ve bu katalitik etkinin kinetiği ancak son yıllarda yapılan sınırlı sayıdaki çalışmalarla incelenmeye başlanmıştır.

1.2.Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Yüksek konsantrasyonda demir ve mangan içeren su kaynaklarının içme amaçlı kullanımlarında sudan demir ve mangan giderimi önem kazanmaktadır. Bu amaçla İSKİ Kağıthane Çelebi Mehmet Han İçme Suyu Tasfiye Tesis simüle edilerek, tesisteki mevcut sistemle demir ve mangan gideriminin ne derece gerçekleştiği araştırılmıştır. Bu kapsamda çözünmüş oksijen(konsantrasyon ve yüzde olarak), bulanıklık ve sıcaklık değerleri tespit edilmiştir. Tesisin demir ve mangan giderme verimini artırmak için klor, potasyum permanganat gibi oksidantlar ilave edilerek, değerlendirmeler yapılmıştır. Çalışmalarda tesis ünitelerindeki bekleme süreleri esas alınmıştır.

Diğer bölümdeyse Ömerli barajının farklı derinliklerinden ve Muradiye, Orhaniye, Osmaniye İçme Suyu Tasfiye Tesislerinden alınan su numunelerinde demir ve mangan konsantrasyonları belirlenmiştir. Ömerli havzasının demir-mangan profili çıkarılarak, demir-mangan probleminin varlığı tespit edilmiştir.

Son olarak Ömerli ve Kağıthane İçme Suyu Tasfiye Tesislerinden alınan kullanılmış belirli ağırlıktaki filtre kumu numuneleri üzerinde birikmiş demir ve mangan miktarı belirlenmiştir.



2 . DOĞAL SULARDAKİ DEMİR ve MANGAN FORMLARI

2.1. Demir ve Manganın Doğada Bulunuşu

Demir ve mangan yeryüzü kabuğunda bol bulunan elementlerden ikisidir. Demir ve mangan tabiatta çözünmeyen (Fe^{3+} , Mn^{4+}) ve çözünen (Fe^{2+} , Mn^{2+}) hallerinin her iki şeklinde de bulunmaktadır. Genellikle yeraltı sularında bulunan iki değerlikli demir ve mangan oksijene maruz bırakıldıklarında okside olarak iki değerlikli demir üç değerlikli demire, iki değerlikli mangansa dört değerlikli mangana dönüşmektedir.

Demir ve mangan sularda bulunması istenmeyen maddelerdir. Suda çökeltiler ve renk oluşumuna sebep olurlar. Bunlar toprakta çözünmeyen oksitler şeklinde bulunurlar. Bu gibi topraklar, gölü oluşturan sular altında kaldıkları zaman, tabandaki bitkiler çürümeye başlayarak sudaki çözülmüş oksijeni kullanırlar. Böylece tabandaki sular tamamen oksijensiz kalarak, temas halinde bulundukları topraktaki oksitlerden oksijen alarak onları çözünebilen formlara çevirerek demir ve manganın suya karışmasına neden olurlar. Aynı olay kışın göllerin üzeri buz tabakasıyla kaplandığı zaman da meydana gelir. Havalanma olanağından yoksun kalan bu gibi göl ve göletlerden sağlanacak sular da demir ve mangan içerebilir. Yağmur suları toprağa nüfuz ederken geçiş yolu üzerindeki, çürümeye yüz tutan bitkilerle karşılaşır. Yağmur suyunun içindeki çözülmüş oksijen, bitkiler tarafından tüketilerek su oksijensiz kalmış olur. İşte bu su, temas ettiği oksitleri indirgeyerek, onları suda çözünebilecek iki değerlikli bileşikler haline getirir ve çözerek içine alır. Bu sularla beslenen akiferlerden sağlanan yeraltı suları da demir ve mangan içerir.

İçinde çözülmüş oksijen bulunmayan, buna karşılık CO_2 bulunan sularla temas eden demir ve mangan çözelti haline geçişi aşağıdaki formüllerle ifade edilmiştir. Bu reaksiyonlarda Fe(III) ve Mn(IV) oksitlerin, reaksiyonların sonucunda Fe(II) ve Mn(II) oksitler haline geçtiği, bunların da CO_2 ile birleşerek $\text{Fe(HCO}_3)_2$ ve $\text{Mn(HCO}_3)_2$ haline dönüştüğü görülmektedir.

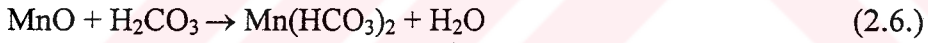
Göl ve barajlarda olduğu gibi kalın bir su kütlesi altında kalan bitkiler, çürümeleri sırasında, ihtiyaçları olan oksijeni, suda çözünmüş oksijen bulunmaması halinde, sudan temin edemeyip tabandaki Fe(III) ve Mn(IV) oksit yataklarından sağlamaktadırlar.



Bu oksijen bitkilerin karbonu ile birleşerek CO_2 'yi oluşturur.



CO_2 'de su ile birleşerek karbonik asidi meydana getirmektedir.



Demir ve mangan bikarbonat suda kolayca çözündüğünden su demirli ve manganlı hale geçmektedir.

Bu şekilde su kütlesinin alt kısmında oluşan, suda çözünebilir $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ ve $\text{Mn}(\text{HCO}_3)_2$ yoğunluk ve rüzgar akıntılarının etkisi ile suyun üst kısmına çıkarlar. Yüzeydeki O_2 ile birleşerek tekrar Fe(III) ve Mn(IV) oksit çözünemediğinden tekrar gölün dibine çökerler. Bu sebeple göl ve barajlarda, yüzeydeki sular az miktarda demir ve mangan içerirler. Göllerdeki demir ve mangan çevrimi oksidasyon (yükseltgenme) ve redüksiyon (indirgenme) proseslerinin önemli bir göstergesidir.

Yeraltı sularında demir ve manganın varlığı kaya ve minerallerden kaynaklanmakta olup; demir ve mangan genellikle bu metalleri içeren oksitler, sülfidler, karbonatlar ve silikatlardan gelir. Demir volkanik kayaların silikat minerallerinde bulunabileceği

gibi; magnetit (Fe_3O_4), hematit (Fe_2O_3) ve limonit ($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) gibi farklı oksit formlarda da olabilmektedir. Pirit (FeS_2) ve siderit (FeCO_3) gibi sülfür ve karbonat mineralleri de önemli demir kaynaklarıdır.

Tablo 2.1: Demir ve Mangan İçeren Mineraller

Formülasyon	Minerolojik İsim
$\text{Fe}_{0.95}\text{O}$	Wüstit
Fe_2O_3	Hematit
$2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	Limonit
Fe_3O_4	Magnetit
FeS	Troilit
FeS_2	Pirit
FeCO_3	Siderit
Fe_2SiO_4	Fayalit
FeOOH	Goethit
MnO	Manganosit
Mn_3O_4	Hausmannit
$\gamma\text{-MnOOH}$	Manganit
$\beta\text{-MnO}_2$	Piroluzit
MnCO_3	Rodoksit
MnS	Alabandit
MnSiO_3	Rodonit
Mn_2SiO_4	Tephroit

Manganın önemli bir miktarı metamorfik ve tortu kayalarda, çok az bir miktarı da volkanik kayalarda bulunmaktadır. Manganit (MnOOH), piroluzit (MnO_2) ve hausmannit (Mn_3O_4) gibi mangan oksitler toprak içerisinde birikmektedir. Doğal sulardaki mangan dengesi açısından bakıldığında rodoksit (MnCO_3) alabandit (MnS) göre daha önemlidir. Tablo 2.1’de demir ve mangan içeren minerallerin listesi verilmiştir.

Mangan içeren mineraller demir içeren minerallere göre daha nadir görülür. Yeraltı sularında da demir mangana göre daha bol miktarda bulunur. Mn(II) ’nin hidroksit ve

karbonat formları Fe(II)'ye nazaran oldukça çözünür formda olmasına rağmen; yeraltı sularında demir konsantrasyonu 10 mg/l'yi, mangan konsantrasyonu 2 mg/l'yi aşmamaktadır.

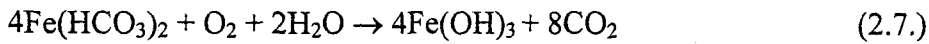
2.2. Doğal Sulardaki Demir Kaynakları

Demir, sularda aşağıdaki dört şekilden biri veya birkaçı halinde bulunmaktadır:

1. Asidik olmayan, berrak ve temiz yeraltı sularında demirbikarbonat şeklinde,
2. Asitli yüzeysel sularda, demirin bir kısmı veya hepsi çözünmüş demirsülfat halinde,
3. Fazlasıyla renkli sularda demir, organik (kolloid) halde,
4. Kırmızı sularda, demir genellikle çözünemeyip, asılı halde duran hidroksit tanecikleri şeklinde.

2.2.1. Demirbikarbonat

Sadece çözelti halde bulunabilen renksiz tuzlardır. Bu tuzları içeren sular, kaynaktan alındıkları anda oldukça berrak ve temizdir. Ancak, beklerken hava ile temas ettiğinde, önce hafif beyazımsı bir renk alır; bu renk bir süre sonra yavaş yavaş sarımsı ve kırmızımsı kahverengiye döner. Çünkü renksiz $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ oksijen ile temas edince, aşağıdaki denkleme göre, kahverengi pıhtılar halinde gözüken $\text{Fe}(\text{OH})_3$ oluşur.



Demirbikarbonat içeren sular kullanıldığında eşyalar üzerinde, banyo küvetlerinde ve duşlarda, benekler ve yol yol çizgiler halinde sarı ve kırmızımsı kahverengi lekeler meydana gelmektedir. Endüstride de pamuk, yün, ipek, tekstil, meşrubat ve kağıt sanayiinde mamul üretiminde demirbikarbonat içeren suların kullanımı mümkün olmamaktadır.

2.2.2.Demirsülfat

Demirsülfat, genellikle maden ocakları sularında; bazen de kuyu ve memba sularında bulunur. Böyle suların toplam demir içeriği 1-200 ppm arasında değişmektedir. Çok miktarda demirsülfat içeren sularda, genellikle bir miktarda manganosülfat bulunmaktadır. Böyle sulara, asitli sular da denir. Asitli sularda, demir hem çözünebilir bikarbonat ve sülfat hem de katı hidroksit hallerinde bulunmaktadır. Bu suların yüksek oranda asidite, sülfat, sertlik ve süspanse katı maddeye sahip oluşları nedeniyle arıtma maliyetleri oldukça yüksektir.

2.2.3.Kolloidal Demir

Kolloidal veya organik demir genellikle bazı yüzeysel sularda, nadiren de bazı derin olmayan kuyu sularında bulunmaktadır. Çok ender olarak derin kuyu sularında da görülmektedir. Organik demir içeren sular, daima belli bir renge sahip olduğu için bu sulara renkli sular da denmektedir. Yüzeysel suları, seyrek olarak 2,0 ppm'in üzerinde organik demir içerebilirler. Rengi çok keskin olan bazı az derin kuyu suları çok daha fazla demire sahip olabilirler.

2.2.4.Demirhidroksit

Demirhidroksit suda çok az çözünür ve miktarı daima 0.01 ppm'in altındadır. Bu nedenle, suda çökebilen pıhtılar halinde bulunmaktadır.

2.3.Doğal Sulardaki Mangan Kaynakları

Birçok su kaynağında mangan nadir bulunan bir kirletici olup, yeraltı sularında bulunan en genel hali manganbikarbonattır $[Mn(HCO_3)_2]$. Manganbikarbonat demirbikarbonata göre daha fazla çözünür formdadır. Manganbikarbonat çözelti halde bulunabilen renksiz tuzlardır. Bu tuzları içeren sular, kaynaktan alındıkları anda oldukça berrak ve temizdir. Ancak havayla temas ettiğinde kırmızı ve kahverengimsi siyah renk oluşumu gözlenir. Bu çökeleklerin oluşması pH= 5 civarında yavaş olup, pH=7'den büyük değerlerde reaksiyon oldukça hızlı gelişir.

Çok miktarda demirsülfat içeren asitli içeren asitli sulara önemli ölçüde mangansülfat bulunur. Mangansülfat bertarafını sağlamak için pH= 10 değeri sağlanmalıdır. Bazı yüzeysel sularla sığ kuyu suları organik veya kolloidal formdaki mangan içermektedir. Süspanse haldeki; çözünmeyen formdaki mangandioksit nadir görülmesine rağmen, mangandiokside oksidasyon demirhidrokside nazaran daha yüksek pH'lara ihtiyaç duyar.

2.4.Demir ve Manganın Zararları

Demir ve manganın sebep olduğu zararlar aşağıda sıralanmıştır:

1. İçme suyunda istenmeyen renk ve bulanıklığa sebep olurlar.
2. Demir ve mangan çamaşır, kumaş ve porselen eşya üzerinde lekeler bırakır. Demir kahverengimsi, mangansa gri-siyah leke yapmaktadır.
3. Su borularının cidarında biriken demir ve mangan, borunun çapını daraltarak yük kayıplarını artırır. Demir ve mangan içeren organik birikintiler, boru cidarından koparak suyu, kütle şeklinde siyaha boyayabilir. Bazı durumlarda da boru cidarları, demirin siyah magnetik oksit haline gelmesi yüzünden, iyice pürüzlü ve çukurlu hale gelir. Bu durumda suyun rengi değişmez, fakat yük kayıpları artar.
4. Klorlama sonucu demir, depo cidarlarında birikip zaman zaman da buralardan koparak pompa, vana, su saati ve orifis gibi elemanları tıkar.
5. Demir ve mangan bileşikleri, iyon değiştirici madde yatakları ile kum filtresi yataklarını kaplayarak kapasitelerini düşürür.
6. Suda çok az miktarda demir olması bile, demir bakterilerinin oluşup çoğalması için yeterlidir. Bu bakteriler; boru hatlarında, depolarda ve kuyularda birbirine yapışan saçaklı kütleler haline gelebilirler. Böylece, boruların kapasitesini düşürür, pompalarda tıkanma ve sıkışma gibi arızalara neden olurlar. Zaman zaman kopan kütleler vana, sayaç gibi aksamı tıkarlar. Çürüyen bu kütleler, kötü tat ve kokuya sebep olurlar.
7. Demir konsantrasyonu 1,0 mg/l' nin üzerindeyse suya madeni ve mürekkebinsi bir tat verir. Böyle sularla yapılan çay ve rakı gibi içkilerin rengi siyahlaşır. Demirle tannik asit birleşince mürekkep rengine bir su meydana geldiğinden çay içilmez hale gelir. Böyle sularla yapılan kahveler de çamur gibi bulanık görünümlü ve tatsız olurlar.

8. Demir ve manganın suda bulunması endüstri açısından çok önemlidir. Kağıt, tekstil, plastik, deri, buz, alkollü içkiler gibi sanayii kollarındaki ürünlerin rengini, görünüşünü ve tadını bozmaktadır. Bu nedenle, bu gibi endüstri ihtiyaçlarında kullanılan demir ve mangan miktarlarının, içme suyu standartlarının izin verdiği miktarların altında olması gerekir.
9. Uygun şartlar altında, sülfür bakterileri, sülfatları indirgeyerek H_2S oluşturmakta, bu da FeS gibi madensel sülfürlerin oluşumuna yol açmaktadır. FeS suda çözünerek hem kötü koku hem de siyah pıhtılar oluşturmakta, çelik ve diğer madenler üzerinde korozif etkiler yapmaktadır.
10. Demir, Ca^{2+} ve Mg^{2+} gibi suda sertliğe sebep olursa da, miktarı çok az olduğundan bu etkisi önemli sayılmayacak kadar azdır (Gölhan, Aksoğan, 1970).

2.5.Demir ve Mangan İçin İçme Suyu Standartları

İçme sularında demir ve mangan bulunmasının sağlık üzerine bilinen bir etkisi olmamakla birlikte, bu maddeler sularda renk şikayetlerine sebep olmaktadır. Amerikan Çevre Koruma Ajansı (EPA)'nın ikinci derece standartlarında; demir için 0.3 mg/l, mangan 0.05 mg/l verilmektedir. Teklif edilen bu değerler akut renk problemleri için geçerlidir. Bunlar kronik renk problemleri için efektif değildir. Amerika' daki araştırmacı ve su otoritelerinin çoğu renk problemleri demir seviyelerinin 0.1 mg/l' nin altında, mangan seviyelerinin de 0.015 mg/l' nin altında tutulması gerektiğini ileri sürmektedir. Demir ve mangan için belirlenmiş farklı içme suyu standartları Tablo 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2.2: Demir ve Mangan İçin İçme Suyu Standartları (mg/l)

MADDE mg/lt	Dünya Sağlık T. (WHO)		A.B.D.	Hollanda	Türkiye		
	Beynelmilel		Avrupa	USPHS	-	TS 266	
	Standart	Hedef	Standart	Hedef	Hedef	Standart	Hedef
Demir	1,0	0,1	0,1	0,3	0,05	1,00	0,30
Mangan	0,5	0,05	0,05	0,05	0,01	0,50	0,10

3 . DEMİR ve MANGAN BERTARAF YÖNTEMLERİ

3.1.Demir ve Mangan Bertarafının Tarihçesi

Demir ve mangan bertarafı su arıtım dünyasının son dönemlerdeki pratik çalışmalarından biridir. İlk demir bertaraf tesisi 1874 yılında Almanya Charlottenburg' da inşa edilmiştir. ABD'de bu işlevi gören ilk tesis 1893'de New Jersey Atlantic Highlands'de kurulmuştur. İlk arıtma tesisleri havalandırma ve filtrasyon üniteleriyle birlikte, yeraltı sularını arıtmak için kireç ilavesini içermektedir. Aynı metotların kullanımı halen günümüzde de devam etmektedir.

Demirle birlikte mangan giderimini kapsayan ilk arıtma tesisi Hollanda Zutphen'de 1889' da tamamlanmıştır. 1914 yılında Almanya Breslau'daki kuyu sularından alınan numunelerdeki mangan konsantrasyonunun 220 mg/l'ye, benzer şekilde demir konsantrasyonunun 440 mg/l'ye ulaşması nedeniyle demir-mangan bertarafına maliyet açısından gerçek anlamda yaklaşılması gerektiği kararına varılmıştır.

3.2.Demir ve Mangan Giderme Yöntemleri

İçme ve kullanma sularındaki demir ve manganın giderilmesi, esas itibariyle çözünebilen şekillerinin muhtelif usullerle oksitlenerek çözünemeyen şekillere dönüştürülmesi ve çöktürülmek suretiyle uzaklaştırılmasından ibarettir. Fe^{2+} oksitlenerek $Fe(OH)_3$ 'e, Mn^{2+} ise MnO_2 formuna yükseltgenerek ortamdan giderilir. Oksidasyon hızı; pH, alkalinite, organik madde muhtevası ve ortamda okside edici kimyevi madde olup olmamasına bağlıdır.

3.2.1.Demir ve Mangan Bikarbonat Giderimi

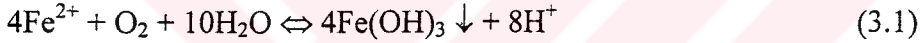
Demir bikarbonat çözelti içerisinde çözünür ve renksiz bir tuzdur. Demir bikarbonatın çözünürlüğü suyun serbest CO_2 içeriğinin artmasıyla orantılıdır.

Mangan, demir bikarbonatla aynı formda olmasına rağmen daha nadir görülen bir kirleticidir. Mangan bikarbonat, demir bikarbonata göre daha fazla çözünebilir.

Demir ve mangan içeren sularda pH yeterince yüksek değilse demir oksidasyonla giderilebilirken, manganın büyük bir kısmı çözeltide kalır. Mangan oksidasyonu için daha yüksek pH'lara ihtiyaç duyar. Demir ve mangan bikarbonat bertarafı için şu prosesler izlenebilir:

- **Havalandırma, Çöktürme ve Filtrasyon:** Havalandırmadan maksat Fe^{2+} 'nin çözünmeyen Fe^{3+} 'e dönüştürülmesidir. Suda sadece demir mevcutsa basit bir havalandırmayı müteakip doğrudan doğruya filtrasyon tatbik edilebilir. Havalandırmadan sonra 5-10 dakika bekleme süreli bir temas havuzundan sonra hızlı kum filtresinden geçirilmesi uygundur. Oksidasyona yardımcı olması için temas havuzundan (bekletme havuzu) önce klor ilave edilebilir.

Demirin O_2 ile oksidasyon denklemi;



Demirin oksidasyon hızı pH 7.5'dan daha büyük değerlerinde ve sıcaklığın artmasıyla yükselir. Demirin okside olan yüzdesi bekletme süresine bağlıdır. Bir fikir vermesi bakımından bekletme sürelerine bağlı olarak, okside olan yüzde Tablo 3.1'de verilmiştir.

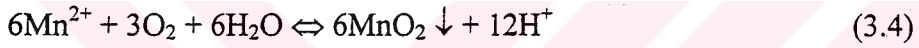
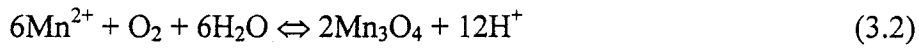
Havalandırılmış su, hızlı kum filtrelerinden geçirilerek oksidasyon sonucunda oluşan $Fe(OH)_3$ tutulur. Bekletme havuzunda okside olmayan bir kısım Fe^{2+} filtrede okside olur. Çünkü filtredeki oksidasyon hızı havuzdakinden daha büyüktür. Bu durum, kum daneciklerinin etrafını saran $Fe(OH)_3$ 'ün Fe^{2+} 'nin oksidasyonunda katalitik etki göstermesinden kaynaklanmaktadır.

Demir ve mangan gideriminde kullanılan kumun çapı 1-2 mm, yatak derinliği 1.5-3 m civarında alınmaktadır. Filtrasyon hızı $5-20 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{saat}$ arasında seçilebilir.

Tablo 3.1: Demirin Süreye Bağlı Olarak Oksidasyon Yüzdesi

Süre, dakika	Oksidasyon Yüzdesi
1	20
3	50
6	70
10	85

Manganın O₂ ile oksidasyon denklemi;



Manganın oksidasyon hızı pH'ya bağlıdır. Havuzlarda pH<8.6, kum filtrelerinde pH<7 civarında reaksiyon hızı hemen hemen sıfırdır. Demirde olduğu gibi manganın da filtredeki oksidasyon hızı, havuzdaki oksidasyon hızından büyüktür. Bu durum, Mn₃O₄'ün Mn²⁺'nin oksidasyonuna katalitik etkisi olmasından kaynaklanmaktadır. Bazı tesislerde bu husus dikkate alınarak, yatak malzemesi kok ile teşkil edilmiş temas filtreleri kullanılmaktadır.

- **İyon Değiştirme:** İyon değiştirme kolonlarında, Fe²⁺ ve Mn²⁺'nin giderilmesi mümkündür. Bu amaçla katyon değiştirici reçineler kullanılmaktadır. Reçineli katyon değiştiriciler veya zeolitler bünyelerindeki sodyumu verip bunun yerine sudaki demir ve mangan iyonlarını alırlar. Reaksiyonlar:

Sodyum devresinde zeolitler için;



Sodyum devresinde reçineli katyon değiştiriciler için;



Hidrojen devresindeki reçineli katyon değiştiriciler için



şeklinde yazılabilir.

3.2.2.Demir ve Mangan Sulfat Giderimi

Demir ve mangan sulfat içeren asitli sulardan demir ve mangan bertarafı havalandırma, nötralizasyon, çöktürme ve filtrasyon ünitelerini içerir. Serbest CO₂ içeriğinin bu su kaynaklarında yüksek olması sebebiyle nötralizasyon öncesi havalandırma işlemi tavsiye edilir. Nötralizasyon kireç veya kostik soda ile sağlanır, pH 8'in üzerine çıkarılır. Asitli sularda demir içeriğinin 25 ppm'den fazla olması durumunda yeterli derecede O₂ temini için ikinci bir havalandırma ünitesi önerilir. Demir ve mangan sulfat içeren asitli sularda iyi bir çökelme verimi sağlamak ve filtrelerin yükünü hafifletmek için yeterli bekleme süresi temin edilmelidir.

3.2.3.Kolloidal Demir ve Mangan Giderimi

Yüksek oranda renk içeren yüzeysel sularda demir ve mangan kolloidal veya organik formda olup; havalandırma, çöktürme ve filtrasyon prosesleriyle bertaraf edilmez. Organik formdaki demir ve mangan uzaklaştırılmasında genel metot Al₂(SO₄)₃ ile koagülasyon, çöktürme ve filtrasyondur.

3.2.4.Demirhidroksit ve Mangandioksit Giderimi

Demirhidroksit ve mangandioksidin çözünürlüğü düşük olduğundan filtrasyon prosesiyle giderilebilir. Suda demir ve manganın organik veya kolloidal formları bulunmuyorsa koagülant ilavesi gereksizdir. Ancak şaşırtıcı miktarda demirhidroksidin suda bulunması durumunda çözünür formdaki +2 değerlikli demirin varlığının araştırılması tavsiye edilir. Eğer suda çözünür formda +2 değerlikli demir ve mangan varsa filtrasyon öncesi havalandırma işlemi tatbik edilir.

Diğer giderme yöntemleri arasında geciktirme ve yeraltına suni besleme sayılabilir. Suyu demir ve manganın çökmesini geciktiren polifosfatlar verilir. Bu yöntemle oksitler çökmeden kullanıcıya gelir; boru, vana v.s. gibi ekipmana vereceği zarar önlenmiş olur.

Demir (II) içermeyen suların yeraltına suni olarak verilmesi, bilahare kuyularla çekilmesi suretiyle yeraltında demir ihtiva eden suların demirden arınmış olarak temini mümkün olmaktadır. Oksijene doymun olarak zemine verilen sudaki oksijen yeraltı suyunda bulunan iki değerlikli demiri oksitlemektedir.

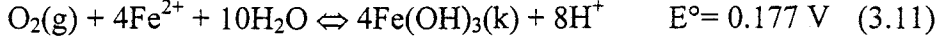
Son yıllarda yapılan sınırlı sayıdaki çalışmayla demir ve mangan gideriminde $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ve MnO_2 yumaklarının katalitik etkisi ve bu katalitik etkinin kinetiği incelenmektedir. Örneğin filtre yatağı mangandioksit çökeltileriyle kaplandığında düşük pH'larda bile mangan gideriminde artış gözlenmiştir.

3.3.Kimyasal Oksidasyon

Demir suda esas olarak Fe^{2+} iyonu ve organik ve inorganik kompleksler ile bağı halde bulunur. Fe^{2+} yeraltı sularında ve tabakalaşmış göl ve rezervuarların termoklin tabakası altından çekilen sularda bulunur.

Demirin özellikle küçük ölçeklerde iyon değişimiyle giderilebilmesine karşın arıtılmasında en yaygın yöntem kimyasal oksidasyondur. Kimyasal oksidasyon ile Fe^{3+} e oksitlenen ve $\text{Fe}(\text{OH})_3$ olarak çöken demir, yumaklaştırma-çökeltme ve filtrasyon ile sudan ayrılır. Demir oksidasyonunda çoğunlukla hava oksijeni kullanılır.

Hava oksijeni



Denklemleri uyarınca oksidasyonu gerçekleştirilebilir. Oksidasyonun ara reaksiyon ürünleri $\text{HO}_2\cdot$, $\text{HO}\cdot$ radikalleri ve H_2O_2 ile yürüdüğü tahmin edilmektedir.

Demirin oksijen ile oksidasyon kinetiği aşağıdaki şekilde verilir.

$$-\frac{d[\text{Fe(II)}]}{dt} = k[\text{Fe(II)}][\text{OH}^-]^2\text{Po}_2 \quad (3.12)$$

$$k = 1.5 \cdot 10^{13} \text{ l}^2 / \text{mol}^2\text{-atm-dak} \quad (3.13)$$

Reaksiyon pH 5'in altında pratik olarak gerçekleşmez, pH 5.5'a kadar son derece yavaştır. Oksidasyon hızı, hız ifadesinden de görüldüğü gibi pH' a bağlıdır. Hız artan pH ile artar.

pH'nın yükseltilmesi için suya kireç, soda gibi alkaliler ilave edilebilir. CO_2 ihtiva eden suların pH'sı havalandırma sonunda bir miktar artar. pH'yı daha fazla yükseltmek gerekilirse CaO , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, NaOH gibi alkalilerden birisi kullanılabilir.

pH 6.9 ve 7.2' de Po_2 0.2 atm, 20°C ve bikarbonatla tamponlanmış sularda reaksiyonun % 90'ının tamamlanması için gerekli süre sırasıyla 43 ve 8 dakikadır. Reaksiyon hızı Cu^{2+} , HPO_4^{2-} , H_3SiO_4 gibi katalizörlerle artırılabilir. Su arıtımında, bazen bakır sülfat kullanılmakla birlikte, katalizör kullanımı sınırlıdır. Reaksiyonda oluşan demir III hidroksit bir heterojen kataliz fonksiyonu görür. Bu nedenle çökelti geri devri yaptırılabilir. Diğer taraftan demir III ile kompleks yapan maddeler de reaksiyon hızını artırır.

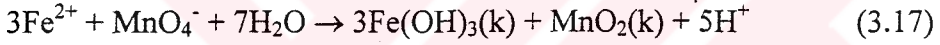
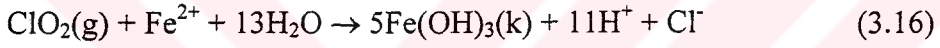
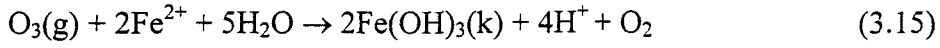
Yüksek alkalinite içeren sularda $\text{FeCO}_3(\text{k})$ oluşumu demirin oksidasyonunu engelleyebilir. Sularda bulunan çözünmüş silis (H_3SiO_4) demir oksidasyonuna katalitik etki yapar. Yüksek silis Fe^{3+} iyonlarını kompleks olarak bağlar ve çözeltide tutar. Sularda yüksek konsantrasyonda bulunan humik ve tannik asitler Fe^{2+} oksidasyonunu güçleştirir. Reaksiyon hızı diğer koşullarda değişmediği halde

sıcaklıkla artar. bu artış her 15°C' de bir yaklaşık iki katdır. Reaksiyon hızı 0.21 atm oksijen kısmi basıncında

$$\frac{d[\text{Fe}^{2+}]}{dt} = - \frac{K'}{[\text{H}^+]} [\text{Fe}^{2+}] \quad (K' = 1.68 \cdot 10^{-15}, 20^\circ\text{C}) \quad (3.14)$$

olarak ifade edilebilir.

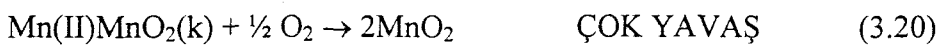
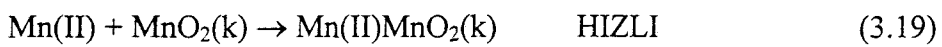
Hava oksijeni dışında ozon, klor dioksit, klor ve potasyum permanganat FeII' yi oksitler. Bu maddeler de uygulamada kullanılmaktadır. Oksidasyon denklemleri aşağıda verilmiştir.



Mangan sularda başlıca Mn^{2+} iyonu olarak bulunur.

Mangan giderilmesinde mangan zeolit ile iyon değişimi küçük çaplı uygulamalarda kullanılabilir. Bunun dışında yaygın olarak kullanılan proses kimyasal oksidasyon ile MnO_2 'ye oksitlemek ve MnO_2 'nin koagülasyon-çökeltme ve filtrasyonla giderimidir. MnO_2 'nin kollodial yapısı nedeniyle sadece filtrasyonla uzaklaştırılması zordur.

Mangan (II) iyonunun hava ile oksidasyonu demire göre daha karmaşıktır. Oksidasyon bir otokatalizi içeren çok adımlı reaksiyon şeklindedir. Aşağıda verilen denklemlerden de görüldüğü gibi MnO_2 oluşukça reaksiyon hızı artar.



Reaksiyon hızı sabit basınçta

$$- \frac{d[Mn^{2+}]}{dt} = k_1[Mn^{2+}] + k_2[Mn^{2+}] [MnO_2] \quad (3.21)$$

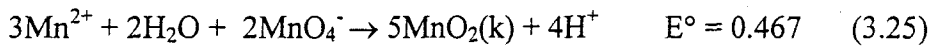
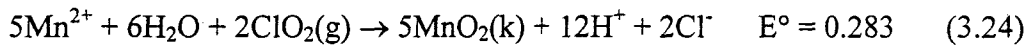
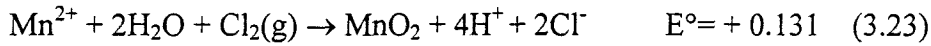
denklemini ile verilebilir. Reaksiyon hızı demire benzer şekilde pH'a da bağlıdır. Aynı zamanda oksijenin kısmi basıncına da bağlıdır. Bu bağıllık

$$k_2 = k_3 [OH]^2 P_{O_2} \quad (3.22)$$

ile tanımlanır. Burada k_3 bir orantı katsayısıdır.

Manganın oksidasyon hızı demire göre çok düşük olup ancak yüksek pH'larda makul değerler alır. Örneğin pH 9.5'da 1 atm O_2 kısmi basıncında ve 25°C'da reaksiyonun tamamlanması 50 dakika alır. Bu nedenle yalnızca havalandırma ile mangan gidermesi yapılmaz. Ancak yüksek pH kullanılan kireç-soda gibi işlemler halinde havalandırma ile mangan giderilmesi pratik olur. Bu nedenle mangan giderilmesi ancak pH 8.5 üstünde veya daha çok klor, potasyum permanganat gibi daha kuvvetli oksidasyon vasıtaları kullanılarak gerçekleştirilir.

Klorun oksidasyonu pH 8'in üstünde hızla gerçekleşir. pH 8'in altında saatler mertebesinde süre alır. Ancak mangan suda organik madde ile bağlantılı klorla oksidasyon tesirli olmamaktadır. Potasyum permanganat ve klor dioksitle oksidasyon süratle cereyan eder. Reaksiyon denklemleri aşağıda verilmiştir.



Potasyum permanganat için pH 5-9 arasında reaksiyon yeterli hızda yürür. pH 7'den büyük değerleri için reaksiyon süresi 1 dakikadan daha azdır. Klor dioksit için optimum pH 7.2-8.3 olarak verilmektedir.

Tablo 3.2: Demir ve Mangan Oksidasyonunda Oksidant İhtiyaçları

KİMYASAL MADDE	1 mg Fe ²⁺ ,yi okside etmek için gerekli doz	1 mg Mn ²⁺ ,yi okside etmek için gerekli doz
O ₂	0.14 mg	0.29 mg
Cl ₂	0.62 mg	1.30 mg
Ca(OCl) ₂	0.64 mg	1.30 mg
NaOCl	0.67 mg	1.36 mg
ClO ₂	1.21 mg	2.45 mg
KMnO ₄	0.91 mg	1.91 mg

Ozon, bilhassa demire göre oksidasyonu daha zor olan manganın okside edilmesinde çok tesirlidir. Ozonla Mn²⁺'nin oksidasyon hızı pH'ya daha az bağlıdır. Nötr veya biraz asit sularda dahi ozon manganın oksidasyonunda daha iyi netice vermektedir.

Ferri demir, ozonla kolayca okside edilebilir.



Bu reaksiyon mg Fe²⁺ başına 0.43 mg O₃ tüketildiğini göstermektedir. Fe²⁺, O₃ ayrıştırma başlatıcısı olduğundan reaksiyon elektronların transferi ile ilerleyecektir.

Bu reaksiyon için mekanizma;



2.reaksiyon her zaman baskın değildir ve O_3^- ile direkt bir Fe^{2+} oksidasyonu mümkündür. Böylece;



Manganın ozonla oksidasyon reaksiyonu aşağıdaki formdadır;



Manganı gidermek, demirden daha zordur. Ozonla manganın oksidasyonu, diğer oksidantlara göre daha az oranda pH'a bağlıdır. Ozon, düşük pH'larda yüksek pH'lara göre daha fazla kinetik avantajlara sahiptir.

Humik maddeler, manganla ozon için rekabete girebilirler. Bu yüzden fazla stokiometrik dozlar gerekebilir. Bunun için organik maddelerin giderilmesine öncelik verilmelidir.

Yüksek oranda demir, mangan, fulvik asit ve humik asitler içeren sular üzerinde yapılan laboratuvar çalışmalarında, sabit bir alkalinite (150 mg $CaCO_3/l$) ve sabit bir Ozon/DOC uygulamasında arıtmadan sonra okside edilmemiş mangan artığının organik karbon arttıkça arttığını göstermektedir. Çalışmada kullanılan suyun pH'ı 8.5, mangan konsantrasyonu 0.25 mg/l civarında olduğunda, 0.3 mg O_3/mgC dozlaması filtre edilmiş suda 0.03 mg/l mangan artığı yaratmıştır.

Bikarbonatlar, ozonun radikal türlere dönmesini engeller ve daha fazla ozonun talep edilmesine neden olurlar. Mesela, manganın %75'lik oksidasyonu için gereken fazla ozon dozu (Knocke, 1989), alkalinite ile ters orantılıdır.

50 mg $CaCO_3/l$ alkalinite $\rightarrow$ 0.7 mg O_3/mgC ozon

200 mg $CaCO_3/l$ alkalinite $\rightarrow$ 0.2 mg O_3/mgC ozon

Mangan bertarafında ozon verimini ıslah için ara safhada rekarbonizasyon gerekmektedir.

4 . DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1.Deneysel Çalışmanın Kapsamı

Deneysel çalışmaların I. Aşamasında İSKİ Kağıthane Çelebi Mehmet Han İçme Suyu Tasfiye Tesisi simüle edilmiştir. Bu kapsamda;

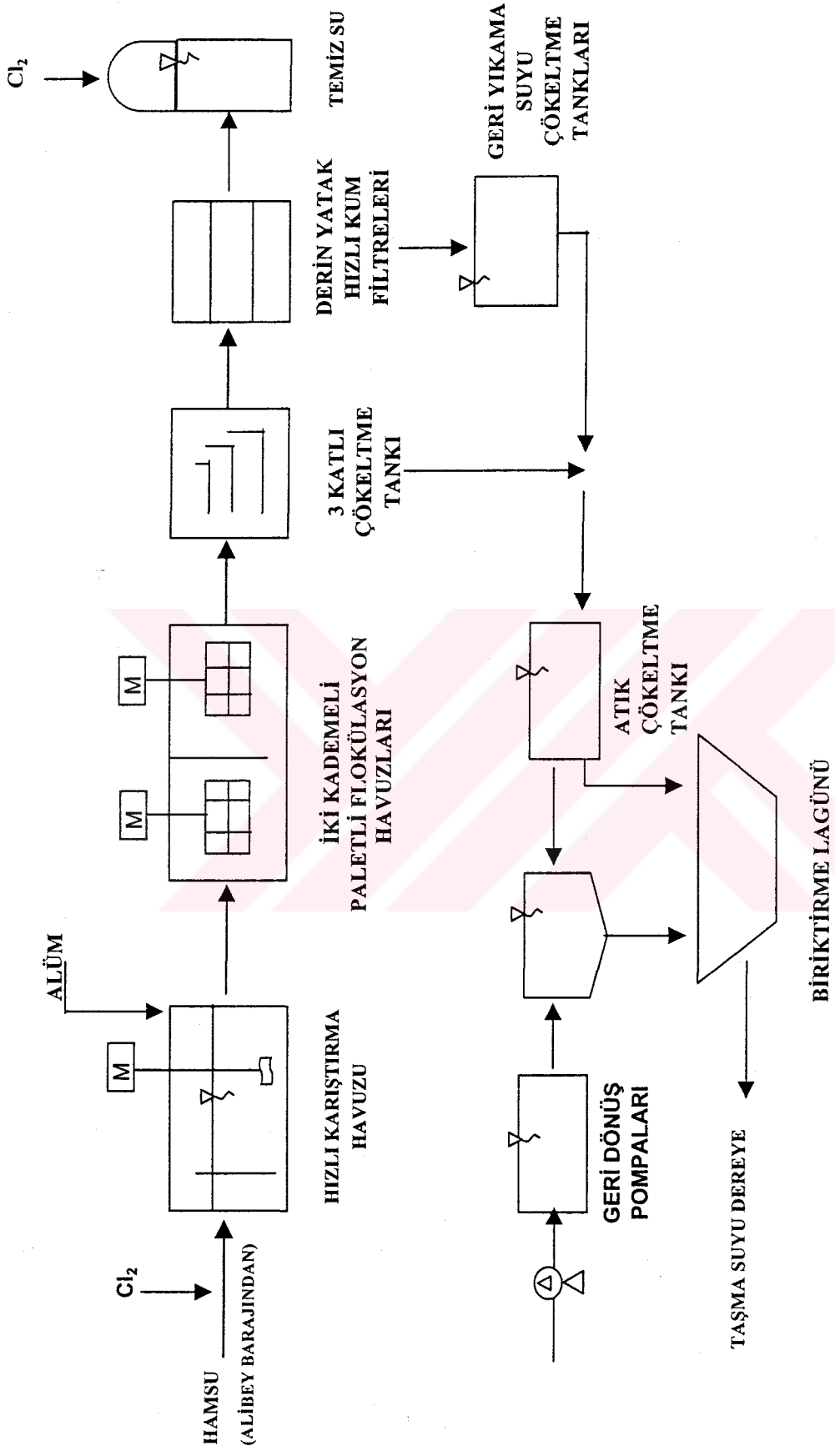
- a). Tesisteki mevcut sistemle demir ve mangan bertarafı,
- b). Tesiste klorun oksidant olarak kullanılması durumunda demir ve mangan bertarafı,
- c). Tesiste potasyum permanganatın oksidant olarak kullanılması durumunda demir ve mangan bertarafı konuları incelenmiştir.

II. Aşamadaysa Ömerli barajıyla Osmaniye, Orhaniye, Muradiye ve Kağıthane Çelebi Mehmet Han İçme Suyu Tasfiye tesislerinden elde edilen demir ve mangan profillerine yer verilmiştir.

Son olarak Kağıthane Çelebi Mehmet Han ve Ömerli Orhaniye İçme Suyu Tasfiye Tesislerinden alınan kullanılmış filtre kumu numuneleri üzerinde birikmiş olan demir ve mangan miktarları tespit edilmiştir.

4.2.Kullanılan Düzenek ve Yöntemler

Deneysel çalışmaların I. aşamasına esas teşkil eden Kağıthane Çelebi Mehmet Han İçme Suyu Tasfiye Tesisinin akım şeması Şekil 4.1.'de ve tesis ünitelerinin boyutlandırma parametreleri Tablo 4.1'de verilmiştir. Bu sistem baz alınarak oluşturulan simülasyon düzeneği 1 Litrelik 6 adet jar test kabı, karıştırıcı ve PVC'den imal edilmiş filtre kolonunu içermektedir. Filtre kolonunun dip tarafında numune alımını sağlamak amacıyla bir hazne ve musluk bulunmaktadır. Hazne ile borunun birleştiği noktaya tesiste kullanılan nozullardan yerleştirilmiştir. Üst tarafta yaklaşık



ŞEKİL 4.1:KAĞITHANE ÇELEBİ MEHMET HAN İÇME SUYU TAŞIYIYE TESİSİ AKIM ŞEMASI

Tablo 4.1: Kağıthane Çelebi Mehmet Han İçme Suyu Tasfiye Tesisi Boyutlandırma Parametreleri

ÜNİTELER	ÖZELLİKLERİ
HIZLI KARIŞTIRMA ÜNİTESİ	2 ADET ALAN = $7.5 \times 7.5 \text{ M}^2$ HACİM = 147 M^3
YAVAŞ KARIŞTIRMA ÜNİTESİ	16 ADET ALAN = $7.5 \times 7.5 \text{ M}^2$ HACİM = 471 M^3
ÇÖKTÜRME HAVUZLARI	36 ADET 1.KAT ALAN = $10 \times 27.75 \text{ M}^2$ 2.KAT ALAN = $10 \times 30.75 \text{ M}^2$ 3.KAT ALAN = $10 \times 33.75 \text{ M}^2$ H = 2.8 M
FİLTRELER	20 ADET ALAN = 108 M^2 $V_{\text{ort}} = 6 \text{ m/saat}$ $V_{\text{max}} = 12 \text{ m/saat}$
KULLANILAN KİMYASAL MADDELER	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ Cl_2
TESİSİN MAKSİMUM DEBİSİ $Q_{\text{max}} = 450000 \text{ m}^3/\text{gün}$	

15 cm yüksekliğinde çakıl ve 1 m yüksekliğinde tesiste kullanılan 0.8-1.25 mm dane çaplı kum bulunmaktadır. Deney düzeneğinin fotoğrafları Şekil 4.2 ve 4.3’de verilmiştir. Deneylerde Alibey barajı ve Terkos gölünden gelen hamsu kullanılmış olup, demir ve mangan su numunelerine sonradan ilave edilmiştir.

II. Aşamadaysa Ömerli Barajıyla Osmaniye, Orhaniye, Muradiye ve Kağıthane Çelebi Mehmet Han İçme Suyu Tasfiye Tesislerinden alınan su numunelerinde AAS (Atomic Absorption Spectrometric Method)ve ICP(Inductively Coupled Plasma Method) cihazları kullanılarak demir ve mangan tayinleri yapılmıştır. Osmaniye, Orhaniye ve Muradiye İçme Suyu Tasfiye Tesislerinin akım şemaları sırasıyla Şekil (B.1., C.1., D.1.)’de verilmiştir.

Son deneysel çalışmada kullarılmış filtre kumu seyreltilmiş nitrik asitte çözölerek, kum numunesi üzerinde biriken demir ve mangan miktarı AAS(Atomic Absorption Spectrometric Method) ve ICP(Inductively Coupled Plasma Method) tespit edilmiştir.

4.2.1. Analiz Yöntemleri

Kağıthane Çelebi Mehmet Han İçme Suyu Tasfiye Tesisinde toplam demir tayini için yapılan deneylerde standart metotlarda verilen fenantrolin yöntemi kullanılırken, diğer deneylerdeki toplam demir ve mangan tayinleri AAS(Atomic Absorption Spectrometric Method)’de veya ICP(Inductively Coupled Plasma Method)’de yapılmıştır.

Kağıthane ve Ömerli’deki tasfiye tesislerinden alınan kullarılmış filtre kumu numunesi etüvde bekletilip desikatörde oda sıcaklığına getirilmiştir. Sabit tartıma gelen numuneden 100 g tartılıp, seyreltilmiş nitrik asitte çözölmüştür. Kum üzerinde birikmiş olan demir ve manganın tamamı çözeltiye geçtiğinde, filtre kumu yıkanarak alınan süzöntü suyunda demir ve mangan tayini AAS(Atomic Absorption Spectrometric Method)’de yapılmıştır.



Şekil 4.2: Deney Düzenekinin Fotoğrafi



Şekil 4.3: Deney Düzenekinin Fotoğrafi

4.2.2. Toplam Demir Tayini (Fenantrolin Yöntemi)

- % 0.00005' den daha az demir içeren derişik HCl
- Hidroksilamin Çözeltisi: 10 g $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$, 100 ml distile suda çözölür. Birkaç ay için kararlıdır.
- Amonyum Asetat Tampon Çözeltisi: 250 g $\text{NH}_4\text{CH}_3\text{COO}$, 150 ml distile suda çözölür. 700 ml konsantre asetik asit yavaş yavaş ilave edilerek litreye tamamlanır.
- Sodyum Asetat Çözeltisi: 200 g $\text{NaCH}_3\text{COO}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$, 800 ml distile suda çözölür.
- Fenantrolin Çözeltisi: 100 mg 1,10-fenantrolin monohidrat ($\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2\text{H}_2\text{O}$) 100 ml distile suda karıştırılır ve 80 C' ye ısıtılarak çözölür. Kaynatma yapılmaz. Eğer çözelti kararırrsa atılmalıdır. Distile suya 2 damla konsantre HCl ilave edilirse ısıtmaya gerek yoktur.
- Stok Demir Çözeltisi: 200 ml derişik H_2SO_4 50 ml distile suya yavaşça ilave edilir. 1.404 g $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ hazırlanan karışıma eklenerek çözölür. Bu çözeltide pembe renk elde edilene kadar damla damla 0.1 N KMnO_4 ilave edilir. Distile suyla litreye tamamlanır ve karıştırılır. Bu çözeltinin 1 ml'si 200 μg demir içerir.
- Standart Demir Çözeltisi: Günlük hazırlanır. 500 ml stok çözeltisinden alınır, 1 litrelik balonjojeye konur ve distile suyla litreye tamamlanır. Bu çözeltinin 1ml'si 100 μg demir içerir.

Tablo 4.2: Işık Yolu Seçimi

Son Hacim (50ml) Fe, μg	Son Hacim (100ml) Fe, μg	Işık Yolu Cm
50-200	100-400	1
25-100	50-200	2
10-40	20-80	5
5-20	10-40	10

4.3. Deneyin Yapılışı

Numune iyice karıştırılır. 50 ml numune 125 ml'lik erlene konur. Eğer numune 2 mg/l' den fazla demir içeriyorsa daha küçük hacimde alınır ve 50 ml'ye seyreltilir. 2 ml derişik HCl ve 1 ml $\text{NH}_2\text{OH}.\text{HCl}$ çözeltisi ilave edilir. Birkaç tane cam boncuk konarak kaynatma noktasına kadar ısıtılır. Hacim 15-20 ml oluncaya kadar kaynatmaya devam edilir. Böylece demirin çözülmesi sağlanmış olur. Numune oda sıcaklığına kadar soğutulur ve 100 ml balonjojeye boşaltılır. 10 ml $\text{NH}_4\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_3$ tampon çözeltisi ve 4 ml fenantrolin çözeltisi ilave edilerek işaretli yere kadar distile su ile seyreltilir. Maksimum rengin gelişmesi için en az 10-15 dakika bekletilir ve 510 nm' de elektrospektrofotometreden absorbens değeri ölçülür.

Fotometrik ölçümlerde 510 nm'de uygun ışık yolunun seçimi için Tablo 4.2'deki değerler kullanılır.

5 . DENEYSEL ÇALIŞMALARIN SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1.Deneysel Çalışmaların Özetlenmesi

Deneysel çalışmalarla; İSKİ Ömerli Havzasında mevcut içme suyu tasfiye tesislerinin (Muradiye, Orhaniye, Osmaniye) demir-mangan bertarafı ve Ömerli barajının yılın değişik aylarında (01.08.2000-22.02.2001 tarihleri arasında) farklı derinlikleri (0-59 m.) için demir-mangan konsantrasyonları açısından durumları belirlenmiştir. Ayrıca İSKİ' de mevcut içme suyu tasfiye tesislerinde demir-mangan bertarafının ne derece gerçekleştiğini belirlemek amacıyla Kağıthane Çelebi Mehmet Han İçme Suyu Tasfiye Tesis simüle edilmiştir.

Bu nedenle;

1. İSKİ Kağıthane Çelebi Mehmet Han İçme Suyu Tasfiye Tesisinin simüle edilmesi amacıyla yapılan jar testlerden alınan su numunelerinde
2. Ömerli Havzası içerisinde bulunan Ömerli barajıyla; Orhaniye, Muradiye ve Osmaniye İçme Suyu Tasfiye Tesislerinden alınan su numunelerinde
3. Kağıthane ve Ömerli İçme Suyu Tasfiye Tesislerinde kullanılmış olan filtre kumu numuneleri üzerinde biriken

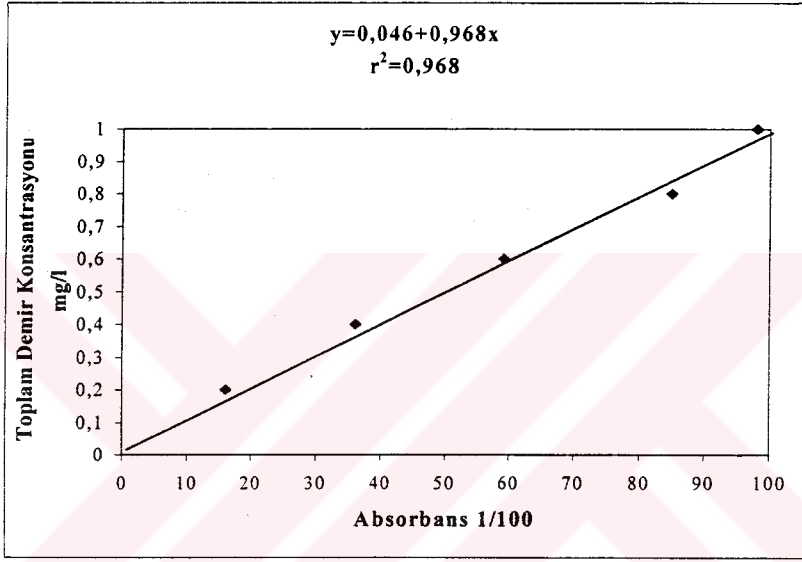
toplam demir ve mangan konsantrasyonları tespit edilmiştir.

5.2.Kağıthane Çelebi Mehmet Han İçme Suyu Tasfiye Tesis Simulasyon Çalışması

Kağıthane Çelebi Mehmet Han İçme Suyu Tasfiye Tesisinin simülasyonu için yapılan deneylerde toplam demir analizi standart metotlarda geçen Fenantrolin Yöntemiyle yapılmış olup, bu yöntem için kalibrasyon eğrisi hazırlanmıştır.

5.2.1. Kalibrasyon Eğrisinin Hazırlanması ve Deneysel Çalışmalar

Konsantrasyon aralığı 0-100 µg Fe / 100 ml çözelti olacak şekilde seçilir. Standart demir çözeltisinden 0-2-4-6-8 ve 10 ml alınır ve 100 ml balonjojeye konur. Her bir balonjojeye 1 ml NH₂OH.HCl (Hidroksilamin) çözeltisi ve 1 ml sodyum asetat çözeltisi ilave edilir. Daha sonra 75 ml distile su, 10 ml fenantrolin çözeltisi eklenir ve distile suyla 100 ml'ye tamamlanır. İyice karıştırılır. 10 dakika bekletilir ve herbir çözeltinin absorbansı 510 nm' de elektrospektrofotometrede okunur. µg Fe konsantrasyonlarına karşı okunan absorbans değerleri yardımı ile grafik çizilir.



Şekil 5.1: 5 cm Işık Yolu İçin Kalibrasyon Eğrisi

Kağıthane Çelebi Mehmet Han İçme Suyu Tasfiye Tesisi hızlı karıştırma, yavaş karıştırma, çöktürme havuzları ve filtrasyon ünitesinden oluşmaktadır. Tablo 4.1' de verilmiş olan boyutlandırma parametreleri esas alınarak deneyler gerçekleştirilmiştir.

Deneylerde 6 adet 1 litrelik jar test kabı, karıştırıcı ve 2 m yüksekliğindeki PVC boru filtre kolonu olarak kullanılmıştır. Alibey Barajı ve Terkos gölünden tesise gelen hamsu kullanılarak 30 mg/l dozunda Al₂(SO₄)₃ ilave edilerek, 1.5 dakika 150-160 devir/dakika pervane devriyle hızlı karıştırma işlemi yapılmıştır. Hızlı karıştırmayı müteakip 25-30 devir/dakika pervane devriyle 15 dakika süresince yavaş karıştırma uygulanmıştır. Yavaş karıştırmadan sonra su yaklaşık olarak 1,5 saat süreyle dinlendirildikten sonra filtre kolonundan geçirilmiştir.

Toplam demir analizleri için hamsu, dekantör çıkışı ve filtre çıkışından su numuneleri alınmıştır.

İlk etapta tesisteki demir profilini çıkarmak ve kalibrasyon eğrisini doğrulamak için jar testler yapılmıştır. Bu amaçla yapılan 1, 2, 3 ve 4 numaralı deneylerde kimyasal madde olarak hızlı karıştırma ünitesinde 30 mg/l $Al_2(SO_4)_3$ ilave edilmiştir. Tesisteki proses aynen takip edilerek, elde edilen deney sonuçları Tablo 5.1.'de verilmiştir.

Tablo 5.1: ÇMH İçme Suyu Tasfiye Tesisi Demir Konsantrasyonları(Jar Test)

DENEY NO	HAMSU(mg/l)	DEK.ÇIK.(mg/l)	FİLT.ÇIK.(mg/l)
DENEY 1	0.1	0.08	0.07
DENEY 2	0.09	0.02	0.015
DENEY 3	0.12	0.10	0.08
DENEY 4	0.12	0.04	0.02

Tablo 5.1.'den de görülebileceği gibi Kağıthane Çelebi Mehmet Han İçme Suyu Tasfiye Tesisinde jar test yapılan hamsuda ve filtre çıkış suyunda demir konsantrasyonu standartlara göre düşüktür.

Hamsudaki demir konsantrasyonun az olması nedeniyle hamsuya bir miktar demir verilmiştir. Bu amaçla $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ (Mohr Tuzu) saf suda çözülmüştür. 392 g Mohr tuzunun 56 g demir içerdiğinden yola çıkılarak 1000 ml suda 0.5 g demir bulunan çözeltinin hazırlanabilmesi için 3.5 g Mohr tuzunun 1000 ml saf suda çözülmesi gerekir. Hazırlanan bu çözeltinin 1 ml'si 0.5 mg demir içerir. Bu çözelti günlük hazırlanır.

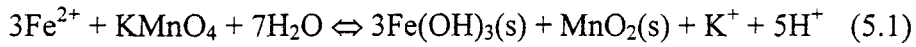
Hamsuya hazırlanan Mohr tuzu çözeltisinden 1 ve 2 ml ilave edilip, 30 mg/l $Al_2(SO_4)_3$ dozlaması yapılarak 5, 6 ve 7 numaralı deneyler yapılmıştır. Elde edilen jar test sonuçları Tablo 5.2.'de verilmiştir.

Aynı deneyler klor ve potasyum permanganatın oksidant olarak kullanılması durumları için tekrarlanmıştır. Klor dozlaması için % 13 oranında aktif klor içeren sodyumhipoklorit kullanılmıştır. Orijinal sodyumhipoklorit çözeltisinden 10 ml alınıp saf suyla 250 ml'ye seyreltildiğinde, hazırlanan bu çözeltinin 1 ml'si 5.2 mg/l klor içermektedir.

Tablo 5.2: Hamsuya Mohr Tuzu İlave Edildiğinde Demir Konsantrasyonları

DENEY NO	HAM SU(mg/l)	DEK.ÇIK.(mg/l)	FİLT.ÇIK.(mg/l)
DENEY 5	0.37	0.28	0.21
DENEY 6	0.28	0.22	0.20
DENEY 7	0.71	0.37	0.08

Benzer şekilde potasyum permanganat için hesaplama yapıldığında,



denkleminde 0.5 mg demiri okside etmek için 0.47 mg potasyum permanganata gerek olduğu çıkarılır. Organik maddelerin de ihtiyaç duyacağı potasyum permanganat miktarı dikkate alınarak 0.5 g potasyum permanganat 1 litre saf suda çözüldüğünde oluşan çözeltinin 1 ml'si 0.5 mg potasyum permanganat içerir. Bu amaçla yapılan deney 8, 9 ve 10'da; hazırlanan çözeltilerden sırasıyla 1 ml(5.2 mg/l) klor, 1.5 ml(7.8 mg/l) klor ve 1 ml(0.5 mg/l) potasyum permanganat eklenmiştir. Elde edilen deneysel veriler Tablo 5.3'de verilmiştir.

Tablo 5.3: Hamsuya Mohr Tuzuyla Cl_2 (5.2 mg/l,7.8 mg/l) veya KMnO_4 (0.5 mg/l) oksidantları eklendiğinde demir konsantrasyonları

DENEY NO	HAMSU(mg/l)	DEK.ÇIK.(mg/l)	FİLT.ÇIK(mg/l)
DENEY 8	0.37	0.25	0.11
DENEY 9	0.37	0.10	0.01
DENEY 10	0.28	0.13	0.02

Ham suya 3 mg/l olacak şekilde, hazırlanan Mohr çözeltisinden 6 ml verilerek deneyler tekrarlanmıştır. 11.deneyde 30 mg/l $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ dozlaması yapılarak ham su, dekantör ve filtre çıkışlarında sudaki demir miktarı tespit edilmiştir. 12.deneyde oksidasyonu sağlamak amacıyla 7.8 mg/l Cl_2 dozlaması yapılmıştır. Daha önce yapılan deneylerden ham sudaki organik maddelerin ihtiyacı olan Cl_2 miktarı yaklaşık 7 mg/l olarak tayin edilmiştir. 13.deneyde oksidant olarak 3 mg/l KMnO_4

ilave edilmiştir. Bu deneyler serisinde çözünmüş oksijen (konsantrasyon ve yüzde olarak), sıcaklık, pH ve bulanıklık değerleri tayin edilmiş olup, elde edilen değerler Tablo 5.4., 5.5., 5.6.'da verilmiştir. Sudaki çözünmüş oksijen miktarı oksijen probu kullanılarak belirlenmiştir. Kağıthane Çelebi Mehmet Han İçme Suyu Tasfiye Tesisi için çözünmüş oksijen profili Tablo 5.7.'de gösterilmiştir.

Tablo 5.4: Hamsuya Mohr Tuzu eklenip, oksidant ilave edilmediğinde demir konsantrasyonu ve çözünmüş oksijen profili

DENEY 11	Demir mg/l	Ç.O mg/l	Ç.O %	T °C	PH	Bulanıklık NTU
HAM SU	2.86	6.44	68	17.6	7.60	6.2
DEK.ÇIK.	2.47	5.70	61.4	18.5	7.04	3.02
FİLT.ÇIK.	2.08	5.35	58.3	19.01	7.36	2.4

Tablo 5.5: Mohr Tuzuyla Birlikte 7.8 mg/l Cl₂ dozlaması yapıldığında demir konsantrasyonu ve çözünmüş oksijen profili

DENEY 12	Demir mg/l	Ç.O mg/l	Ç.O %	T °C	pH	Bulanıklık NTU
HAM SU	2.86	6.44	68	17.6	7.60	6.2
DEK.ÇIK.	2.27	5.08	55.1	18.8	7.13	2.64
FİLT.ÇIK.	1.10	4.38	48.3	19.7	7.50	1.50

Tablo 5.6: Mohr Tuzuyla 3mg/l KMnO₄ ilave edildiğinde demir konsantrasyonu ve çözünmüş oksijen profili

DENEY 13	Demir mg/l	Ç.O mg/l	Ç.O %	T °C	pH	Bulanıklık NTU
HAM SU	2.86	6.44	68	17.6	7.60	6.2
DEK.ÇIK.	2.35	4.95	53.2	18.4	7.16	1.75
FİLT.ÇIK.	0.97	4.50	49.6	19.6	7.27	1.4

Tablo 5.7: Çelebi Mehmet Han İçme Suyu Tasfiye Tesisi Çözünmüş Oksijen Profili

ÇMH	Ç.O. (mg/l)	Ç.O. %	t °C
HAM SU	4.80	50.6	17.5
DEK.ÇIK.	5.57	55.8	15
FİLT.ÇIK.	5.09	52	16
TEMİZ SU(Cl ₂)	5.71	57.2	15

Tablo 5.4., 5.5. ve 5.6.'dan de net bir şekilde görülebileceği gibi yüksek dozda demir girişi olduğunda Kağıthane Çelebi Mehmet Han İçme Suyu Tasfiye Tesisindeki mevcut sistemle tesis çıkışında demir miktarının standartların altına düşürülmesi mümkün olmamaktadır. Bu duruma çözüm üretmek amacıyla, aynı deneyler ilave edilen kimyasal madde dozları sabit tutularak tekrarlanmış olup, su çöktürme havuzundan sonra bir ara havuzda 1 saat dinlendirilip filtre kolonundan geçirilmiştir. 14.Deneyde oksidant olarak 7.8 mg/l Cl₂, 15.deneydeyse 3mg/l KMnO₄ ilave edilmiştir. Deney sonuçları Tablo 5.8.'de verilmiştir.

Tablo 5.8: Hamsuya Mohr Tuzuyla Cl₂(7.8 mg/l) veya KMnO₄(3 mg/l) oksidantları ilave edildiğinde demir konsantrasyonları

DEMİR MG/L	HAM SU	DEK.ÇIK	ARA HAVUZ	FİLT. ÇIK.
DENEY 14	2.90	1.00	0.60	0.28
DENEY 15	2.90	0.75	0.5	0.16

İSKİ Kağıthane Çelebi Mehmet Han İçme Suyu Tasfiye Tesisi simülasyon çalışmasının 2. Bölümünde mangan giderimi üzerinde durulmuştur. Bu deneylerde mangan tayini AAS (Atomic Absorption Spectrometric Method)'de ve ICP (Inductively Coupled Plasma Method)'de yapılmıştır. Tesisteki mangan ve çözünmüş oksijen (konsantrasyon ve yüzde olarak) profili, sıcaklık değerleri Tablo 5.9'da verilmiştir.

Tablo 5.9: Kağıthane ÇMH İçme Suyu Tasfiye Tesisi Mangan ve Çözünmüş Oksijen Profili

Parametre	Mangan(mg/l)	Ç.O.(mg/l)	Ç.O.(%)	t° C
Ham su	0.013	7.36	75	15.8
Dek. Çık.	0.005	8.40	82	13.9
Filt. Çık.	0.004	9.27	95.2	16.2

Tesisteki mangan miktarı çok düşük olduğundan ham suya bir miktar mangan verilmiştir. İlk etapta $MnSO_4 \cdot H_2O$ tuzundan 3.072 g alınıp, 1 litre safsuda çözülmüştür. Bu çözeltiden 1 ml alınıp 10 ml'ye seyreltildiğinde, 1 ml'si 100 µg mangan içeren çözelti hazırlanmış olur.

Mangan çalışmasının I. bölümünde Kağıthane Çelebi Mehmet Han İçme Suyu Tasfiye Tesisindeki mevcut sistemle mangan gideriminin ne derece gerçekleştiği saptanmaya çalışılmıştır. Bu amaçla hamsuya 0.5 mg/l mangan olacak şekilde hazırlanan çözeltiden 5 ml ilave edilmiş olup, elde edilen deney sonuçları Tablo 5.10'da verilmiştir. Hamsuya 0.5 mg/l mangan dozlaması yapıldığında filtre çıkış suyundaki mangan değeri, TS 266'da belirtilen değerden düşük çıkmaktadır.

Tablo 5.10: Hamsuya mangansülfat tuzu ilave edildiğinde mangan konsantrasyonları

MANGAN DENEYİ	DENEY 16 (MG/L)	DENEY 17 (MG/L)
HAMSU	0.50	0.50
DEK.ÇIK.	0.28	0.32
FİLT.ÇIK.	0.07	0.09

Mangan deneylerinde oksidant olarak % 15 oranında aktif klor içeren sodyumhipoklorit kullanılmıştır. Orijinal sodyumhipoklorit çözeltisinden 10 ml alınıp saf suyla 250 ml'ye seyreltildiğinde, hazırlanan bu çözeltinin 1 ml'si 6 mg/l klor içermektedir.

Mangan için yapılan deneyler mangan dozunun 1mg/l ve 2 mg/l olması durumları için tekrarlanmıştır. Deneylerde 30 mg/l $Al_2(SO_4)_3$ dozlaması yapılmış olup,

çözünmüş oksijen (konsantrasyon ve yüzde olarak) ve sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Deneyisel bulgular Tablo 5.11’de verilmiştir.

Tablo 5.11: Hamsuya mangansülfat tuzu ilave edildiğinde mangan konsantrasyonları

Deney no	Deney 18			Deney 19		
Parametre	Ham su	Dek.Çık.	Filt.Çık.	Ham su	Dek.Çık.	Filt.Çık.
Mangan	1.07	0.93	0.35	2.02	1.80	0.63
Ç.O. (mg/l)	7.1	6.5	5.9	5.78	5.61	4.68
Ç.O. (%)	73.1	70.1	66.5	62.1	60.7	50.7
t°C	15.8	18.4	18.5	18.4	18.7	18.8

Manganın oksidasyonuna yardımcı olmak maksadıyla ham suya klor ilave edilmiştir. Bu amaçla yapılan 20. deneyde 9 mg/l Cl_2 , 21.deneyde 12 mg/l Cl_2 dozlaması yapılmıştır. Daha önce yapılan denemelerden sudaki organik maddelerin ihtiyacı olan klor miktarı yaklaşık 7mg/l olarak tespit edilmiştir. Elde edilen deney sonuçları Tablo 5.12.’de verilmiştir.

Diğer bir alternatif olarak potasyum permanganatla mangan oksidasyonu yapılmıştır. Bu maksatla yapılan 22. deneyde 2 mg/l $KMnO_4$, 23. deneyde 4mg/l $KMnO_4$ ilave edilmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen veriler Tablo 5.13.’de verilmiştir.

Tablo 5.12: Mangansülfat Tuzuyla Cl_2 (9 mg/l, 12 mg/l) dozlaması yapıldığında mangan konsantrasyonları

Deney no	Deney 20			Deney 21		
Parametre	Ham su	Dek.Çık.	Filt.Çık.	Ham su	Dek.Çık.	Filt.Çık.
Mangan	1.07	0.87	0.03	2.02	1.78	0.08
Ç.O. (mg/l)	7.1	4.63	4.5	5.78	4.74	4.58
Ç.O. (%)	73.1	49.7	49.5	62.1	51.9	49.5
t°C	15.8	18.9	19.8	18.4	18.8	19.3

Tablo 5.13: Mangansülfat Tuzuyla KMnO_4 (2 mg/l, 4 mg/l) ilavesi yapıldığında mangan konsantrasyonları

Deney no	Deney 22			Deney 23		
Parametre	Ham su	Dek.Çık.	Filt.Çık.	Ham su	Dek.Çık.	Filt.Çık.
Mangan	1.07	0.67	0.11	2.02	1.07	0.17
Ç.O. (mg/l)	7.1	4.43	4.29	5.78	4.46	4.44
Ç.O. (%)	73.1	49.1	47.1	62.1	49.7	49
t°C	15.8	20	20.3	18.4	19.5	20.4

5.3.Ömerli Çalışması

Deneysel çalışmaların II. Aşamasında Ömerli Barajı; Muradiye, Orhaniye ve Osmaniye İçme Suyu Tasfiye tesislerinden 01/08/2000-22/02/2001 tarihleri arasında alınan su numunlerinde AAS (Atomic Absorption Spectrometric Method) ve ICP (Inductively Coupled Plasma Method) cihazları kullanılarak toplam demir ve mangan konsantrasyonları ölçülerek, Ömerli demir ve mangan profili çıkarılmıştır.

Ömerli Barajının yüzey kotu 59 m olarak tespit edilmiştir. Barajdan su numuneleri 59 m.(yüzey), 58 m., 55 m., 53 m., 50 m., 48 m., 45 m., 43 m., 41 m. ve dip kotlarından alınmıştır. Grafik çizimlerinde yüzey derinliği 0 m, dip derinliği 59 m kabul edilmiştir. Baraj gölünden yüzey, 1 m., 4 m., 6m., 9m., 11m., 14 m., 16 m., 18 m. ve dip derinliklerinden alınan numuneler asitlendirilerek koruma altına alınmıştır. Numunelerde demir ve mangan konsantrasyonları okunarak derinliğe karşı konsantrasyon grafikleri çizilmiştir. Çizilen grafikler Ek A'da verilmiştir. Baraj gölü dip derinliğinde indirgeyici koşulların meydana gelmesi sebebiyle demir ve mangan problemi oluşmaktadır. Üç değerlikli demir iki değerlikli demire, dört değerlikli mangansa iki değerlikli mangana indirgenerek çözünür forma geçmektedir. Bahar aylarında göl yüzeyinin ısınması ve rüzgarın etkisiyle gölde karışım olayı görülmekte ve yüzeyden alınan su numunelerinde mangan konsantrasyonu yüksek çıkmaktadır. Benzer şekilde Muradiye, Orhaniye ve Osmaniye İçme Suyu Tasfiye Tesislerinden dekantör girişi (1), dekantör çıkışı (2), filtre girişi (3), filtre çıkışı (4) ve depo çıkışı (5) noktalarından alınan su numunelerinde demir ve mangan konsantrasyonları

ölçülmüştür. Deneysel veriler ışığında oluşturulan grafikler Ek B, Ek C ve Ek D’de verilmiştir. Arıtma tesisleri çıkış suyunda mevcut sistemle demir-mangan konsantrasyonu standartların altına düşürülmektedir.

5.4.Filtre Kumu Çalışması

Deneysel çalışmaların son aşamasında Kağıthane ve Ömerli’deki içme suyu tasfiye tesislerinde kullanılmış filtre kumu numuneleri üzerinde birikmiş demir ve mangan miktarıyla, kum yoğunlukları tespit edilmiştir. Bu amaçla 100 g kum numunesi alınarak 105 °C etüvde bekletilip, desikatörde oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Seyreltilmiş nitrik asitte kum çözülerek, kum üzerinde birikmiş demir ve manganın çözeltiye geçmesi sağlanmıştır. Numune kaynatılarak nitrik asit buharlaştırılmıştır. Kumu yıkamak suretiyle demir ve mangan çözeltiye alınarak, çözelti hacmi 500 ml’ye tamamlanmıştır. Numuneleri korumak maksadıyla 5 ml derişik nitrik asit ilave edilmiştir. Hazırlanan bu numunelerden 1 ml ve 5 ml alınıp, 100 ml’ye seyreltilerek 100 g kum numunesi üzerinde birikmiş demir ve mangan miktarı ICP(Inductively Coupled Plasma Method) cihazı kullanılarak tespit edilmiştir. Elde edilen deneysel veriler Tablo 5.14’de gösterilmiştir.

Tablo 5.14: Kullanılmış Filtre Kumu Üzerinde Birikmiş Demir ve Mangan Kons.

KUM ÇALIŞMASI	DEMİR	MANGAN
Kağıthane 1	163 mg/100 g kum	471 mg/100 g kum
Kağıthane 2	220.8 mg/100 g kum	513.4 mg/100 g kum
Ömerli	271.4 mg/100 g kum	919.8 mg/100 g kum

Tablo 5.14’de verilen bilgilere dayanılarak Ömerli kumunun 100 gramında % 0.27 oranında demir, % 0.92 oranında mangan bulunduğu söylenebilir. Kağıthane için ortalama değer esas alınarak hesaplama yapıldığındaysa 100 gram kum numunesinin % 0.19 oranında demir, % 0.49 oranında mangan içerdiği tayin edilmiştir.

Aynı numuneler için kumun gevşek ve sıkıştırılmış durumları için yoğunluk tayinleri yapılmıştır. Bu amaçla 100 ml’lik mezüre kum konularak ağırlıkları gevşek ve

sıkıştırılmış durumlar için tespit edilmiştir. Yoğunlukla ilgili bilgiler Tablo 5.15’de verilmiştir.

Tablo 5.15: Kum Yoğunlukları (g/cm³)

KAĞITHANE		ÖMERLİ	
Gevşek	Sıkıştırılmış	Gevşek	Sıkıştırılmış
1.51	1.62	1.55	1.59

Bu deneysel verilerin ışığında Kağıthane Çelebi Mehmet Han İçme Suyu Tasfiye Tesisinde kullanılan filtrelerin boyutlandırma parametreleri esas alınarak, bir filtrede birikebilecek demir ve mangan miktarı belirlenmiştir.

Kağıthane İçme Suyu Tasfiye Tesislerinde kullanılmış olan kum numuneleri için deney iki kez tekrarlanmıştır. Yapılan hesaplamalarda bu iki deneydeki bulguların ortalaması alınmıştır. Tesiste kullanılan filtre kolonunun yüzey alanı 108 m² olup, 1 m yüksekliğinde kum tabakasından teşkil edilmiştir. Yaklaşık bir hesaplama bir filtre kolonunun hacmi 108 m³ olarak kabul edilmiştir. 100 g kum numunesi üzerinde birikmiş demir miktarı ortalama olarak 191.9 mg olarak tespit edilmiştir. Kum yoğunluğu 1510 kg/m³ olup, bir filtre kolonunun ağırlığı yoğunluk formülünden 163080 kg olarak çıkarılmıştır. 1 kg kum numunesinin 1.919 g demir içerdiğinden yola çıkılırsa 163080 kg ağırlığındaki filtre kolonu üzerinde biriken demir miktarı 312.95 kg olarak hesaplanır. Benzer hesaplamalar aynı filtre kolonu üzerinde biriken mangan miktarının tespiti için yapılmış olup, sonuç 802.68 kg mangan olarak bulunmuştur.

Ömerli’den gelen kullanılmış filtre kumu numunesi için aynı deneyler tekrarlanmıştır. 100 g kum numunesi üzerinde birikmiş demir miktarı 271.4 mg olarak bulunmuştur. Kum yoğunluğu 1550 kg/m³ olarak belirlenmiş olup, bir filtre kolonu hacminin 108 m³ olduğu kabulü yapılmıştır. Filtre kolonunun ağırlığı yoğunluk formülünden 167400 kg olarak hesaplanmış, buradan filtre üzerinde birikmiş demir miktarı 454.32 kg olarak bulunmuştur. Benzer hesaplamalar mangan için yapıldığında filtre kolonu üzerinde birikmiş mangan miktarı 1539.74 kg olarak tespit edilmiştir.

Deneysel verilere dayanılarak kum numuneleri üzerinde biriken mangan miktarının demire göre daha fazla olduğu ve Ömerli’de mangan probleminin varlığı söylenebilir. Ek E’de kum numunelerinin mikroskopla büyütölmüş fotoğrafları verilmiş olup, bu fotoğraflardan da görölebileceğı gibi demir ve manganla kaplanmış kum numunelerinin küresellik katsayısı açısından değerin 1’e yakın olduğı görölmektedir (Saatçi, 2001).



6 . SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Üç aşamada gerçekleştirilen deneysel çalışmaların I. bölümünde İSKİ Kağıthane Çelebi Mehmet Han İçme Suyu Tasfiye Tesisi laboratuvar ölçeğinde deneyler yapılmak suretiyle simüle edilerek, tesisteki mevcut sistemle demir-mangan problemi olması halinde giderimin gerçekleştirilebilirliği incelenmiştir. Bu amaçla tesise Alibey barajı ve Terkos gölünden gelen hamsu numunelerine jar test yapılmış olup, tesise giriş suyunda bile demir konsantrasyonunun standartların altında olduğu görülmüştür. Problemi net olarak gözlemlemek için hamsuya $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ Mohr Tuzu katılarak, girişte demir konsantrasyonu standartların üzerine çıkarıldığında çıkış suyunda demir konsantrasyonunun hedeflenen seviyenin altına düştüğü tespit edilmiştir. Hamsuda 1 mg/l'ye kadar demir konsantrasyonu olduğunda ve kimyasal madde olarak sadece $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (30 mg/l dozlama yapıldığında) ilave edildiğinde tesisteki mevcut sistemle demir bertarafı başarıyla gerçekleştirilmiştir. Aynı işlem alüm ilavesiyle birlikte Cl_2 ve KMnO_4 'ün oksidant olarak kullanılması durumları için tekrarlandığında filtre giderme veriminin daha da artış gösterdiği belirlenmiştir. Daha net bir gözlem yapabilmek amacıyla hamsuya eklenen Mohr tuzunun dozajı arttırıldığında, filtre çıkış suyunda demir konsantrasyonu yüksek olarak tespit edilmiş olup, tesisteki mevcut sistemle demir bertarafı gerçekleştirilememiştir. Aynı deneyde artan sıcaklıkla birlikte çözünmüş oksijen konsantrasyonunun filtre çıkışına doğru azaldığı belirlenmiştir. Hamsuya aynı dozda Mohr tuzu verilip Cl_2 ve KMnO_4 oksidantları kullanıldığında filtre çıkış suyunda demir konsantrasyonu standartların altına indirilemezken, çözünmüş oksijen konsantrasyonunun artan sıcaklıkla ters orantılı olarak azaldığı görülmüştür. Bu soruna çözüm olarak oksidant ilavesiyle birlikte dekantör çıkışından sonra suyun 1 saat süreyle dinlendirilebileceği bir ara havuz yapılması fikri önerildiğinde filtre çıkışında demir konsantrasyonu standartların aşağısına çekilebilmiştir. Demir bertarafı için yapılan çalışmalarda, KMnO_4 'ün daha etkin olduğu gözlenmesine karşın suya ilave edildiğinde renk oluşturması açısından kullanımı tavsiye edilmemektedir. Cl_2 kullanımı koku ve tat kontrolü için tesiste de tercih edilmesine

rağmen THM oluşumuna neden olması dolayısıyla demir bertarafında kullanılırken sudaki organik madde miktarı dikkate alınmalıdır. Ayrıca orijinal tesiste çözünmüş oksijen konsantrasyonunun azalan sıcaklıkla artış gösterdiği deneysel çalışmalarla tespit edilmiştir.

Orjinal tesisin mangan ve çözünmüş oksijen profili çıkarıldığında mangan konsantrasyonunun standartların oldukça aşağısında olduğu ve filtre çıkışına doğru azaldığı tespit edilirken, çözünmüş oksijen konsantrasyonu giderek artmaktadır. Jar testlerde hamsuya mangansülfat tuzu ilave edilerek mangan konsantrasyonu 0.5 mg/l'ye çıkarıldığında oksidant ilavesi olmaksızın tesiste mangan bertaraf edilebilmektedir. Hamsuda 1 ve 2 mg/l mangan konsantrasyonu olduğunda oksitleyici madde kullanılmadan filtre çıkışında standart değer yakalanamazken, çözünmüş oksijen konsantrasyonunun azaldığı tespit edilmiştir. Standartları sağlamak için oksidant kullanıldığında, klorun potasyum permanganata göre daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir.

II..Aşamadaysa Ömerli barajında 0-59 m. arasındaki farklı derinliklerden alınan su numunelerinde demir-mangan konsantrasyonları tespit edilmiştir. Baraj gölünde oksijenin yetersiz olduğu indirgeyici koşulların oluşması sebebiyle özellikle mangan konsantrasyonunun standartların üzerinde olduğu belirlenmiştir. Ağustos sonu ve Eylül ayı dönemlerinde gölde su yüzeyinin ısınması ve rüzgarın etkisiyle karışım olayı gözlenmiştir. Bu çalışmaya ek olarak Muradiye, Orhaniye ve Osmaniye İçme Suyu Tasfiye Tesislerinden dekantör girişi, dekantör çıkışı, filtre girişi, filtre çıkışı ve depo çıkışından alınan su numunelerinde demir-mangan konsantrasyonları okunmuştur. Tesislere girişte genellikle mangan konsantrasyonunun fazla olduğu, çıkıştaysa demir ve mangan konsantrasyonu açısından standartlara uygunluk tespit edilmiştir. Tesislerde filtrelerin geri yıkamasına ihtiyaç duyulan durumlarda filtre çıkışında girişe göre daha yüksek konsantrasyonlarda demir ve mangan saptanmıştır. Benzer şekilde dekantörlerde indirgeyici koşulların olduğu ölü noktalardan numune alınması durumlarında giriş suyuna göre demir ve mangan konsantrasyonları fazla çıkmıştır.

Son olarak Ömerli ve Kağıthane İçme Suyu Tasfiye Tesislerinde kullanılmış filtre kumu üzerinde biriken demir-mangan miktarı belirlendiğinde, Ömerli'deki mangan problemi açık bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Bu kum danelerinin mikroskopla

büyütölmüş fotoğraflarına bakıldığında demir-manganla kaplanmış danelerin küresellik katsayılarının 1'e yaklaştığı tespit edilmiştir. Ancak bu çalışmada kumların ne kadar süreli kullanıldığı bilinmediğinden bir filtrede birikebilecek demir-mangan miktarı zamandan bağımsız olarak yaklaşık hesapla belirlenebilmektedir.



KAYNAKLAR

APHA-AWWA-WPCF., 1990. Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water, 17th Edition, Washington, D.C.

Aydın, S., Tüfekçi, N. and Arayıcı, S., 2000. Catalytic Effects of High Mn(IV) Concentrations on Mn(II) Oxidation, *Water Science and Technology*, **42**, 387-392.

Eroğlu, V., 1995. Su Tasfiyesi, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.

Güngör, Z., 2001. Kişisel Görüşme.

Johnson, D. and Chiswell, B., 1995. Micro-organisms and Manganese Cycling in a Seasonally Stratified Freshwater Dam, *IAWQ*, **29**, 2739-2745.

Langlais, B., 1991. Ozone in Water Treatment, Application and Engineering: Cooperative Research Report, Lewis, Chelsea.

Letterman, R.D., 1999. Water Quality and Treatment: American Water Works Association a Handbook of Public Water Supplies, Mc Graw-Hill, New York.

MacPhee, M.J. ve Kor, N., 1997. İçme Suyu Arıtma Tesislerinin İyileştirilmesine Ait Fizibilite Çalışması I, EE&T ve MİMKO.

MacPhee, M.J. ve Kor, N., 1998. İçme Suyu Arıtma Tesislerinin İyileştirilmesine Ait Fizibilite Çalışması II, EE&T ve MİMKO.

MacPhee, M.J. ve Kor, N., 2000. İçme Suyu Arıtma Tesislerinin İyileştirilmesine Ait Fizibilite Çalışması III, EE&T ve MİMKO.

Michalakos, G.D., Nieva, J.M. and Vayenasond, D.V., 1997. Removal of Iron From Potable Water Using a Trickling Filter, *The Journal of the International Association on Water Quality*, **31**, 991-996.

Nordell, E., 1961. Water Treatment for Industrial and Other Uses, Reinhold Publishing Corporation, New York.

O'Connor, J.T., 1990. A Handbook of Public Water Supplies Prepared by the American Water Works Association, Inc, Mc Graw-Hill, New York.

Özgül, G., 1996. Fe(II)'nin Oksidasyonuna Organik Asitlerin Etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Pontius, F.W., 1971. Water Quality and Treatment: Chemical Precipitation, Mc Graw-Hill, New York.

Saatçi, A.M., 2001. Kişisel Görüşme.

Schneil, S., Ratering, S. and Jansen, K.H., 1998. Simultaneous Determination of Iron(III), Iron(II) and Manganese(II) in Environmental Samples by Ion Chromatography, *Environmental Science and Technology*, **32**, 1530-1537.

Stumn, W., 1990. Aquatic Chemical Kinetics: Reaction Rates of Processes in Natural Waters, John Wiley, New York.

Taş, M., 1996. Su Arıtımında Ozonlama Prosesinin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

TS-2512, 1977. İçme ve Kullanma Sularının Klorlanması, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

Tüfekçi, N., 1996. Temas Havalandırılmalı Sistemler ile Demir Giderilmesi, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Tüfekçi, N., Sarıkaya, H.Z. and Öztürk, İ., 2000. An Experimental Study on Iron Removal with Ferric Sludge Recycling, *Water Science and Technology*, **42**, 393-397.

Tünay, O., 1996. Çevre Mühendisliğinde Kimyasal Prosesler, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.

Yücel, M. ve Aksoğan, S., 1976. Su Getirme Kanalizasyon ve Suların Arıtılması, PİMAŞ Yayınları, İstanbul.

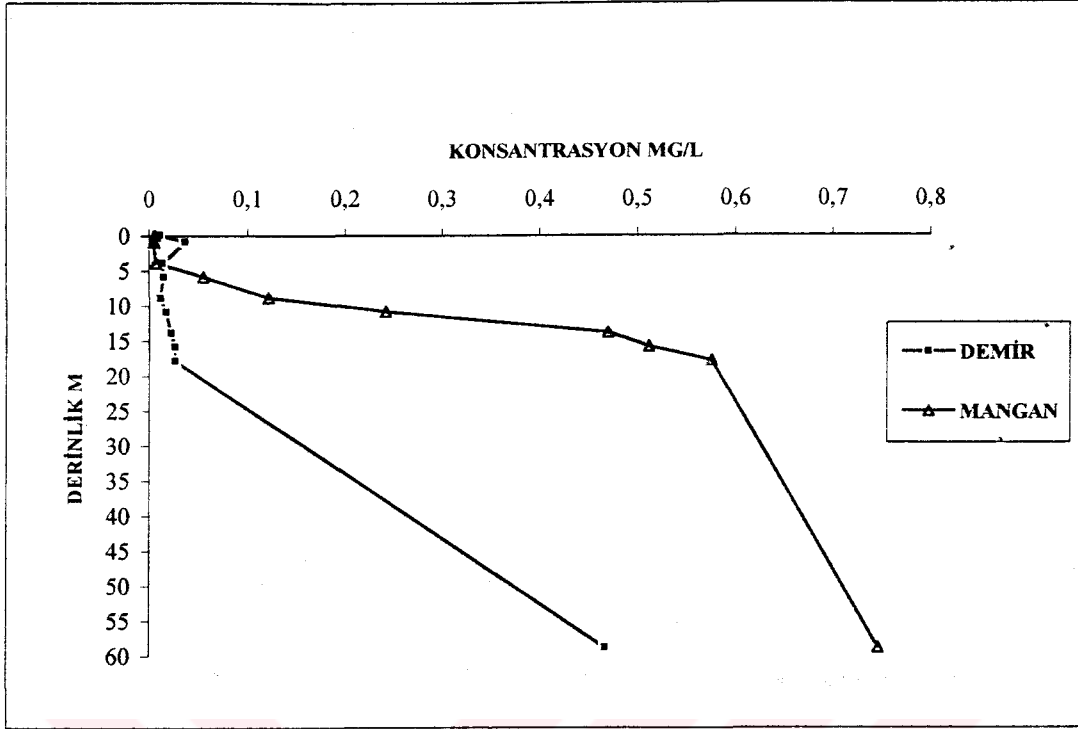
Zaw, M. and Chiswell, B., 1999. Iron and Manganese Dynamics in Lake Water, *IAWQ*, **33**,1900-1910.



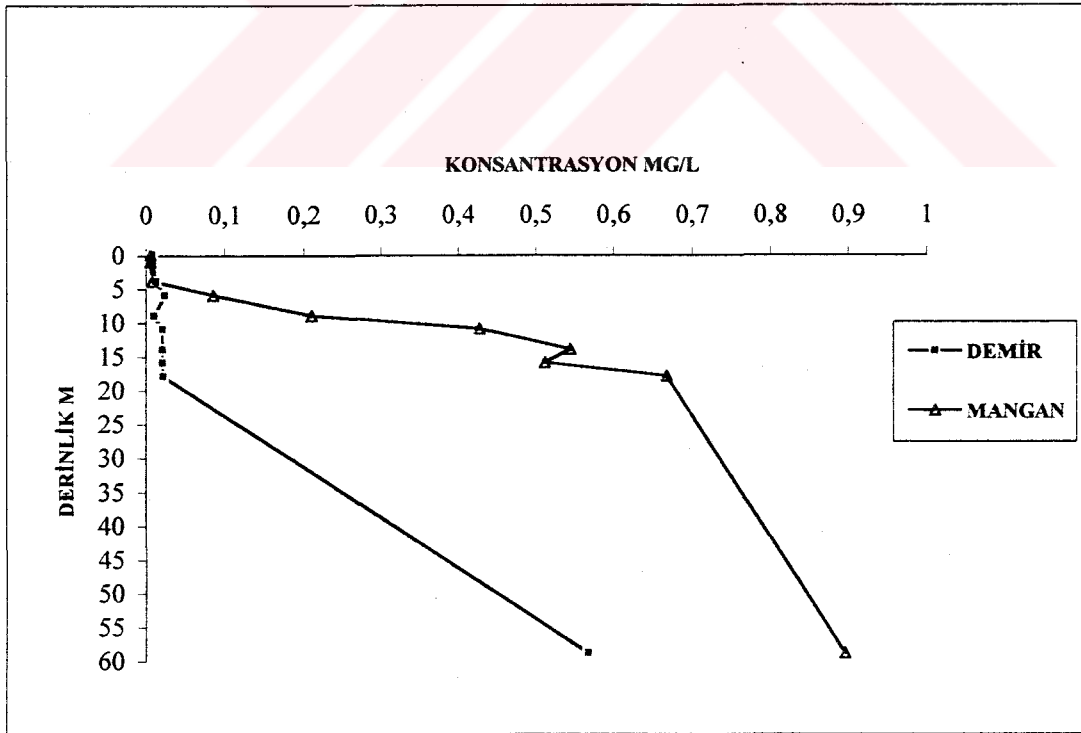


EKLER

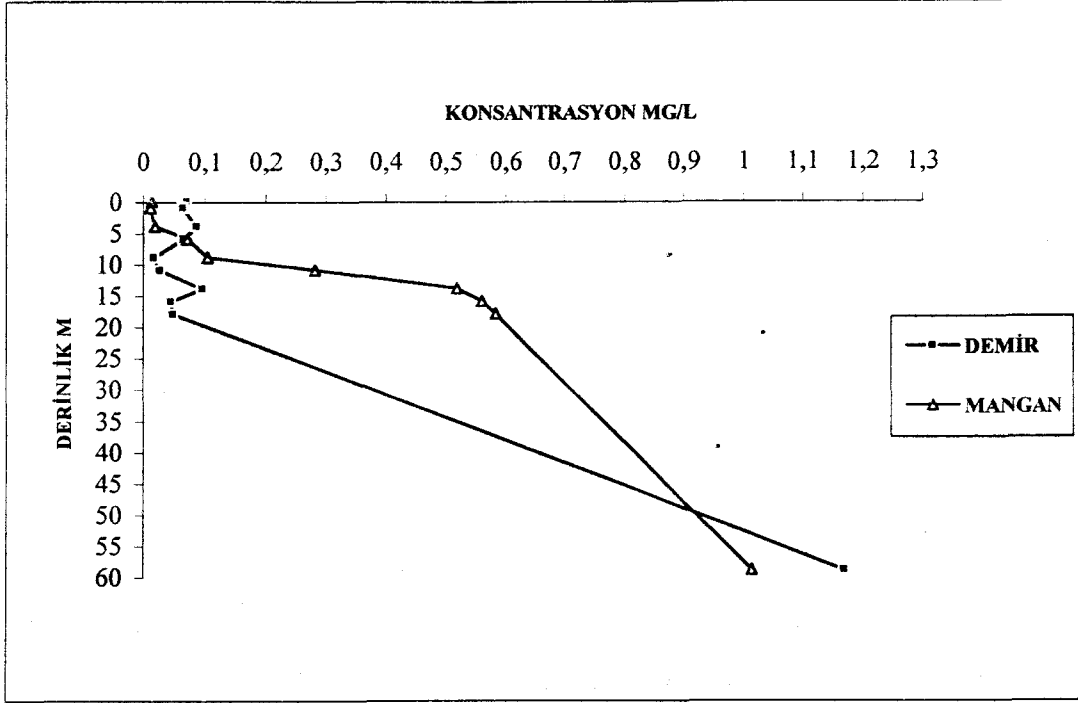
EK A : ÖMERLİ BARAJI DEMİR-MANGAN PROFİLİ



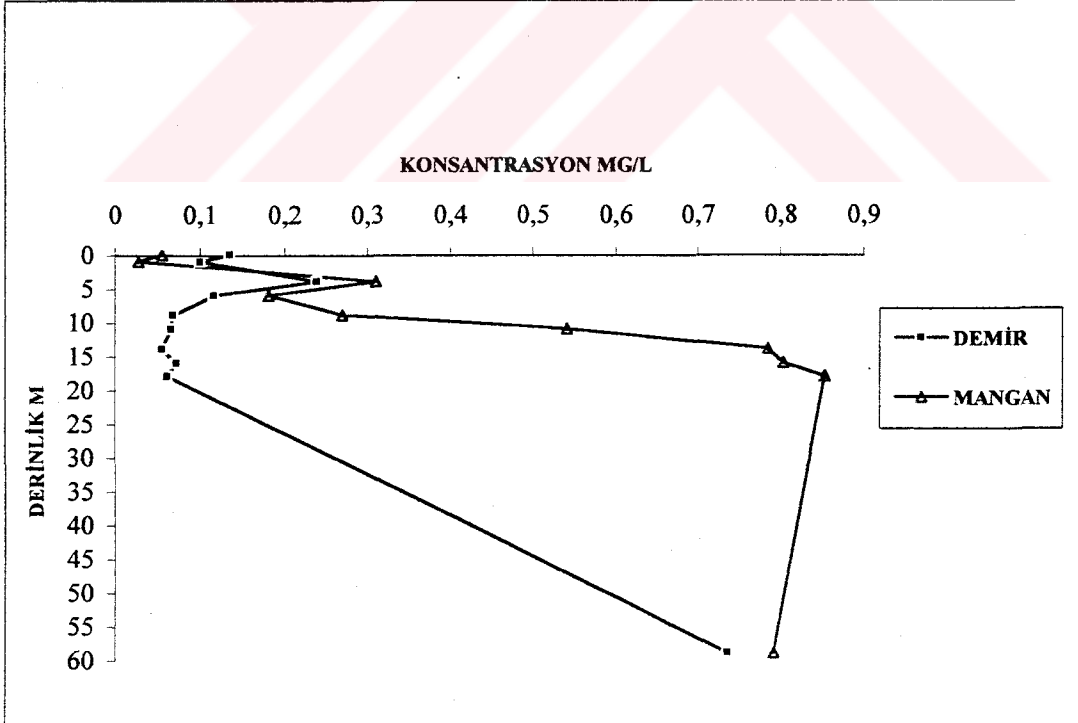
Şekil A.1: 01.08.2000 Tarihinde Ömerli Barajı Demir-Mangan Profili



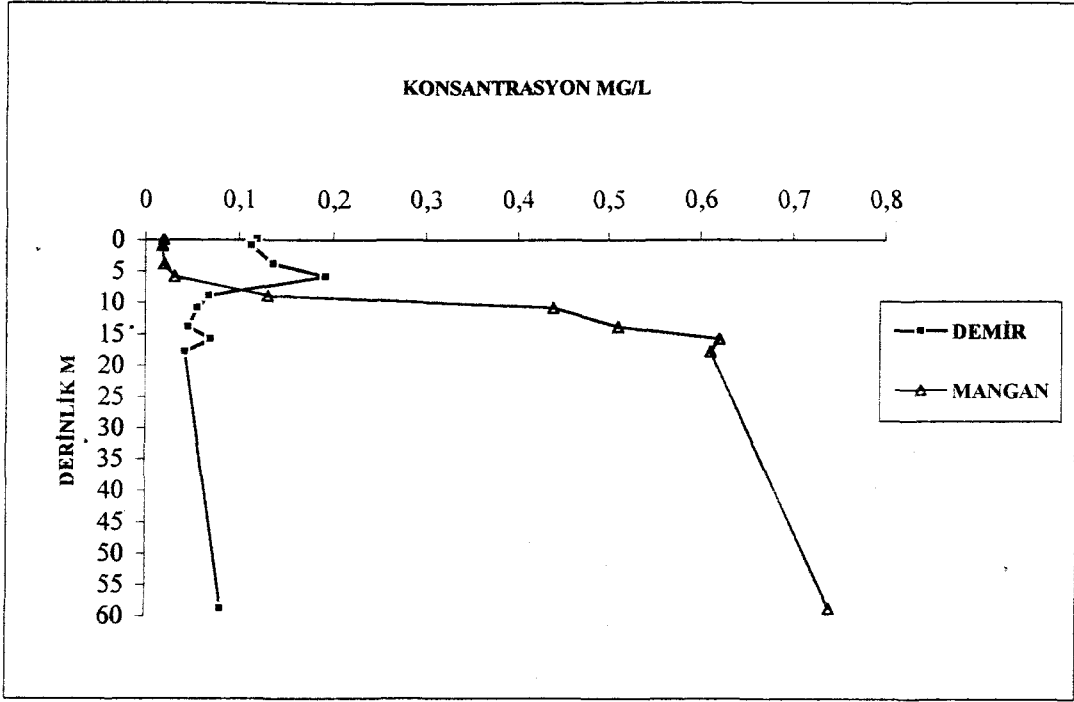
Şekil A.2: 02.08.2000 Tarihinde Ömerli Barajı Demir-Mangan Profili



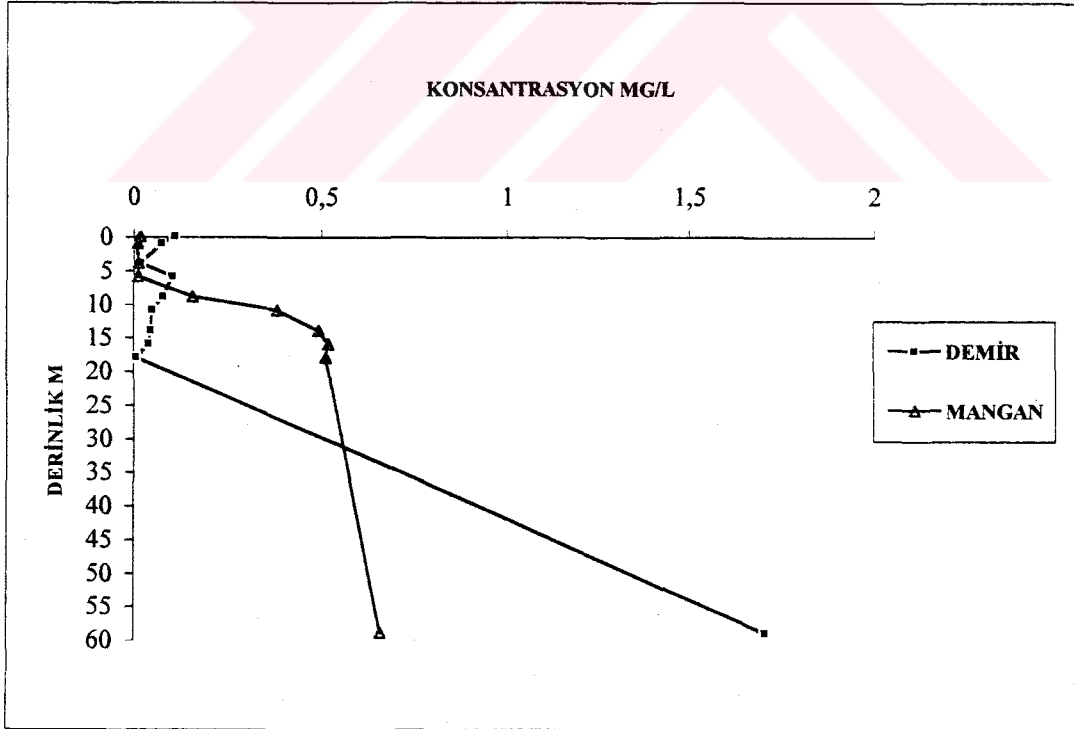
Şekil A.3: 03.08.2000 Tarihinde Ömerli Barajı Demir-Mangan Profili



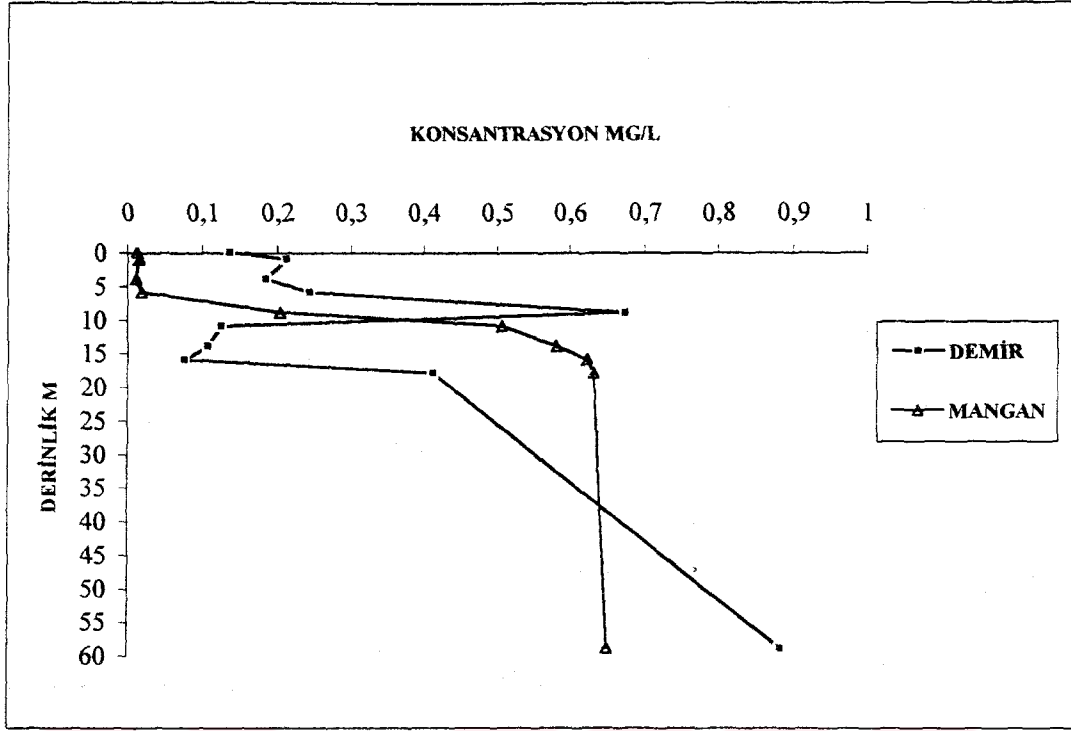
Şekil A.4: 04.08.2000 Tarihinde Ömerli Barajı Demir-Mangan Profili



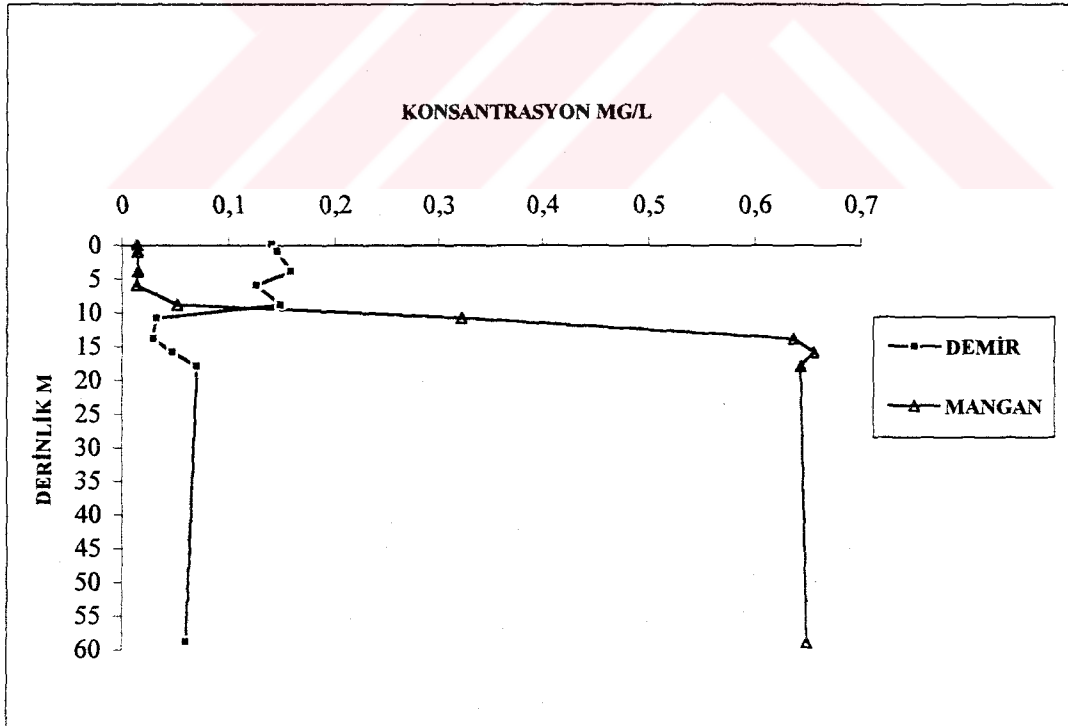
Şekil A.5: 17.08.2000 Tarihinde Ömerli Barajı Demir-Mangan Profili



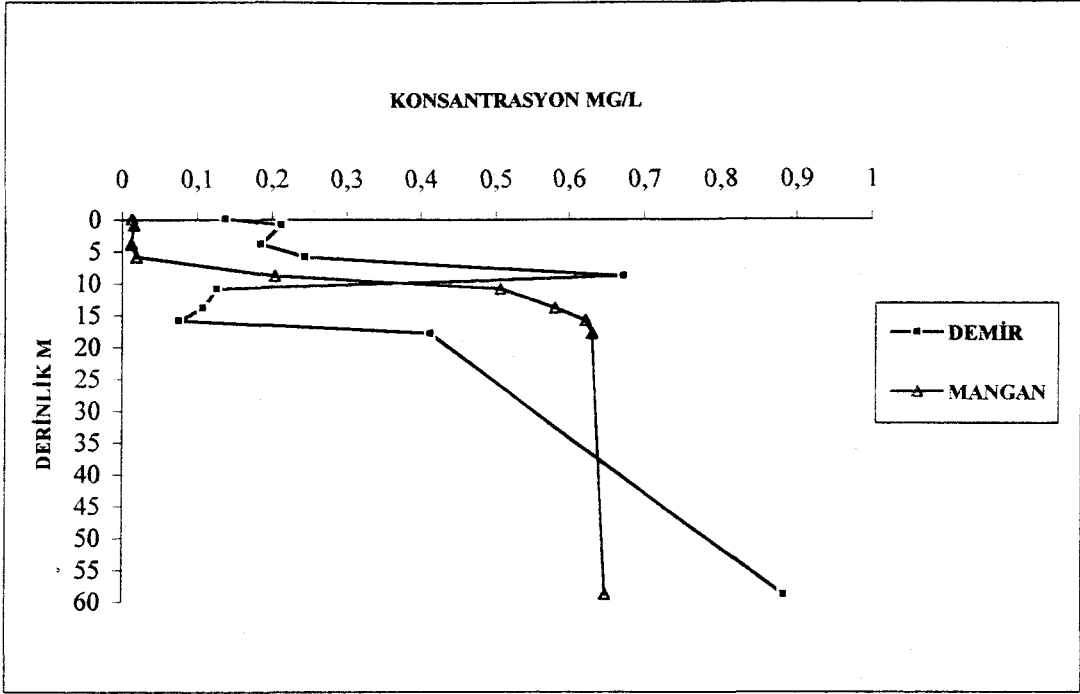
Şekil A.6: 24.08.2000 Tarihinde Ömerli Barajı Demir-Mangan Profili



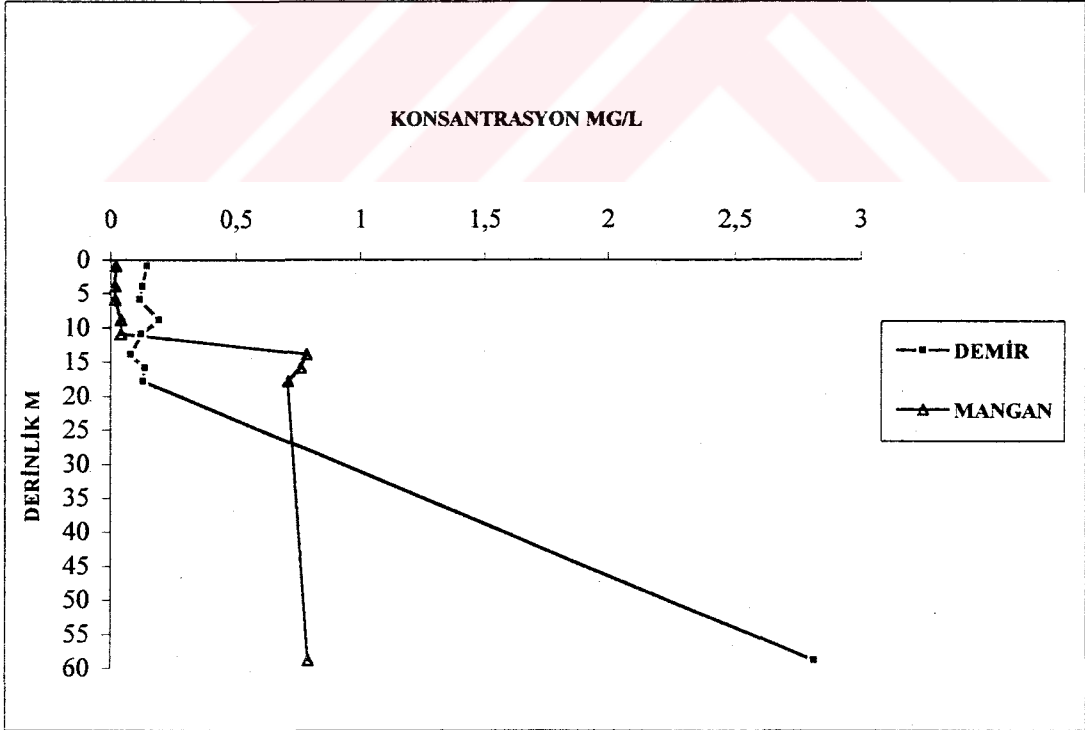
Şekil A.7: 31.08.2000 Tarihinde Ömerli Barajı Demir-Mangan Profili



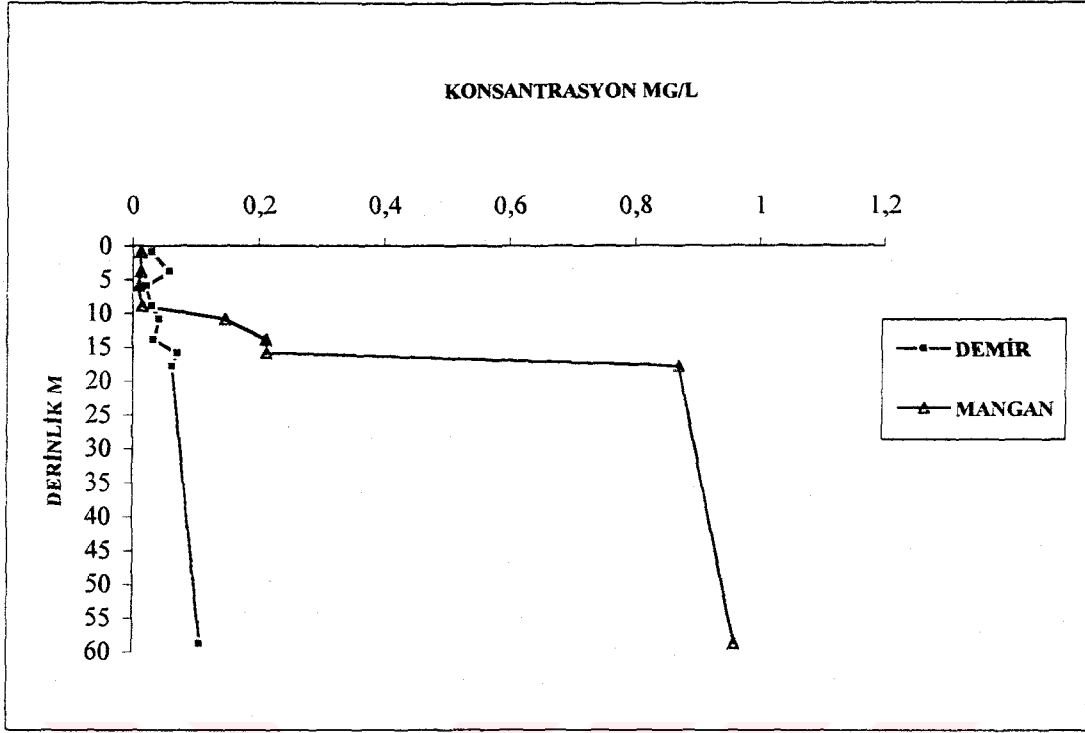
Şekil A.8: 14.09.2000 Tarihinde Ömerli Barajı Demir-Mangan Profili



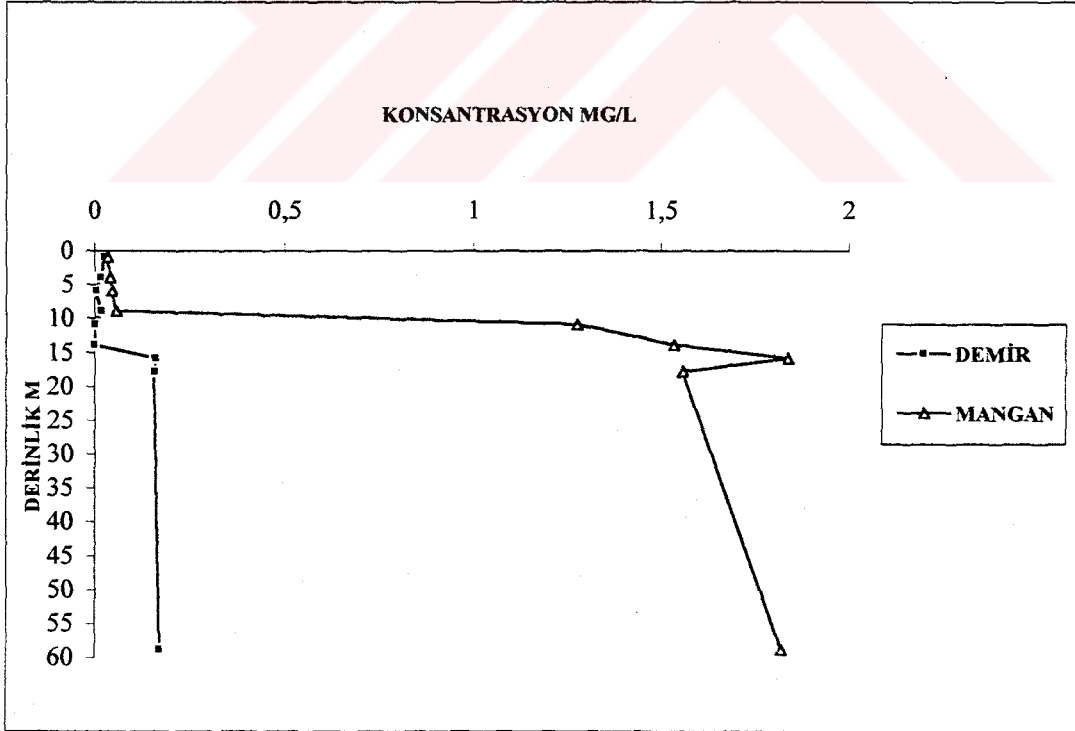
Şekil A.9: 21.09.2000 Tarihinde Ömerli Barajı Demir-Mangan Profili



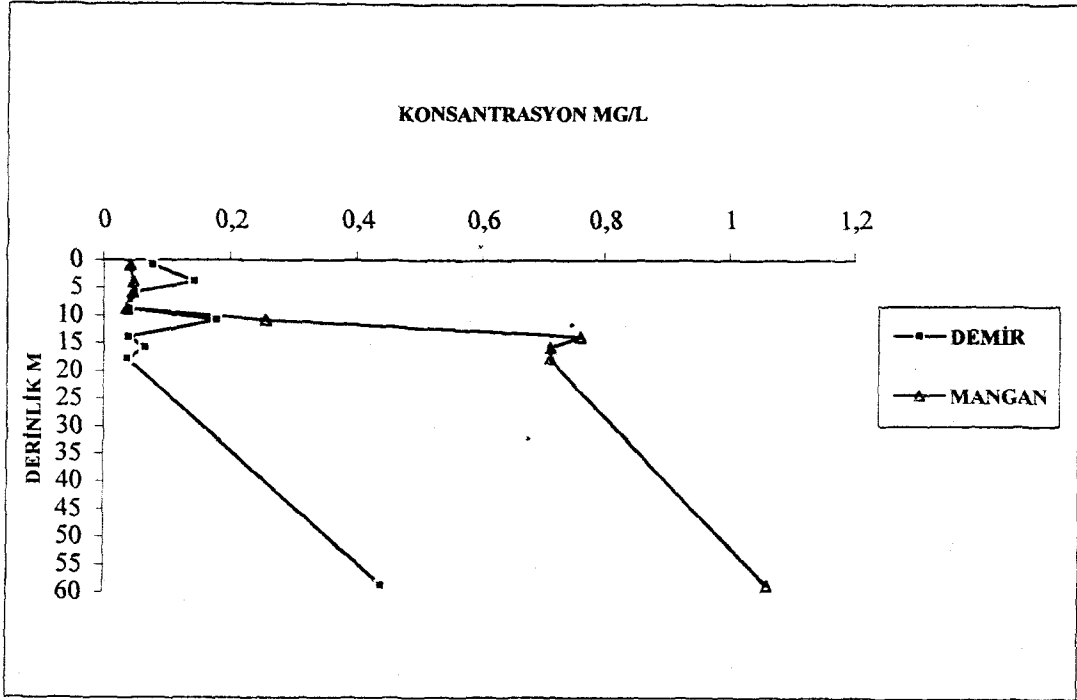
Şekil A.10: 03.10.2000 Tarihinde Ömerli Barajı Demir-Mangan Profili



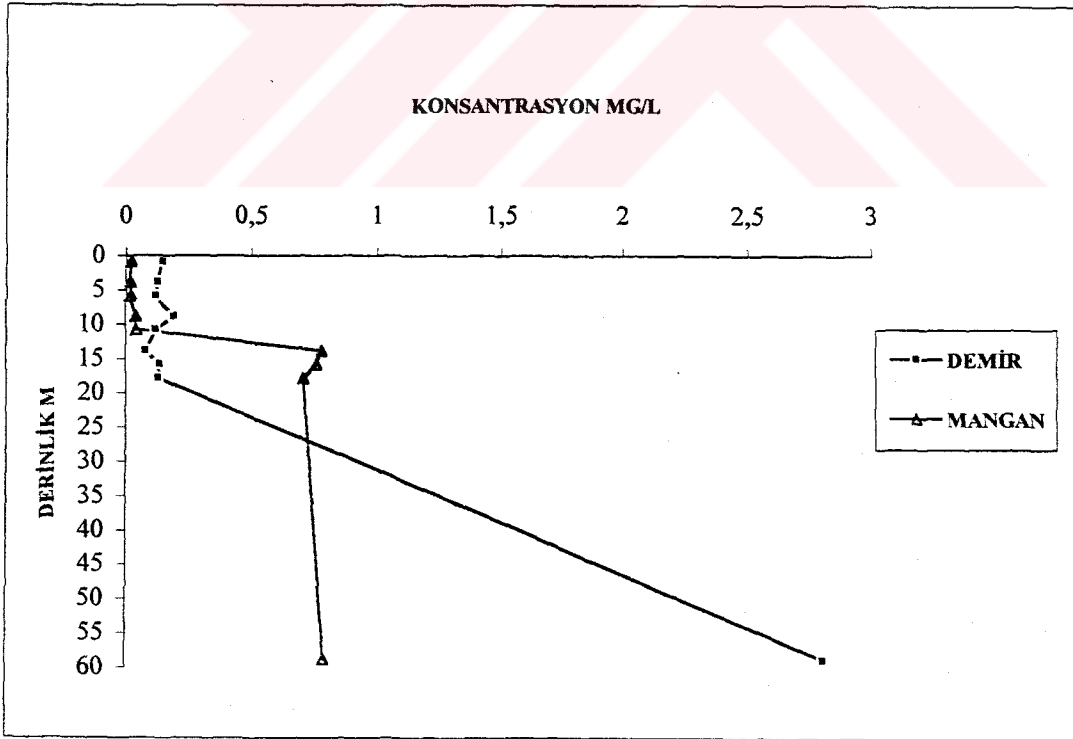
Şekil A.11: 12.10.2000 Tarihinde Ömerli Barajı Demir-Mangan Profili



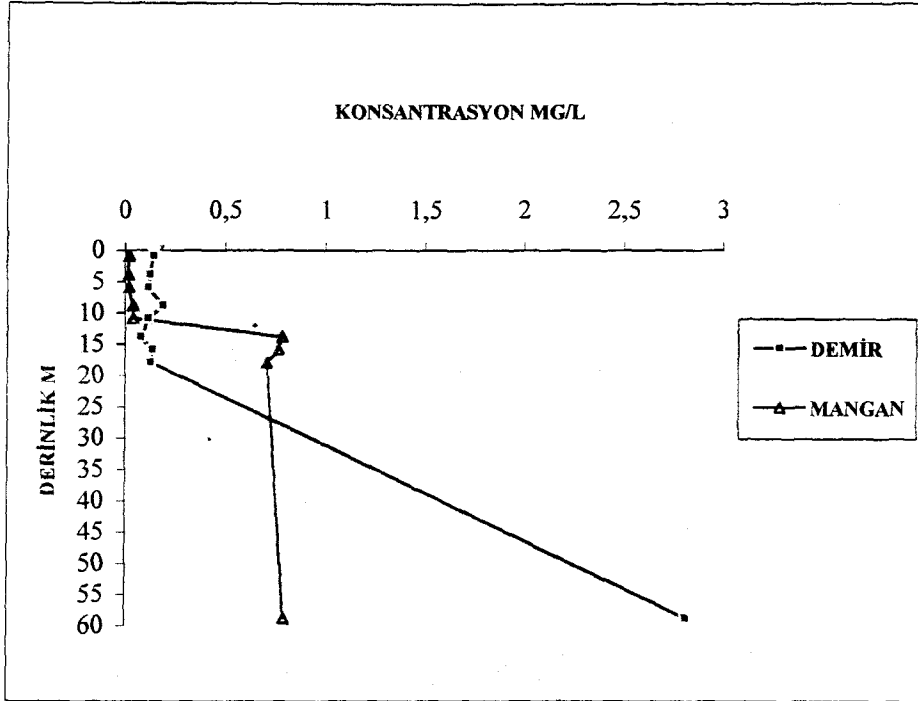
Şekil A.12: 19.10.2000 Tarihinde Ömerli Barajı Demir-Mangan Profili



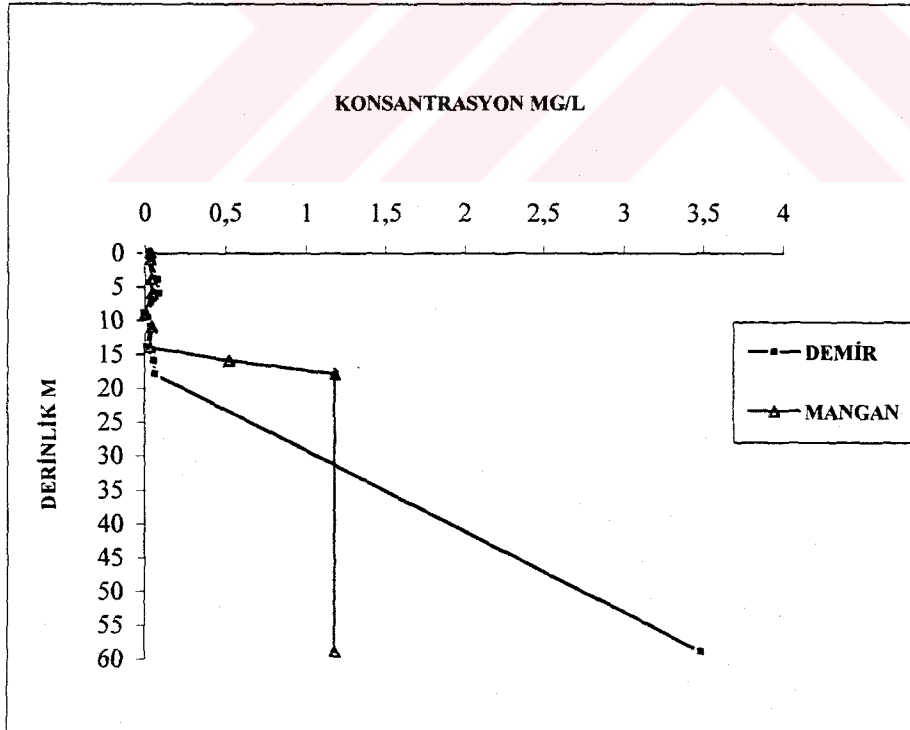
Şekil A.13: 26.10.2000 Tarihinde Ömerli Barajı Demir-Mangan Profili



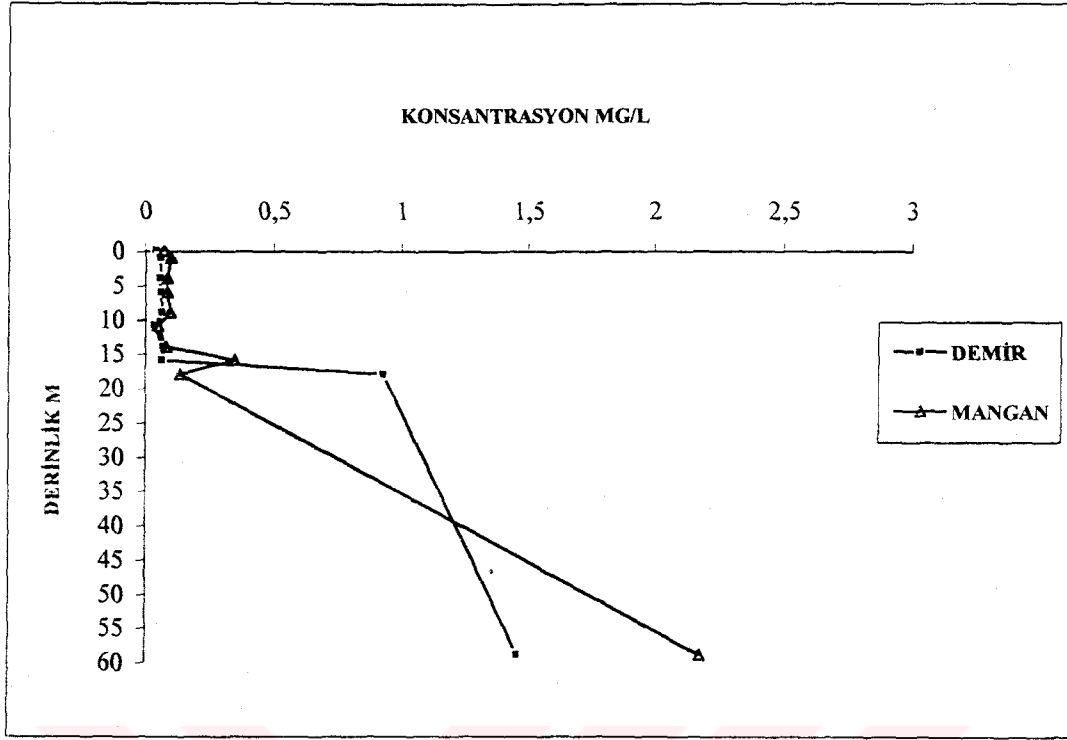
Şekil A.14: 02.11.2000 Tarihinde Ömerli Barajı Demir-Mangan Profili



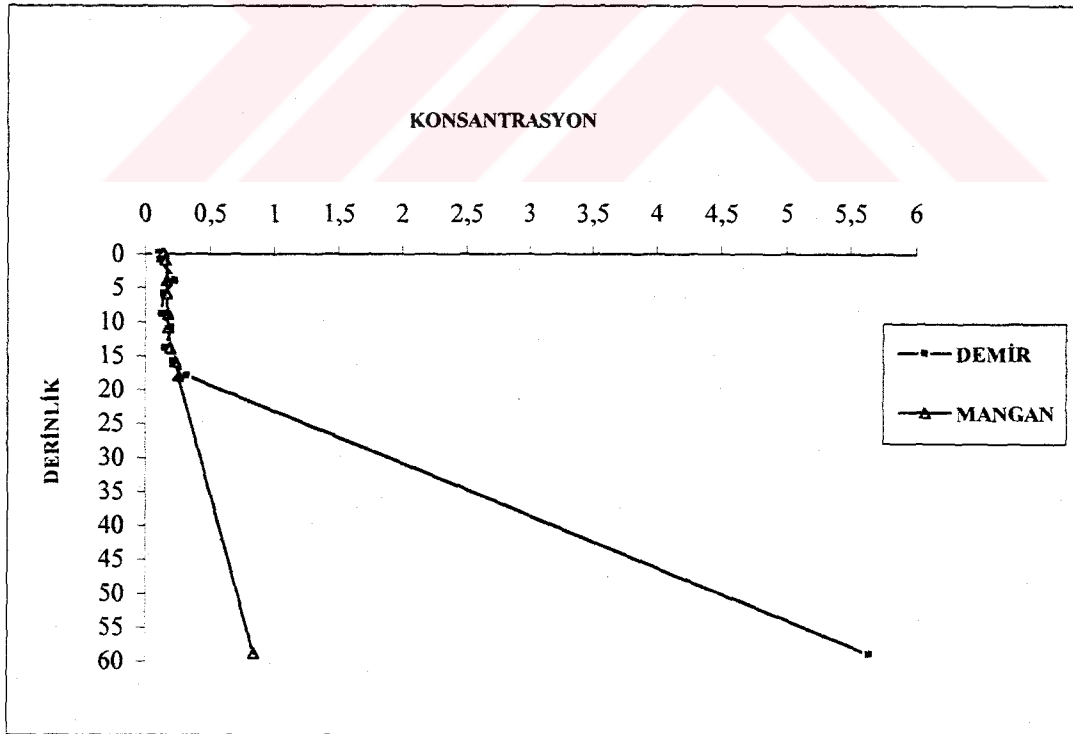
Şekil A.15: 09.11.2000 Tarihinde Ömerli Barajı Demir-Mangan Profili



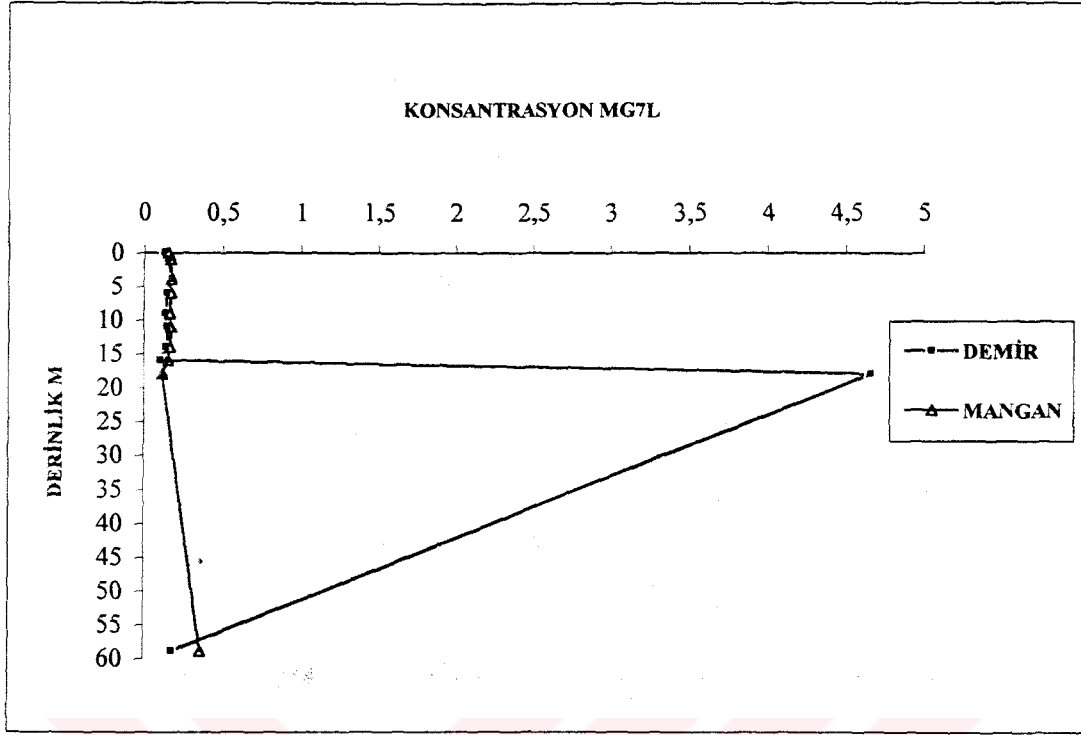
Şekil A.16: 07.12.2000 Tarihinde Ömerli Barajı Demir-Mangan Profili



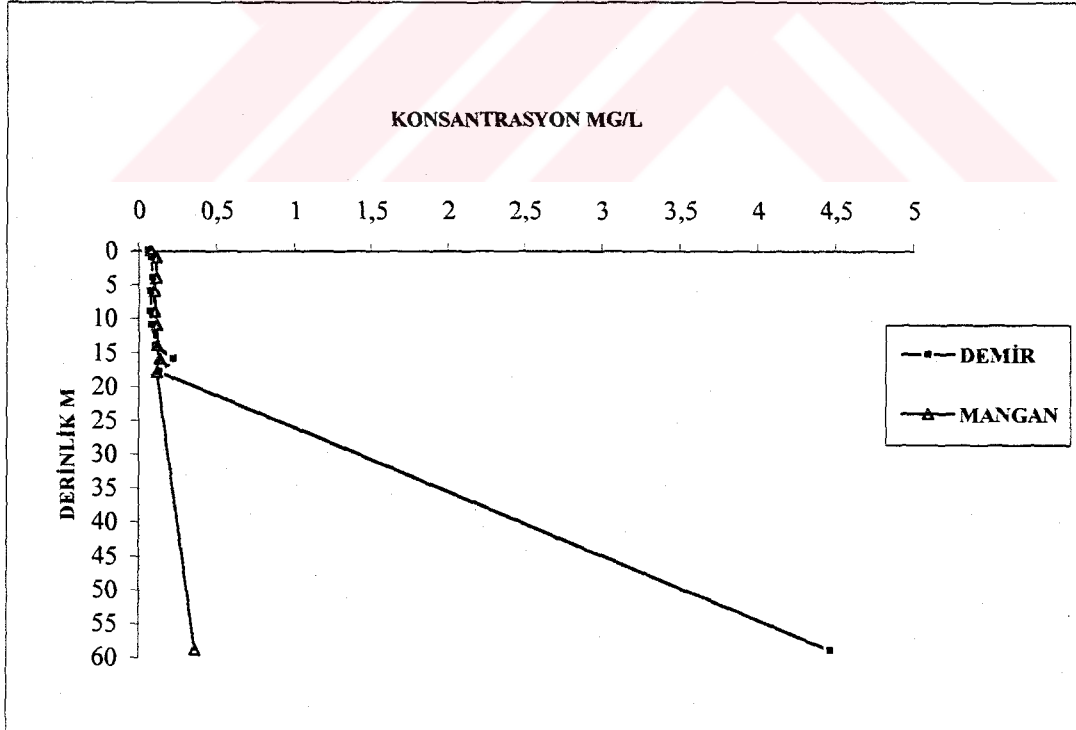
Şekil A.17: 14.12.2000 Tarihinde Ömerli Barajı Demir-Mangan Profili



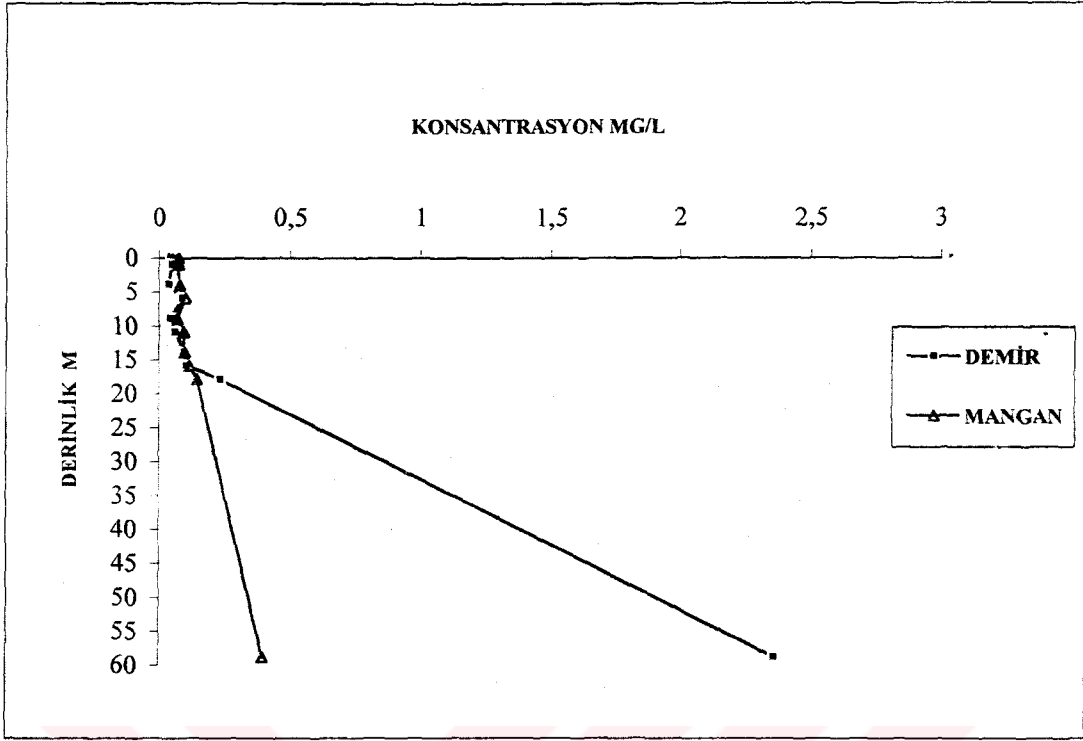
Şekil A.18: 11.01.2000 Tarihinde Ömerli Barajı Demir-Mangan Profili



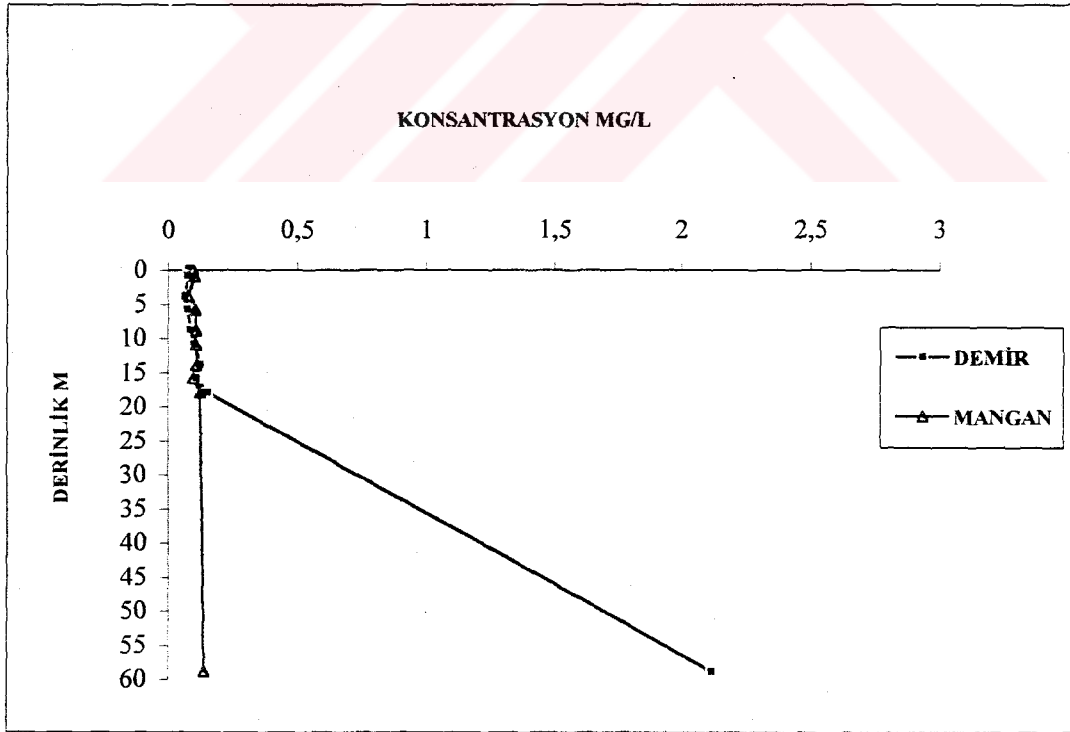
Şekil A.19: 18.01.2001 Tarihinde Ömerli Barajı Demir-Mangan Profili



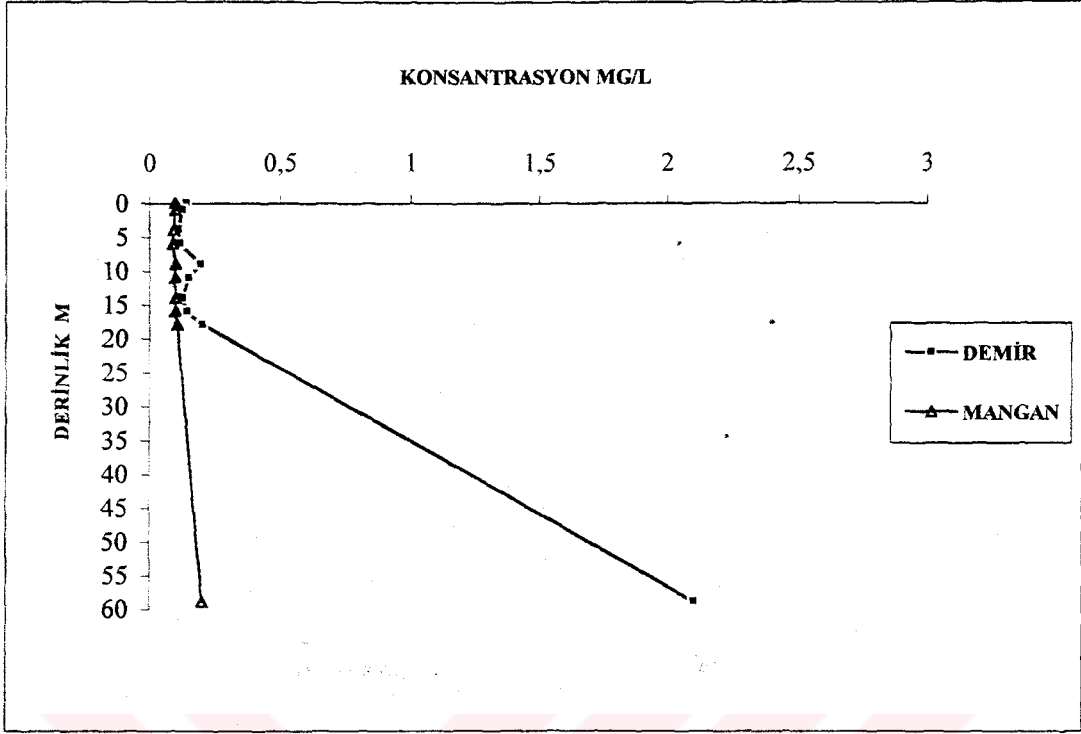
Şekil A.20: 25.01.2001 Tarihinde Ömerli Barajı Demir-Mangan Profili



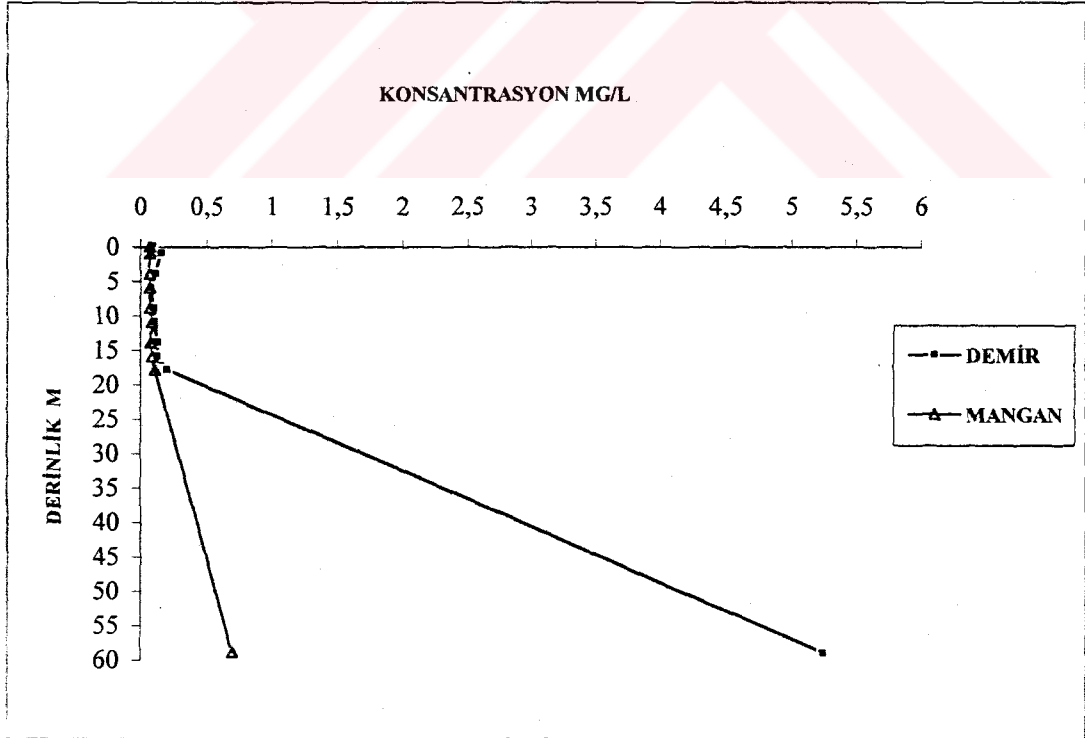
Şekil A.21: 01.02.2001 Tarihinde Ömerli Barajı Demir-Mangan Profili



Şekil A.22: 08.02.2001 Tarihinde Ömerli Barajı Demir-Mangan Profili



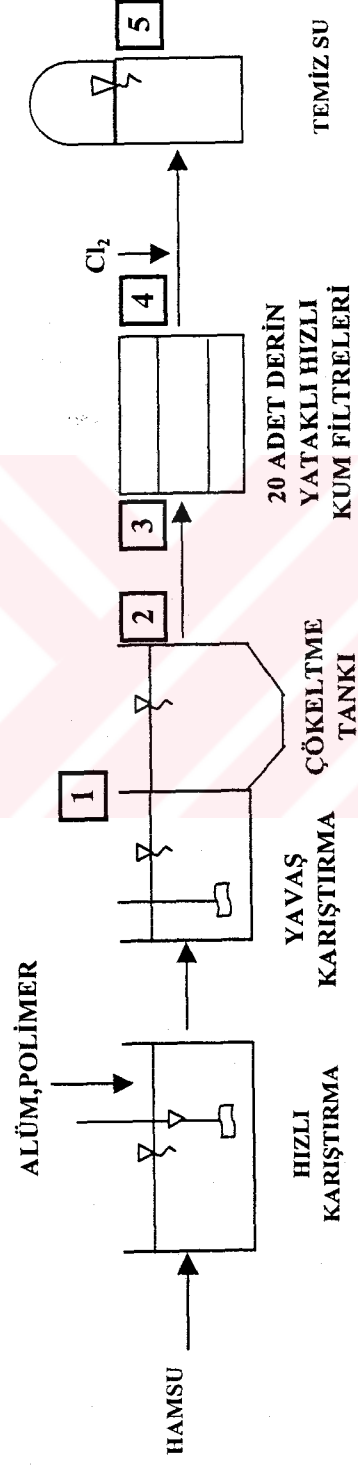
Şekil A.23: 15.02.2001 Tarihinde Ömerli Barajı Demir-Mangan Profili



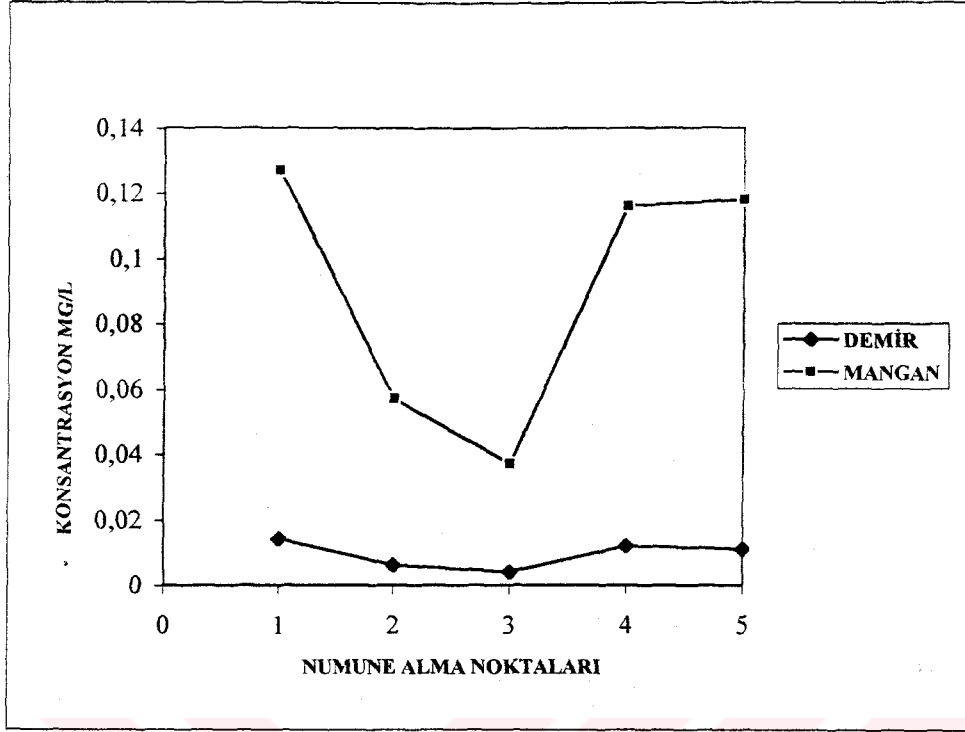
Şekil A.24: 22.02.2001 Tarihinde Ömerli Barajı Demir-Mangan Profili



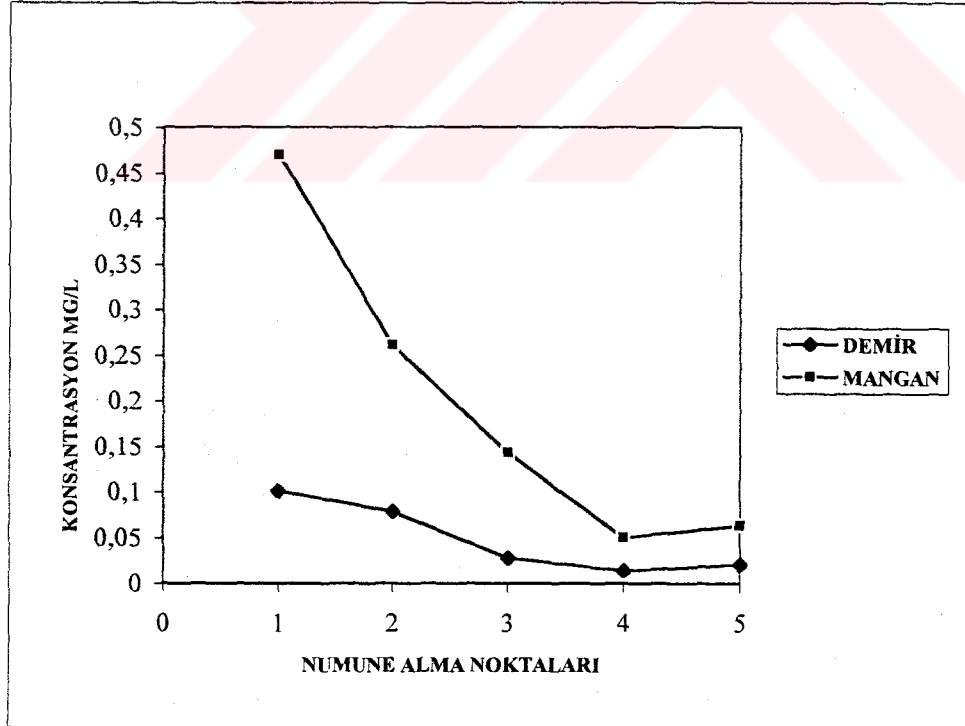
EK B : MURADIYE DEMİR-MANGAN PROFİLİ



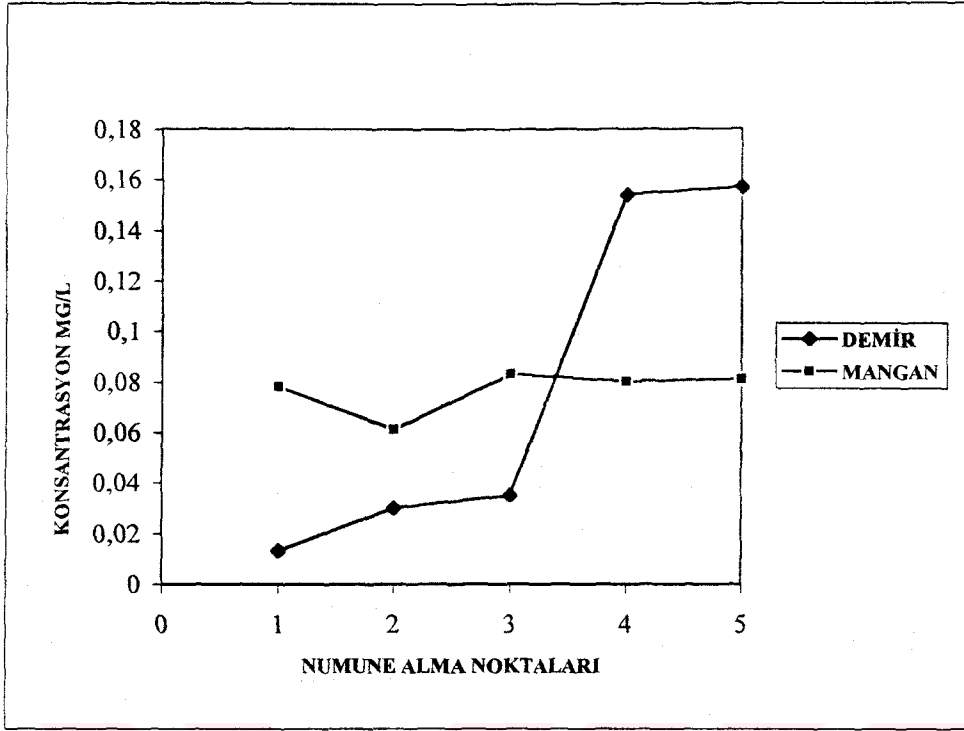
ŞEKİL B.1: ÖMERLİ MURADIYE İÇME SUYU TAŞIYICI TESİSİ AKIM ŞEMASI



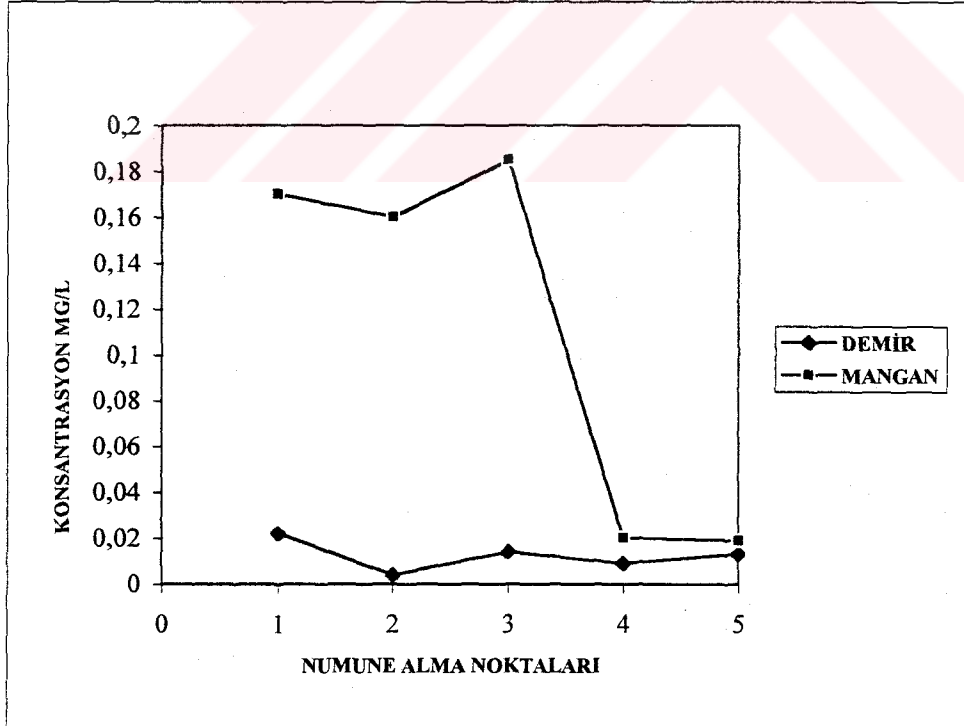
Şekil B.2: 02.08.2000 Tarihinde Muradiye Demir- Mangan Profili



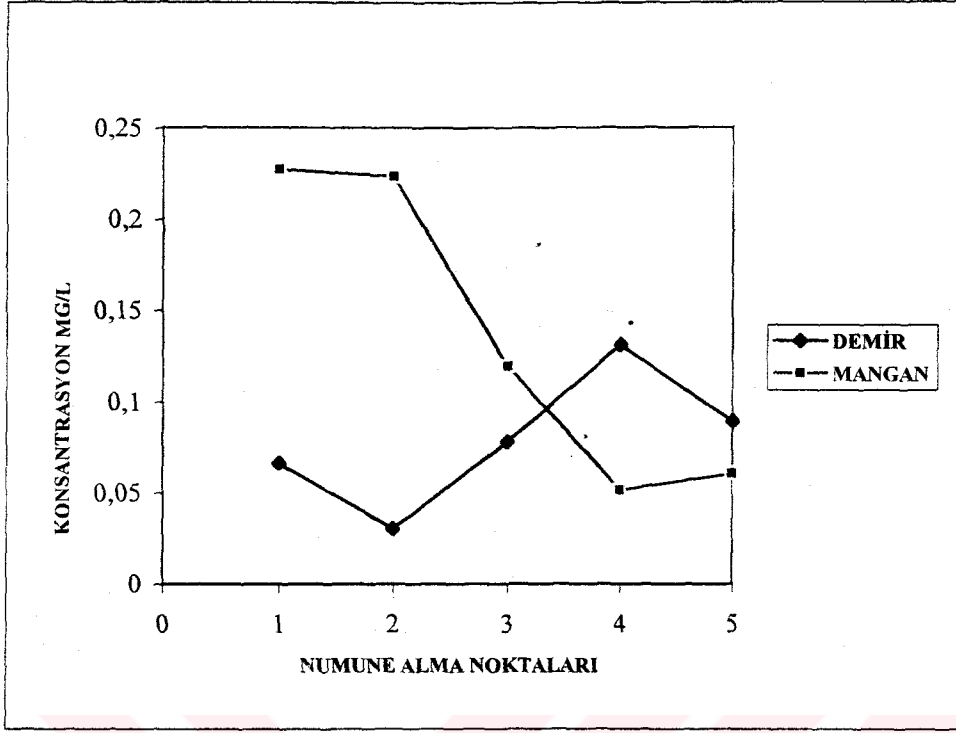
Şekil B.3: 03.08.2000 Tarihinde Muradiye Demir- Mangan Profili



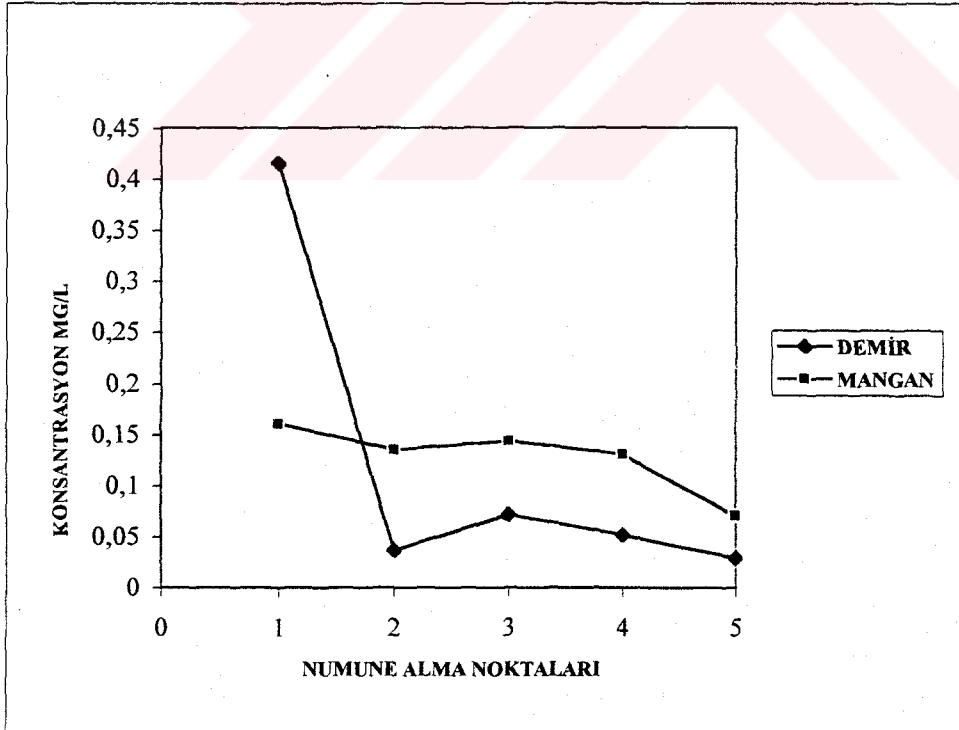
Şekil B.4: 04.08.2000 Tarihinde Muradiye Demir- Mangan Profili



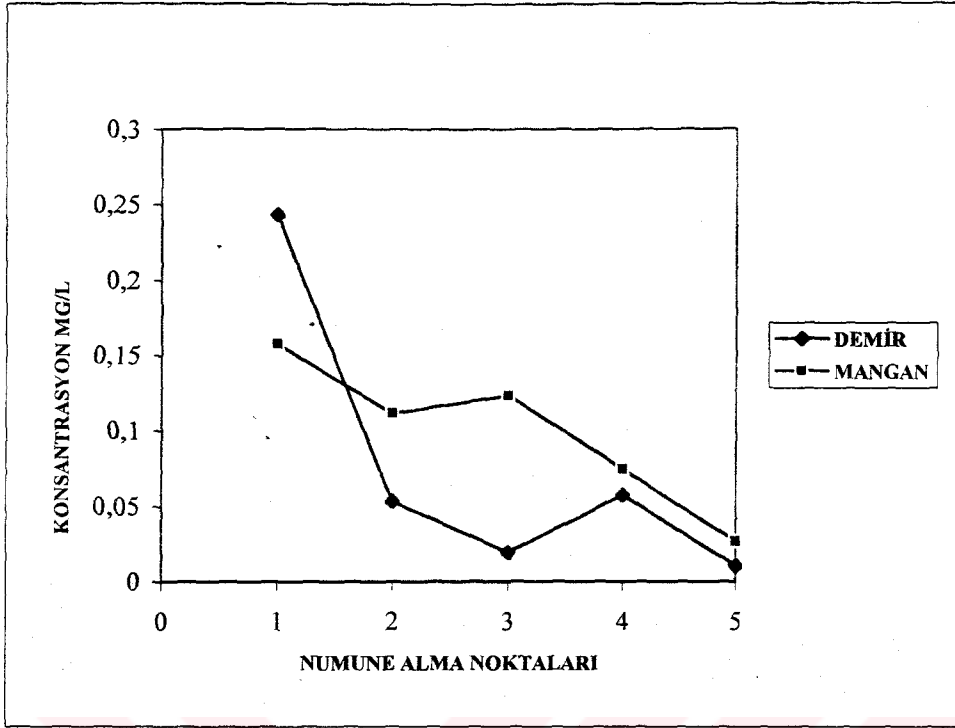
Şekil B.5: 17.08.2000 Tarihinde Muradiye Demir- Mangan Profili



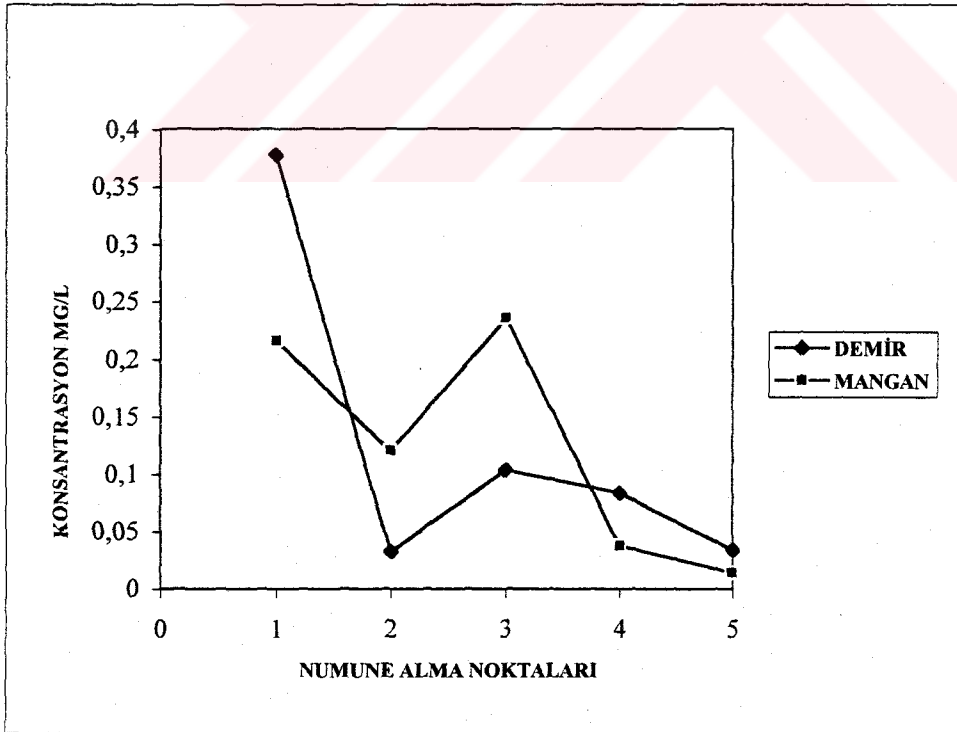
Şekil B.6: 24.08.2000 Tarihinde Muradiye Demir- Mangan Profili



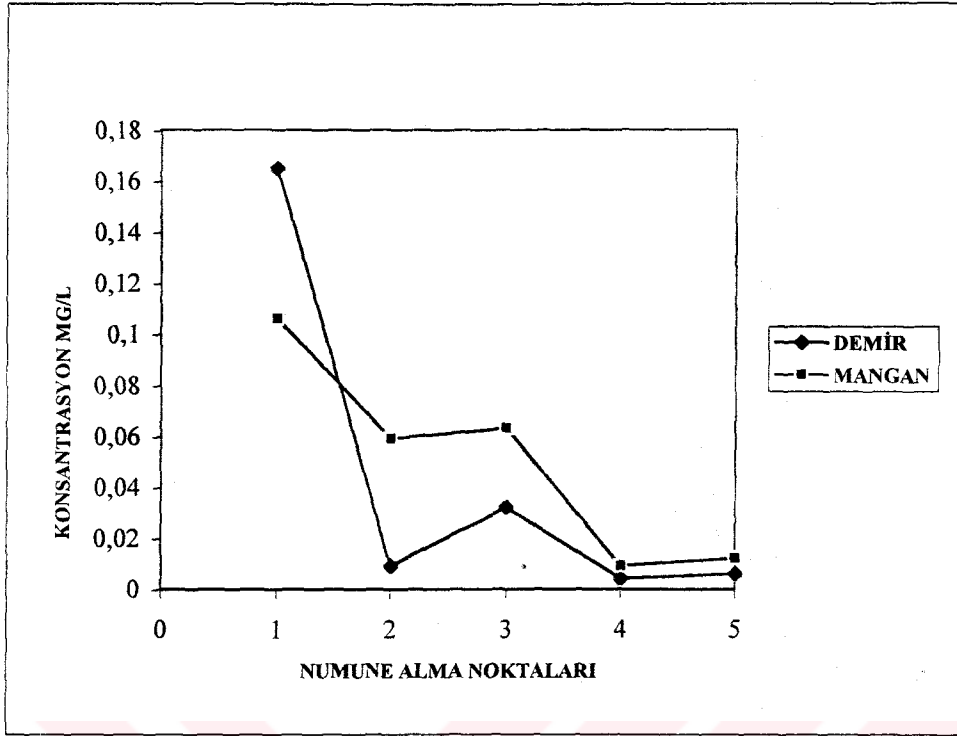
Şekil B.7: 31.08.2000 Tarihinde Muradiye Demir- Mangan Profili



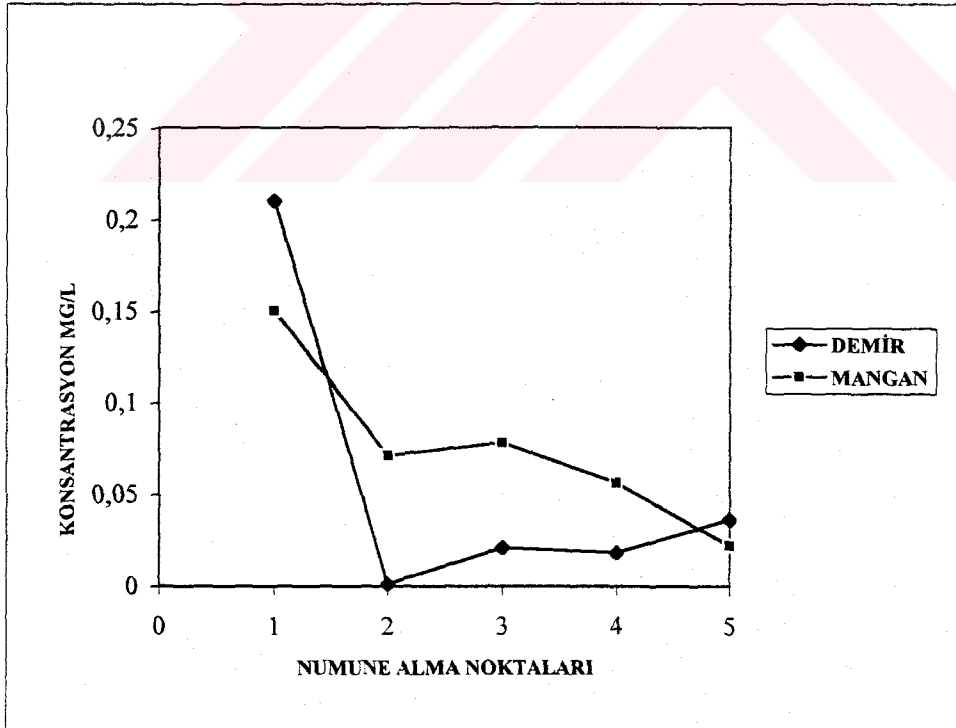
Şekil B.8: 14.09.2000 Tarihinde Muradiye Demir- Mangan Profili



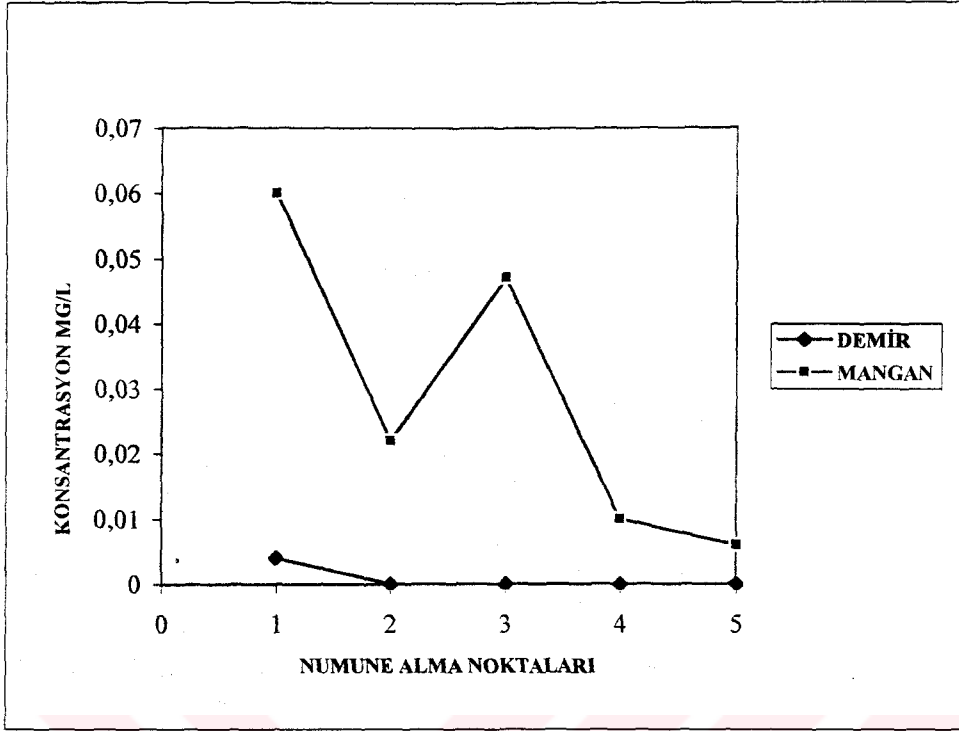
Şekil B.9: 21.09.2000 Tarihinde Muradiye Demir- Mangan Profili



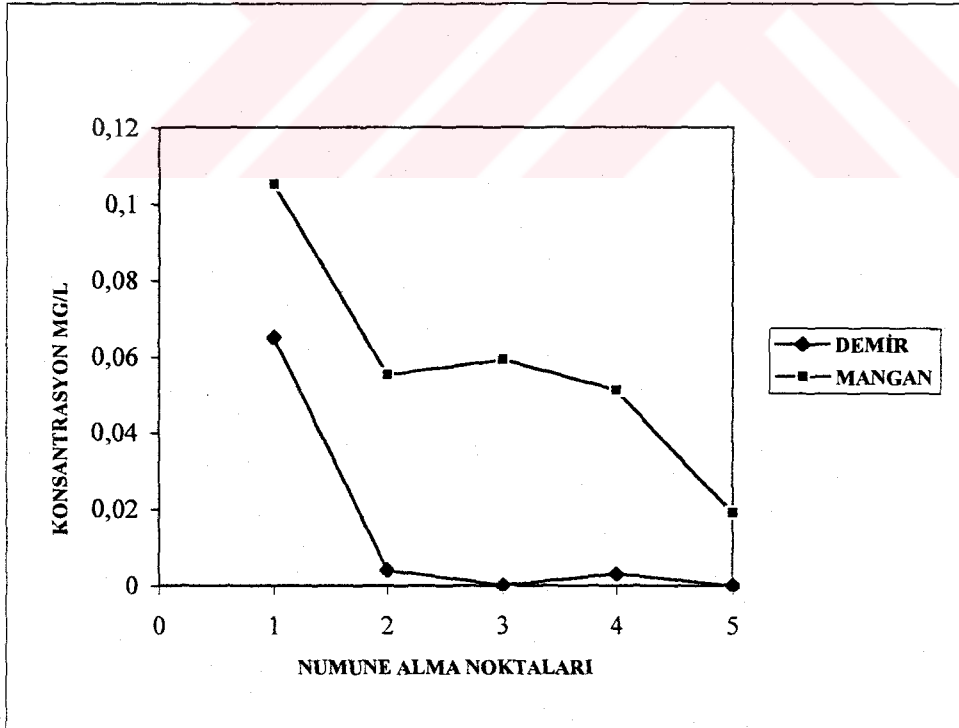
Şekil B.10: 03.10.2000 Tarihinde Muradiye Demir- Mangan Profili



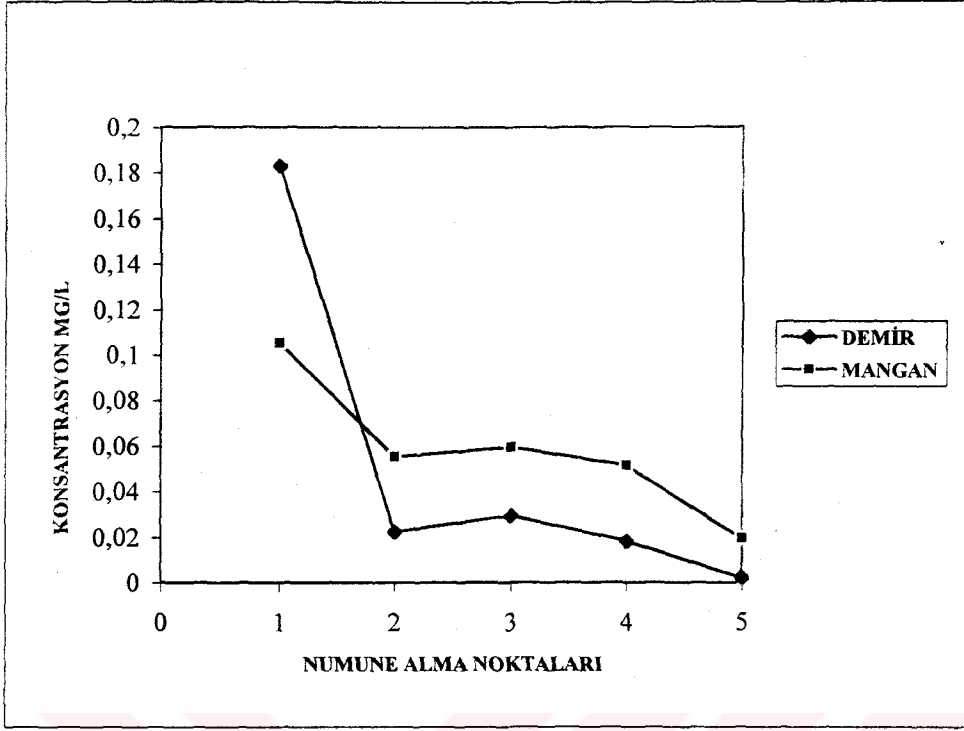
Şekil B.11: 12.10.2000 Tarihinde Muradiye Demir- Mangan Profili



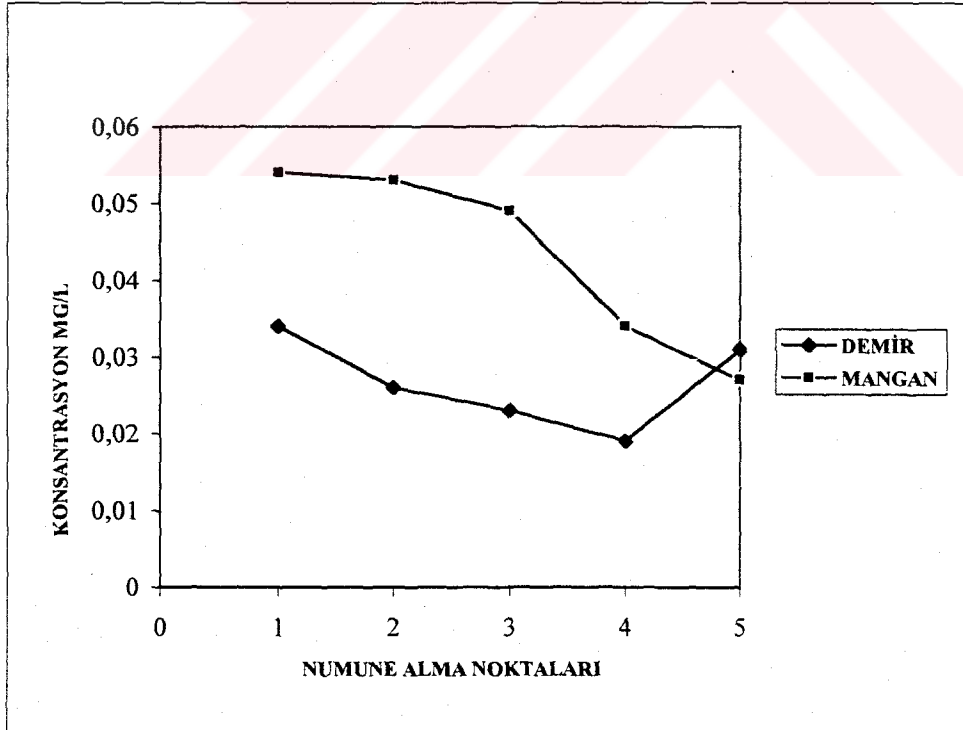
Şekil B.12: 19.10.2000 Tarihinde Muradiye Demir- Mangan Profili



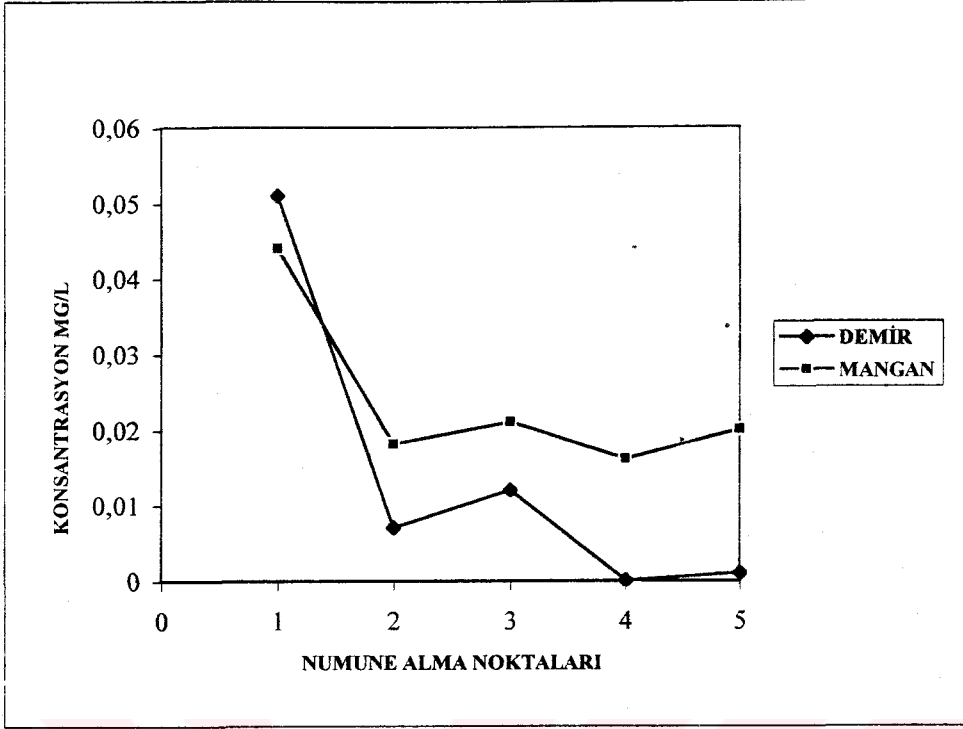
Şekil B.13: 26.10.2000 Tarihinde Muradiye Demir- Mangan Profili



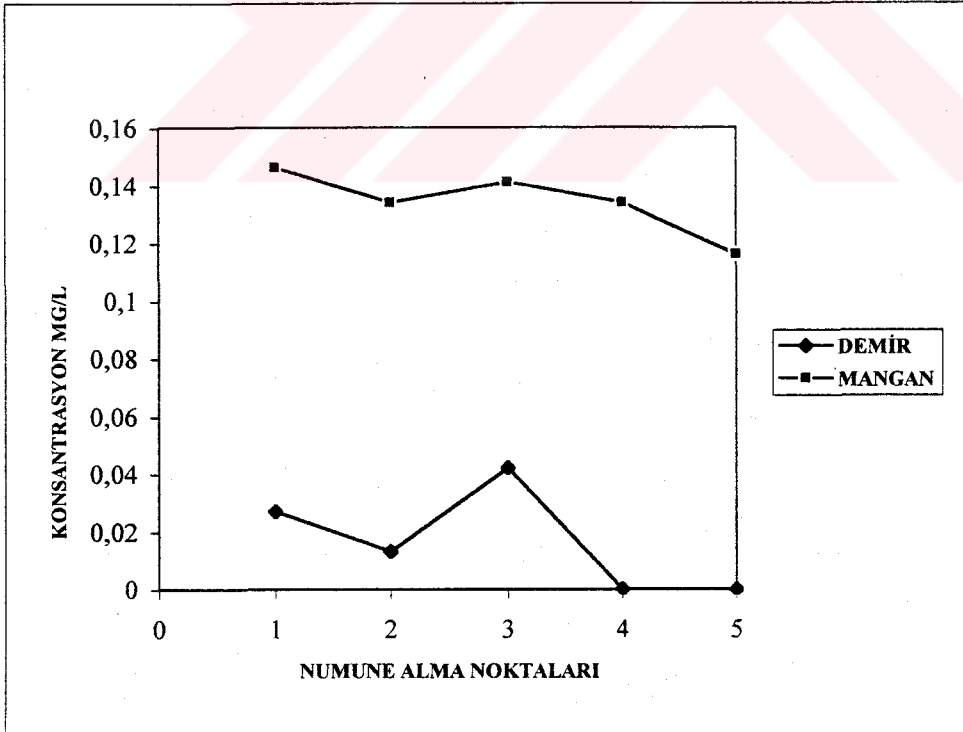
Şekil B.14: 02.11.2000 Tarihinde Muradiye Demir- Mangan Profili



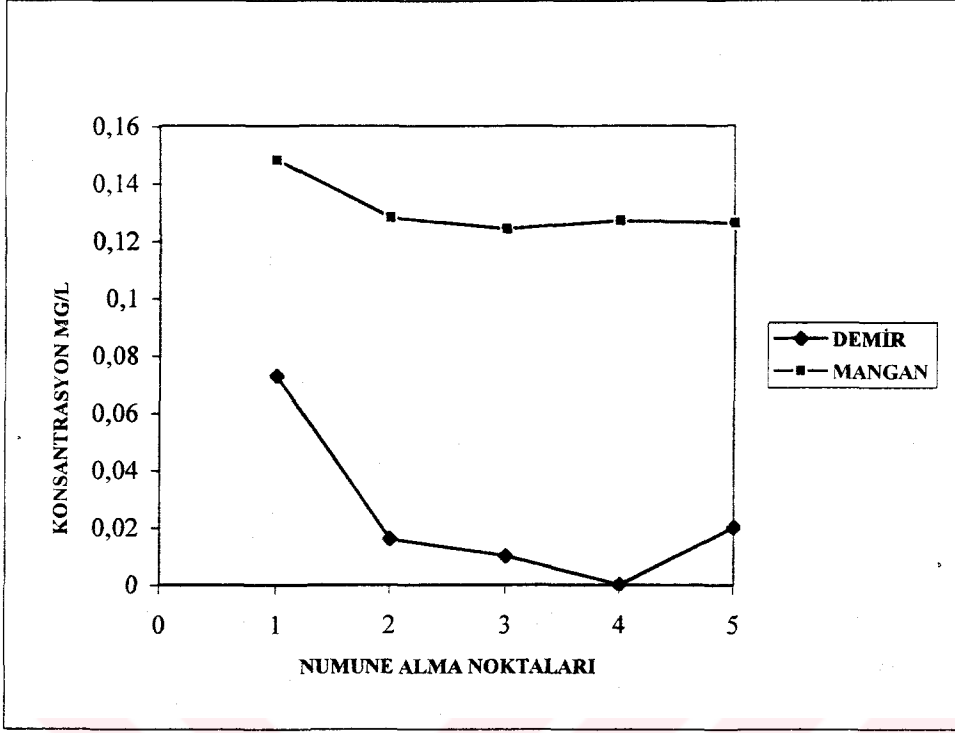
Şekil B.15: 09.11.2000 Tarihinde Muradiye Demir- Mangan Profili



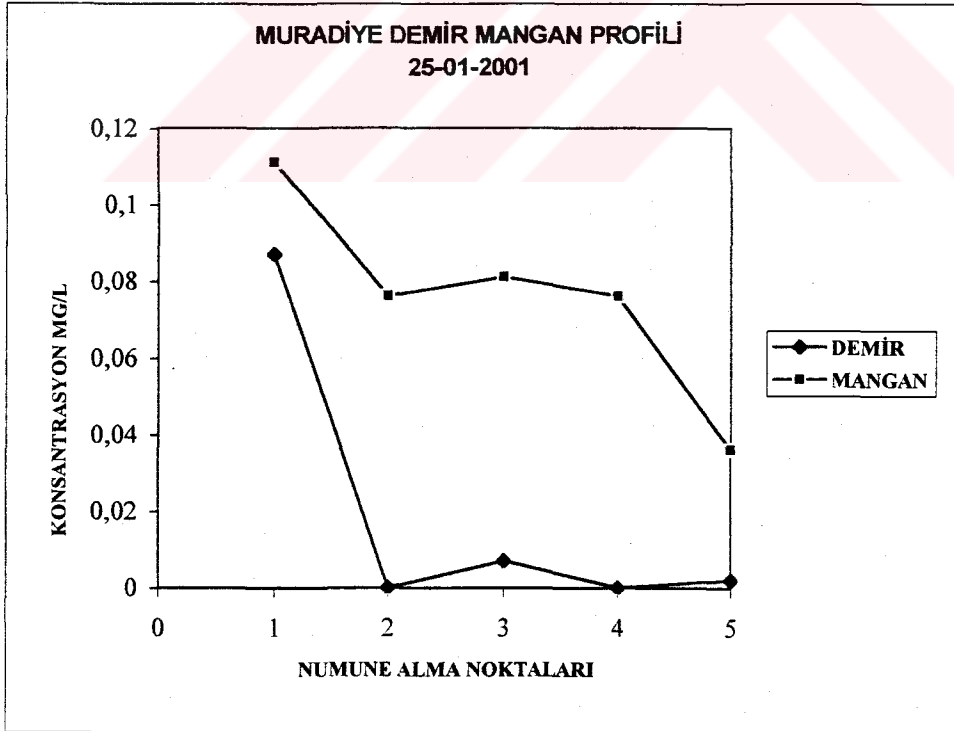
Şekil B.16: 07.12.2000 Tarihinde Muradiye Demir- Mangan Profili



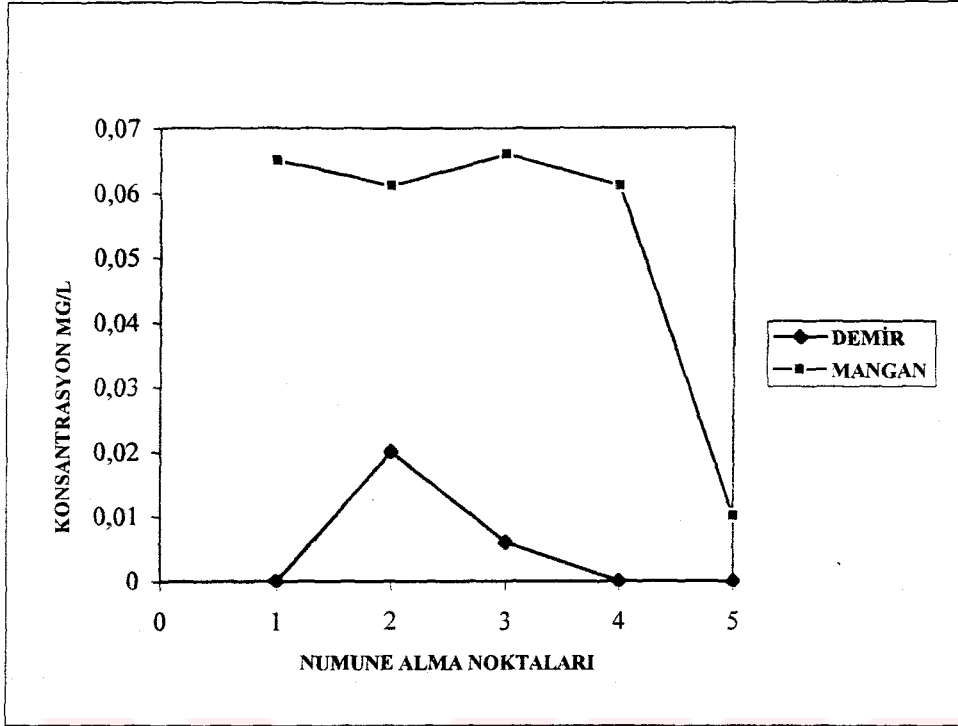
Şekil B.17: 11.01.2001 Tarihinde Muradiye Demir- Mangan Profili



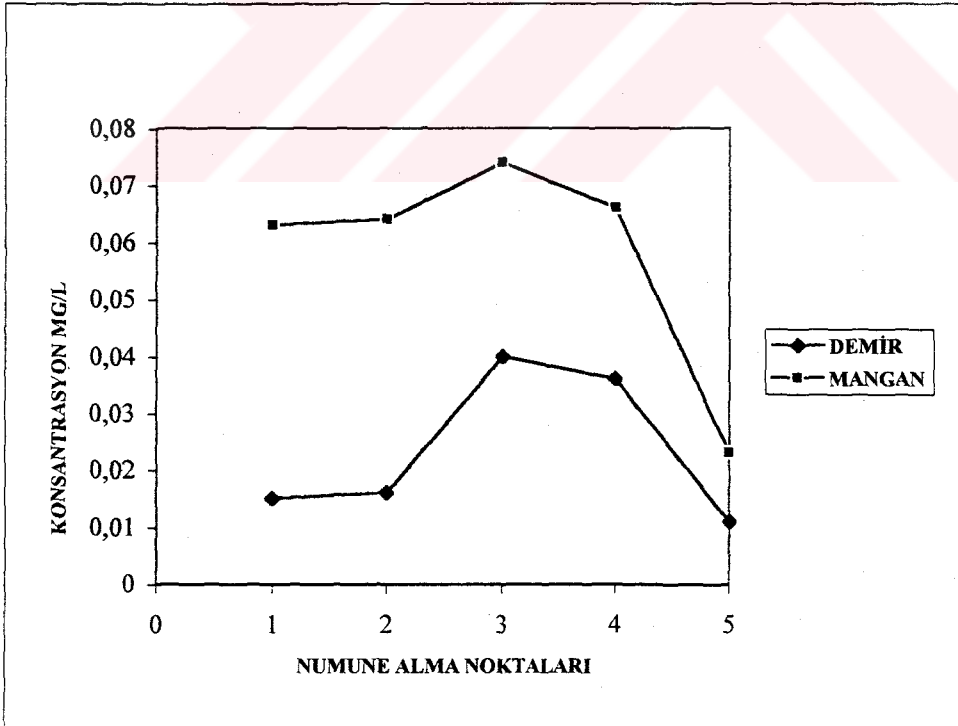
Şekil B.18: 18.01.2001 Tarihinde Muradiye Demir- Mangan Profili



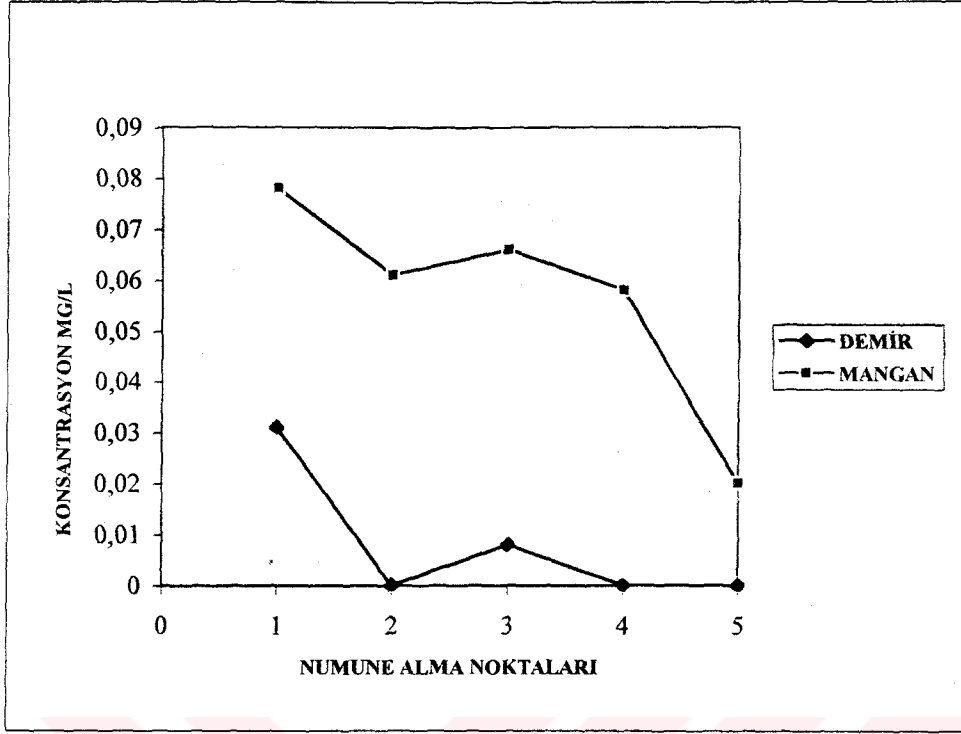
Şekil B.19: 25.01.2001 Tarihinde Muradiye Demir- Mangan Profili



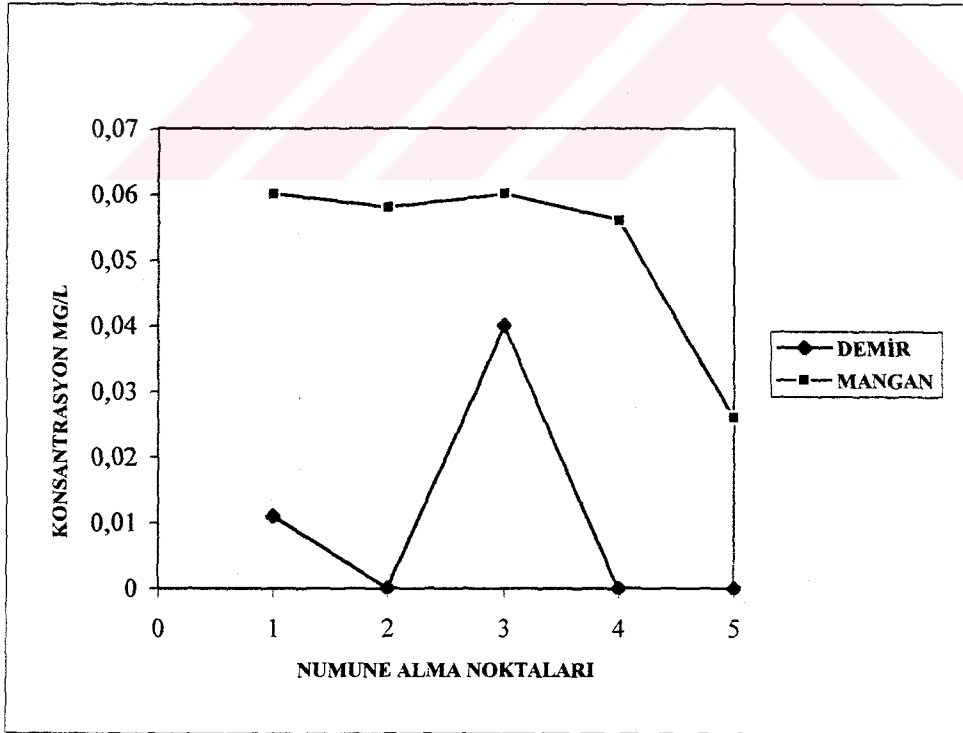
Şekil B.20: 01.02.2001 Tarihinde Muradiye Demir- Mangan Profili



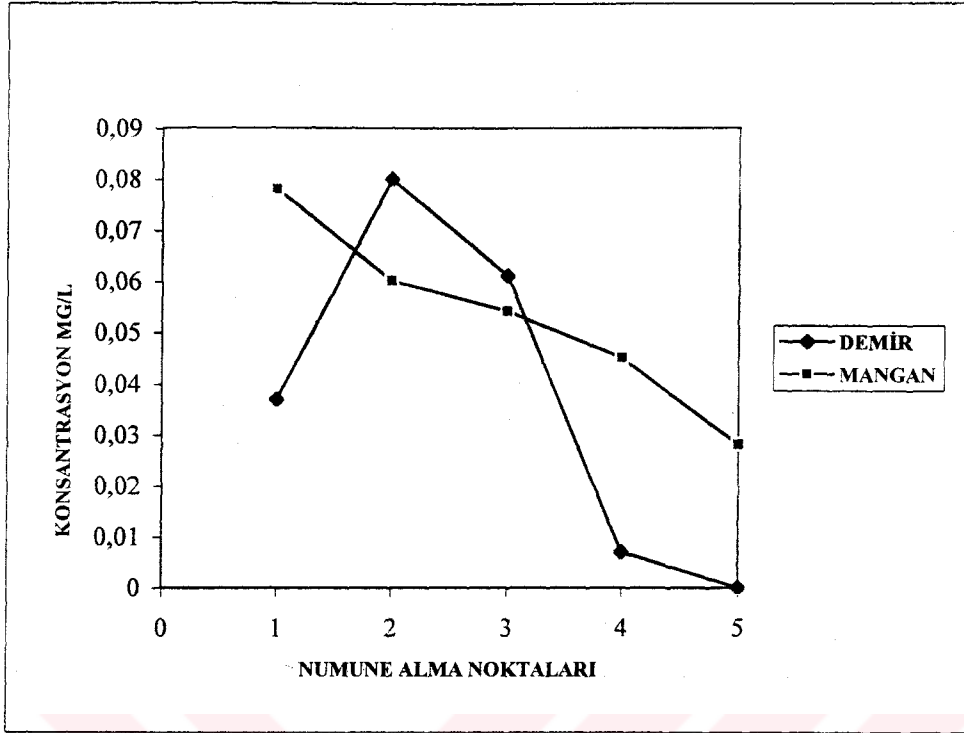
Şekil B.21: 08.02.2001 Tarihinde Muradiye Demir- Mangan Profili



Şekil B.22: 12.02.2001 Tarihinde Muradiye Demir- Mangan Profili



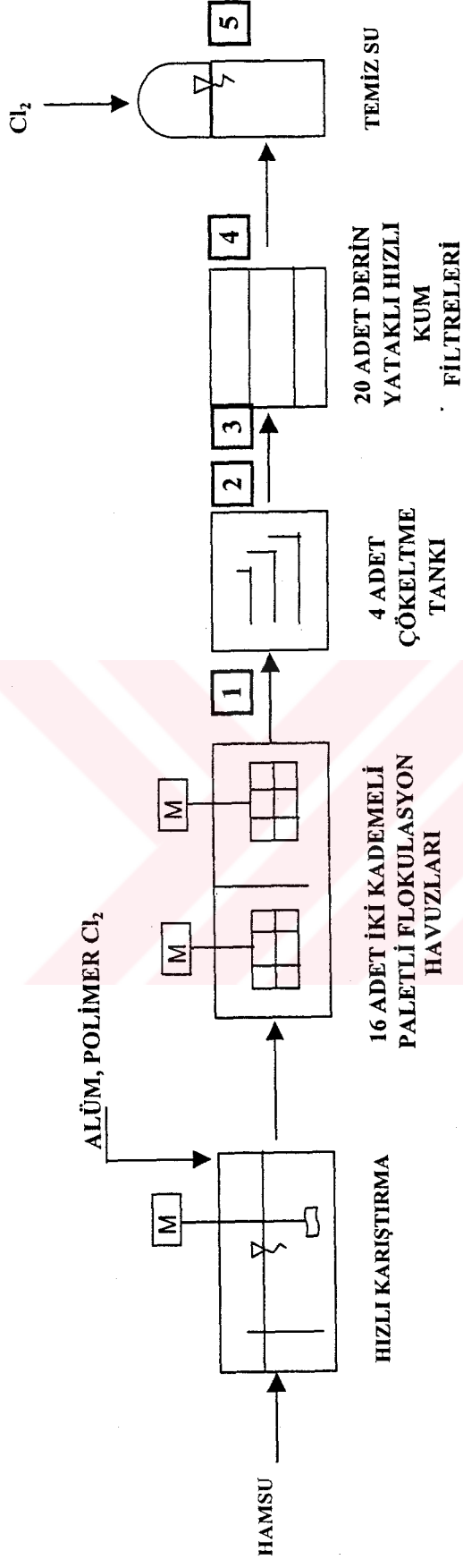
Şekil B.23: 15.02.2001 Tarihinde Muradiye Demir- Mangan Profili



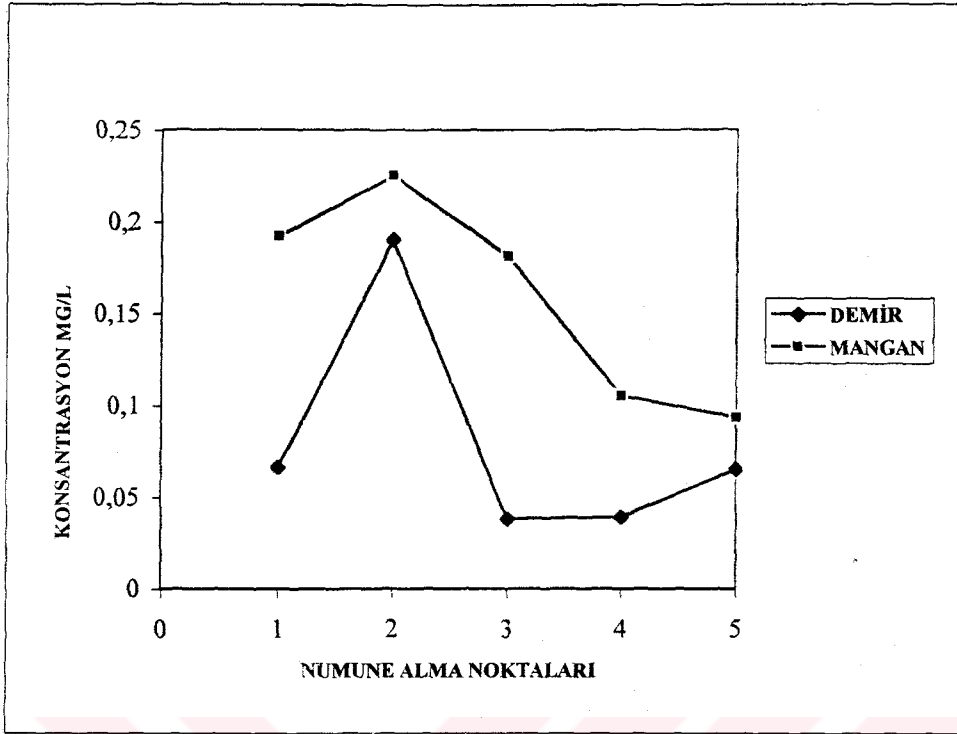
Şekil B.24: 22.02.2001 Tarihinde Muradiye Demir- Mangan Profili



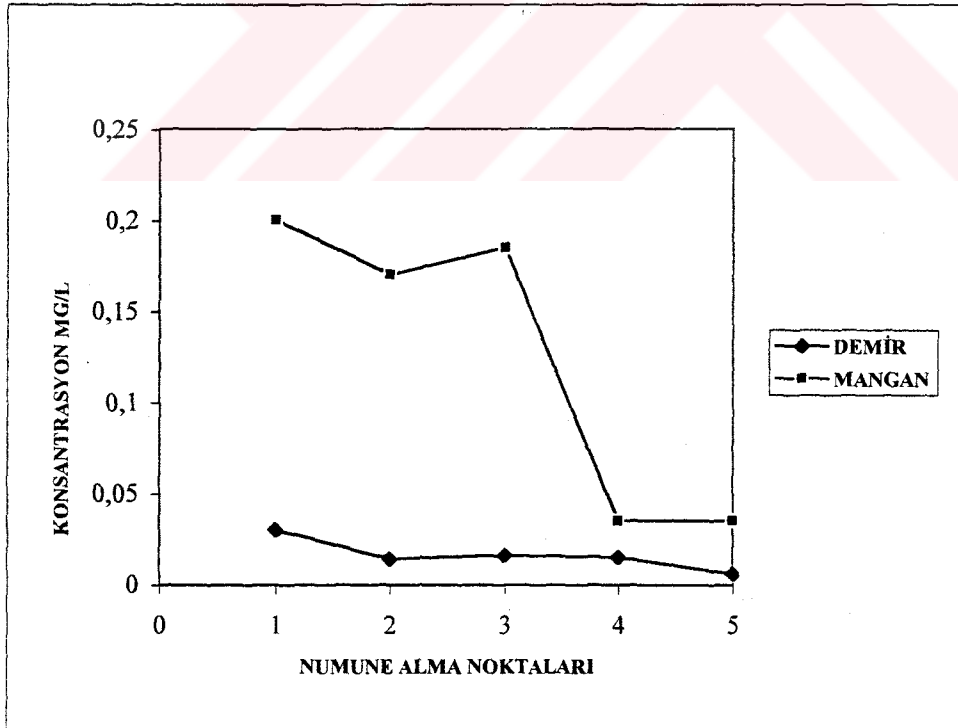
EK C : ORHANIYE DEMİR-MANGAN PROFİLİ



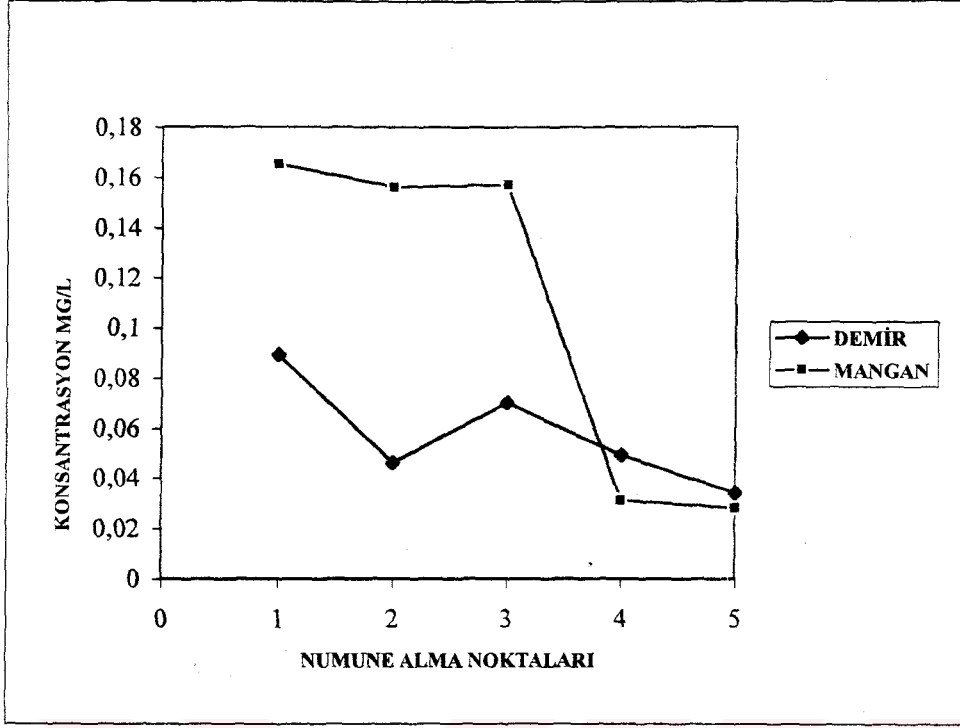
ŞEKİL C.1: ÖMERLİ ORHANIYE İÇME SUYU TASFIYE TESİSİ AKIM ŞEMASI



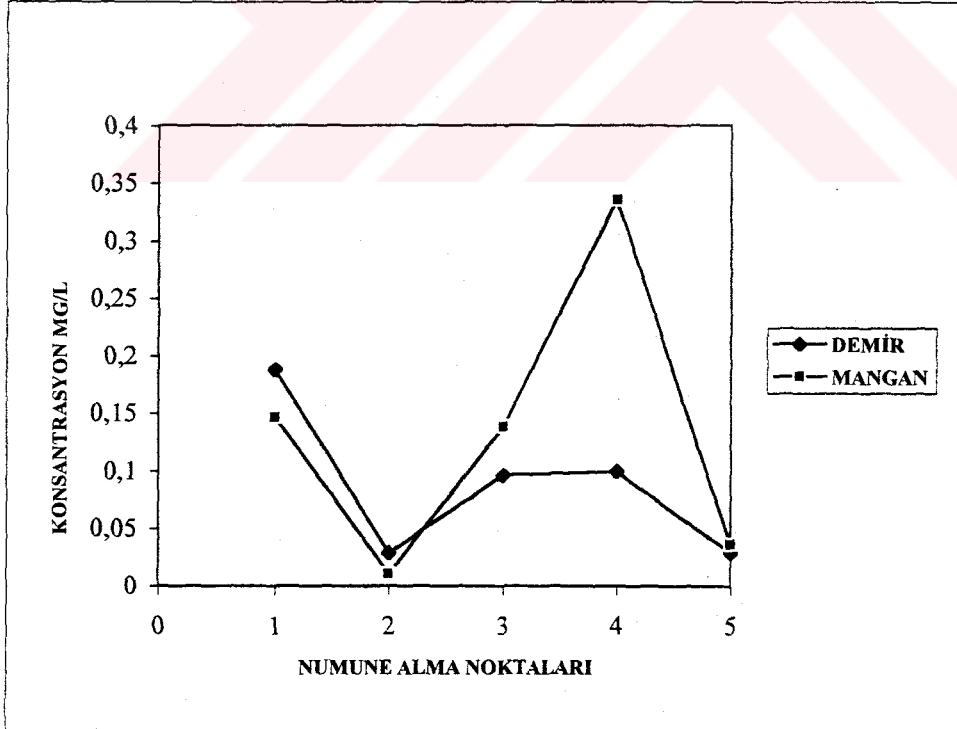
Şekil C.2: 03.08.2000 Tarihinde Orhaniye Demir-Mangan Profili



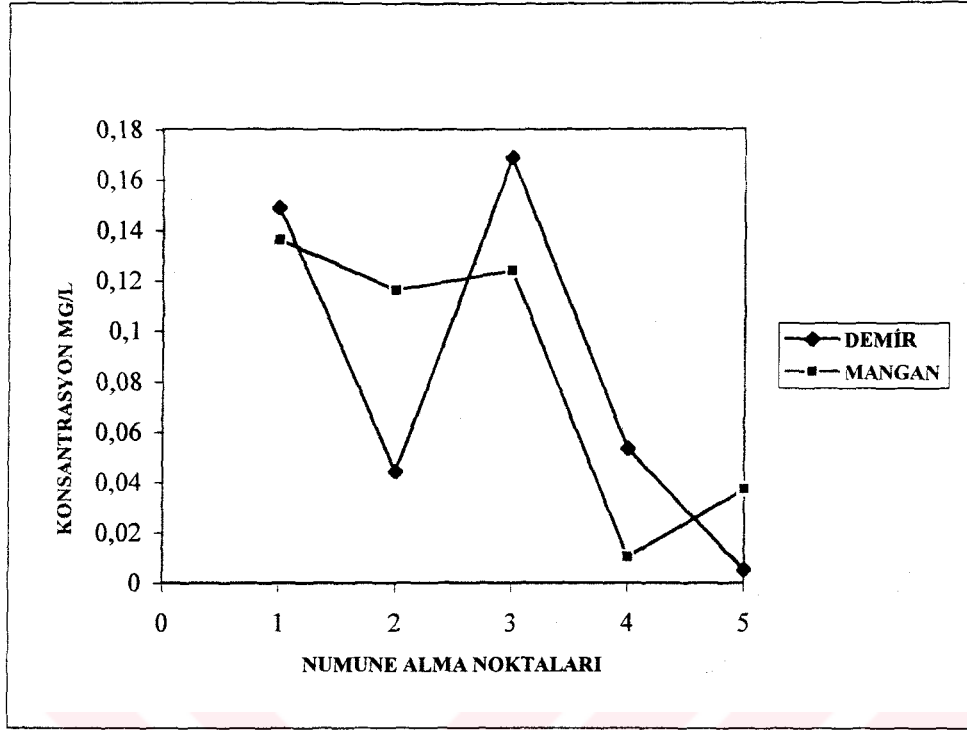
Şekil C.3: 17.08.2000 Tarihinde Orhaniye Demir-Mangan Profili



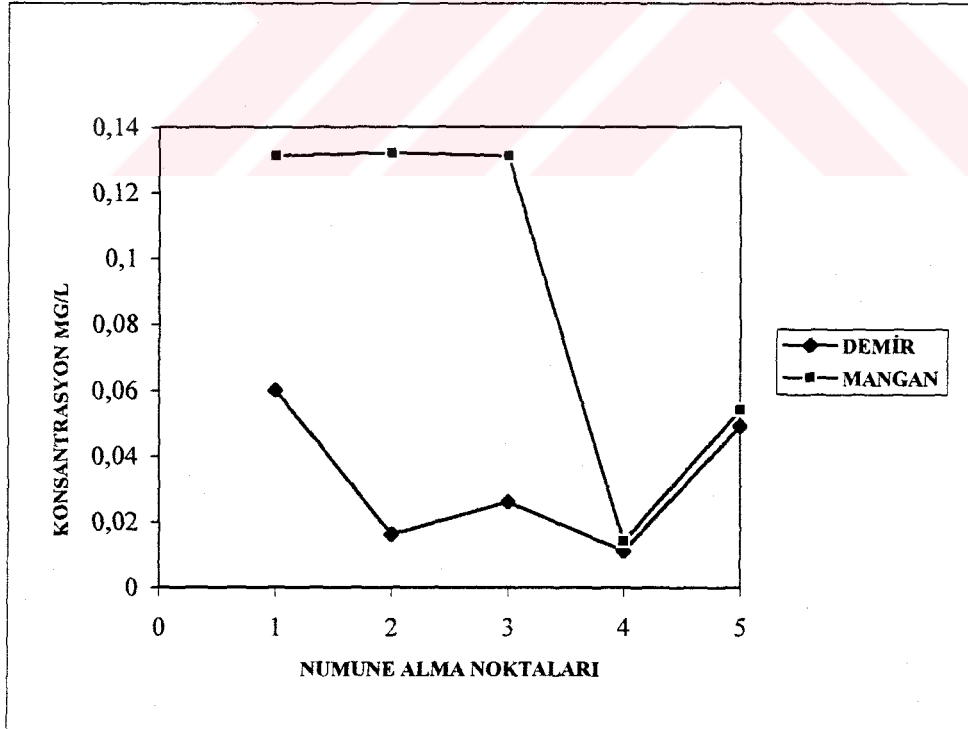
Şekil C.4: 24.08.2000 Tarihinde Orhaniye Demir-Mangan Profili



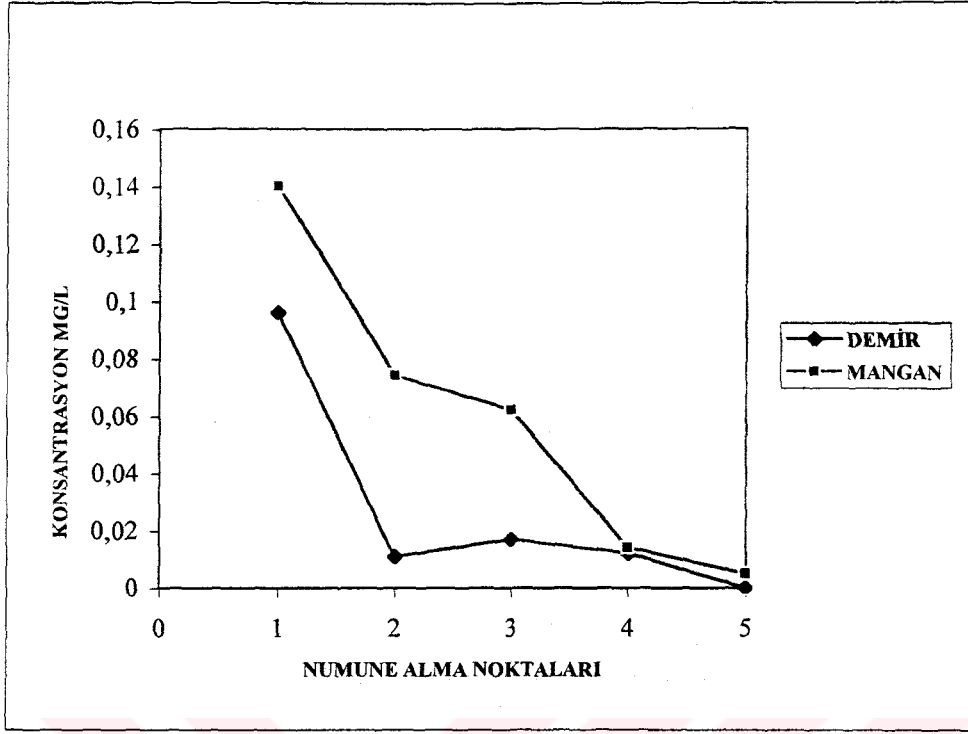
Şekil C.5: 31.08.2000 Tarihinde Orhaniye Demir-Mangan Profili



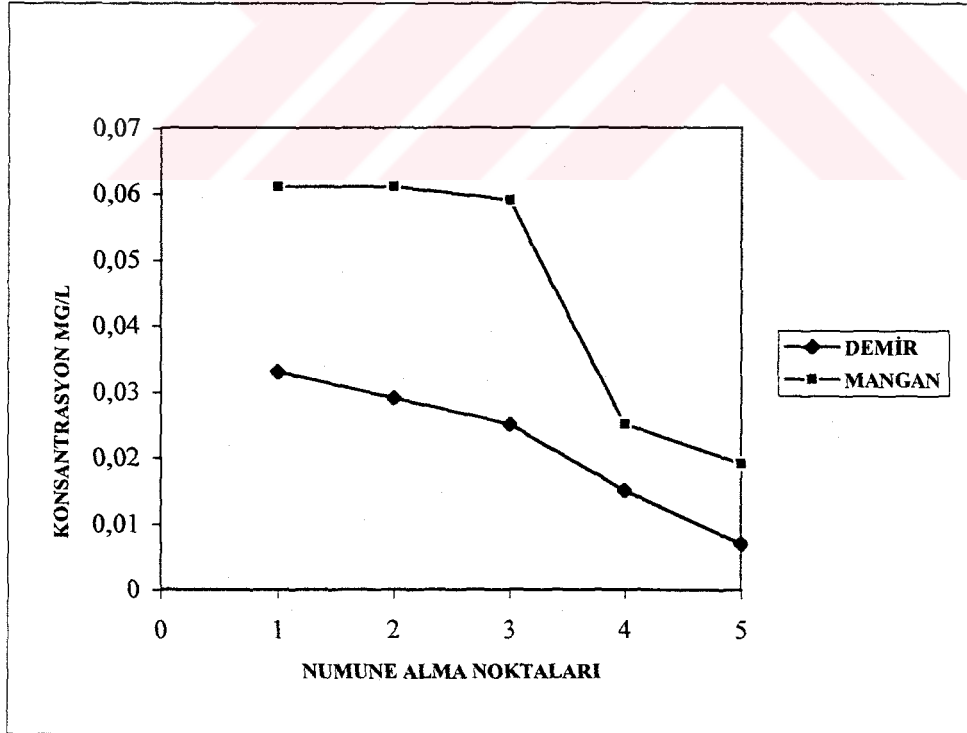
Şekil C.6: 14.09.2000 Tarihinde Orhaniye Demir-Mangan Profili



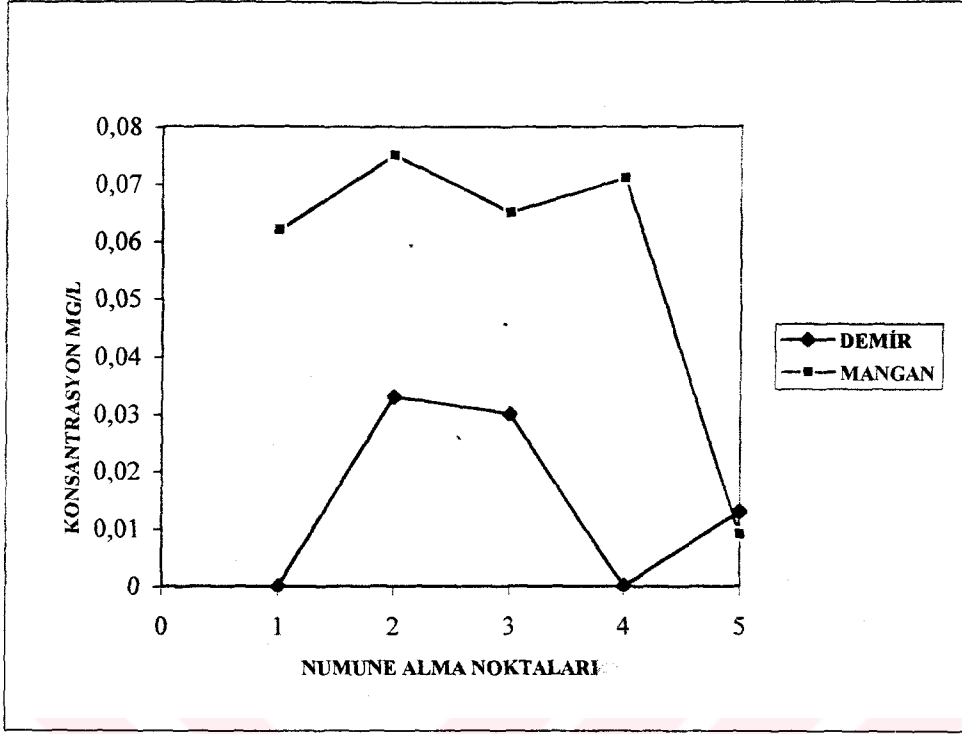
Şekil C.7: 21.09.2000 Tarihinde Orhaniye Demir-Mangan Profili



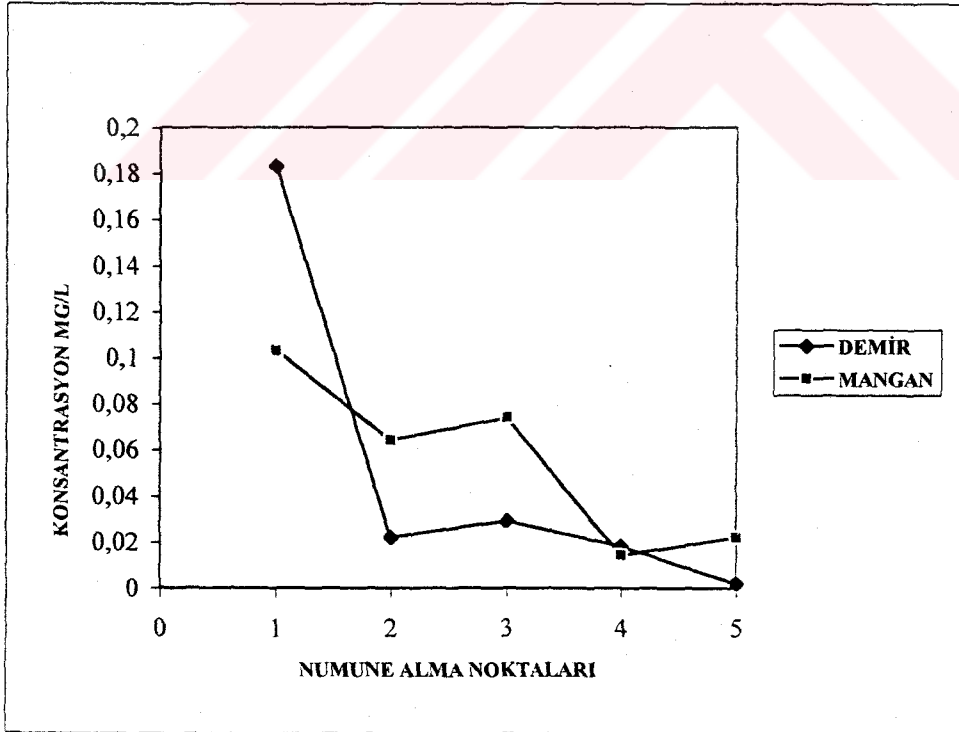
Şekil C.8: 12.10.2000 Tarihinde Orhaniye Demir-Mangan Profili



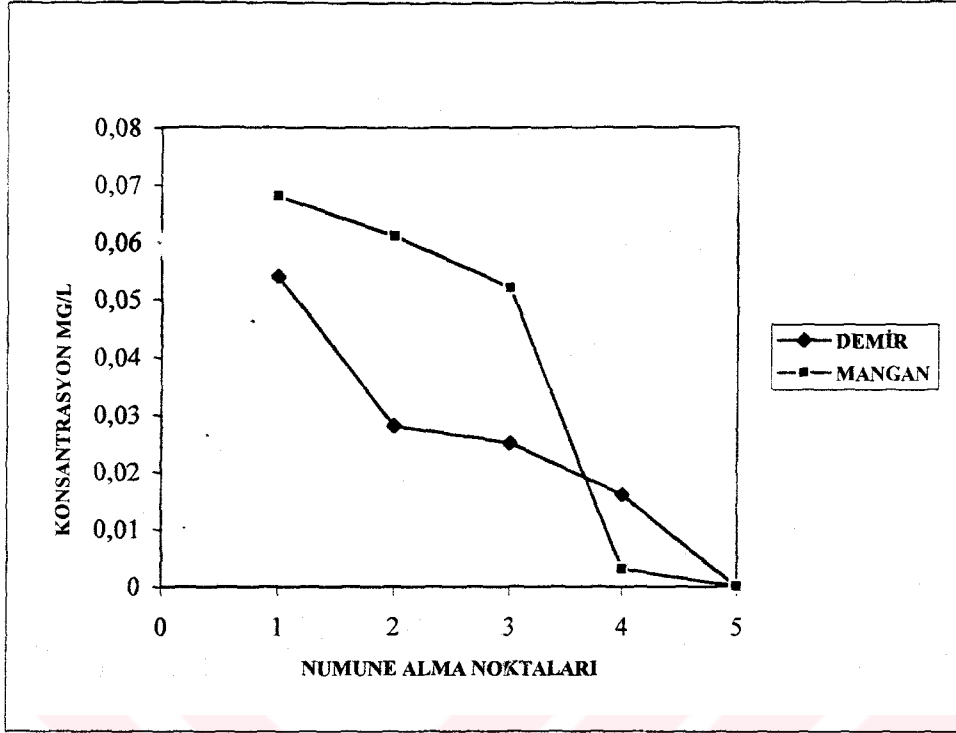
Şekil C.9: 19.10.2000 Tarihinde Orhaniye Demir-Mangan Profili



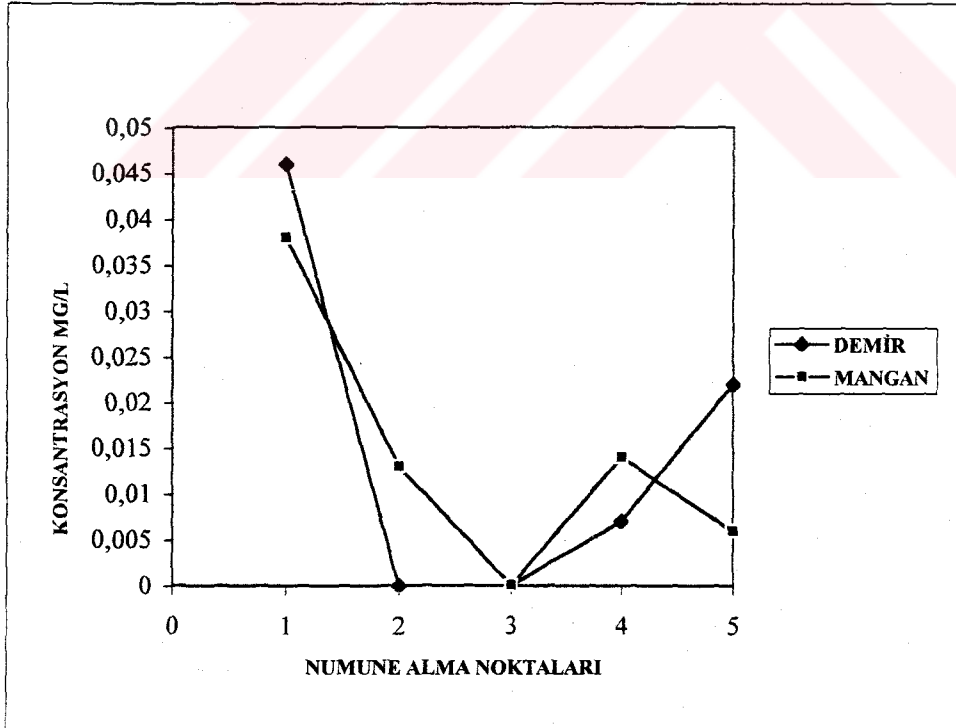
Şekil C.10: 26.10.2000 Tarihinde Orhaniye Demir-Mangan Profili



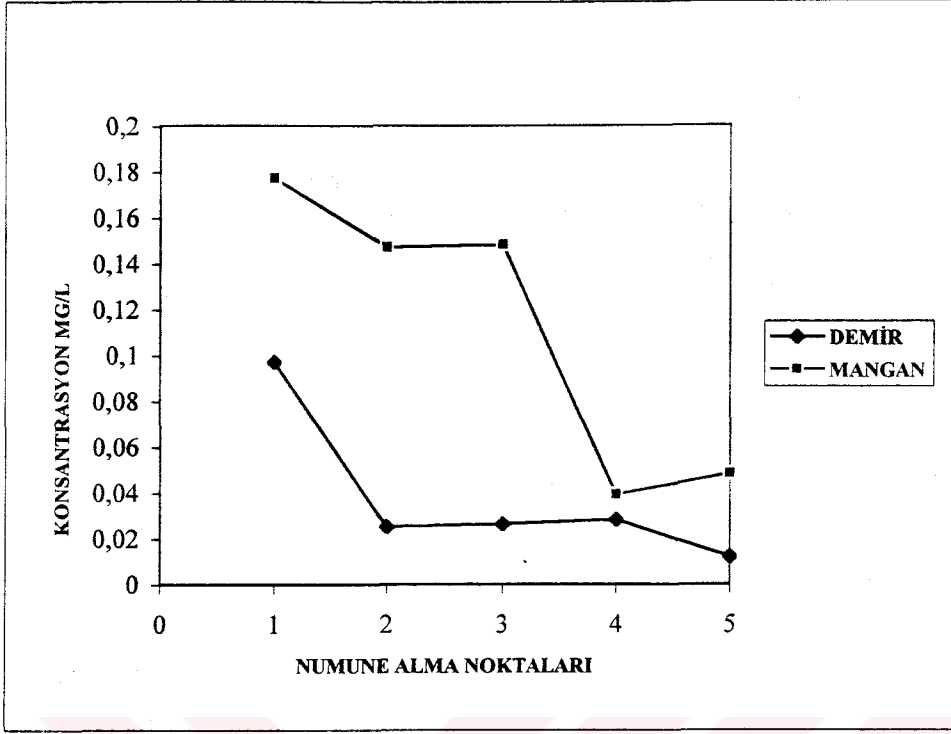
Şekil C.11: 02.11.2000 Tarihinde Orhaniye Demir-Mangan Profili



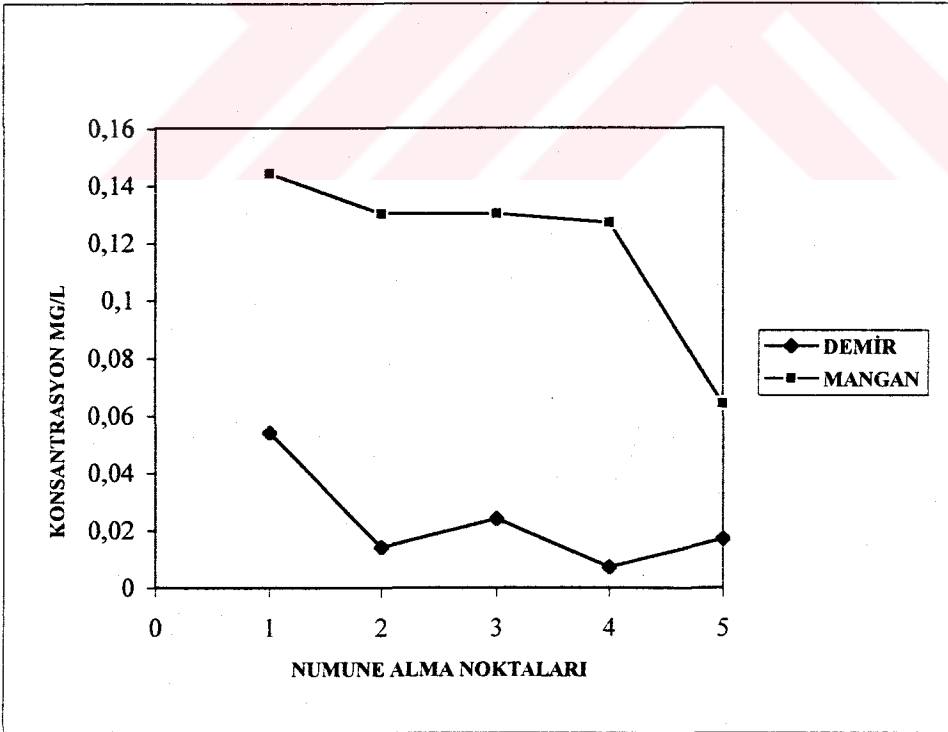
Şekil C.12: 09.11.2000 Tarihinde Orhaniye Demir-Mangan Profili



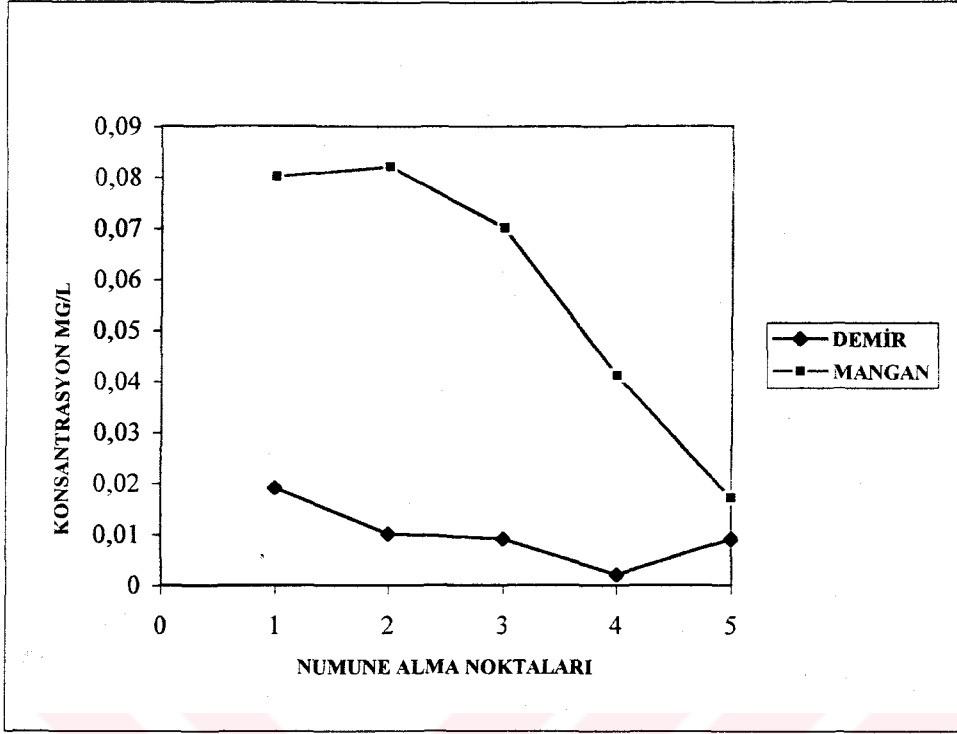
Şekil C.13: 07.12.2000 Tarihinde Orhaniye Demir-Mangan Profili



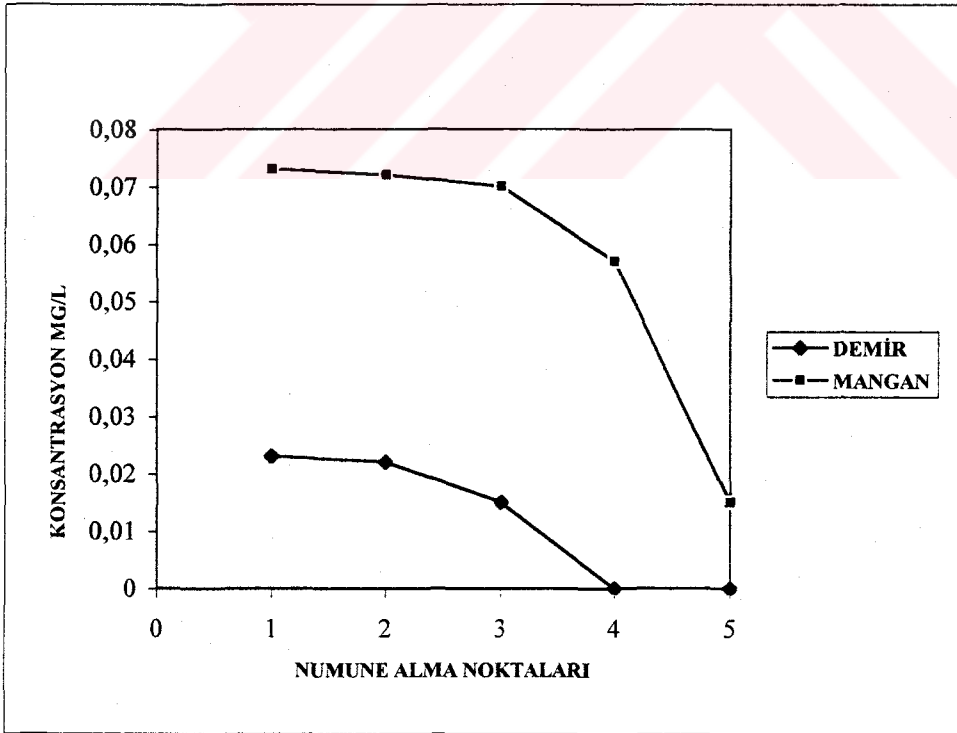
Şekil C.14: 11.01.2001 Tarihinde Orhaniye Demir-Mangan Profili



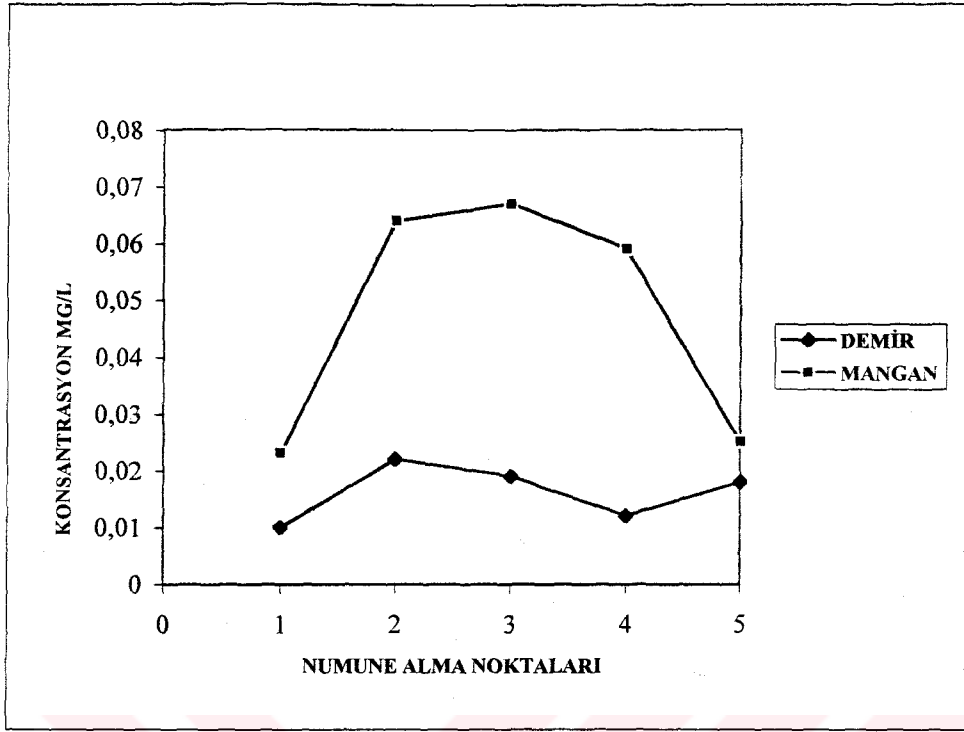
Şekil C.15: 18.01.2001 Tarihinde Orhaniye Demir-Mangan Profili



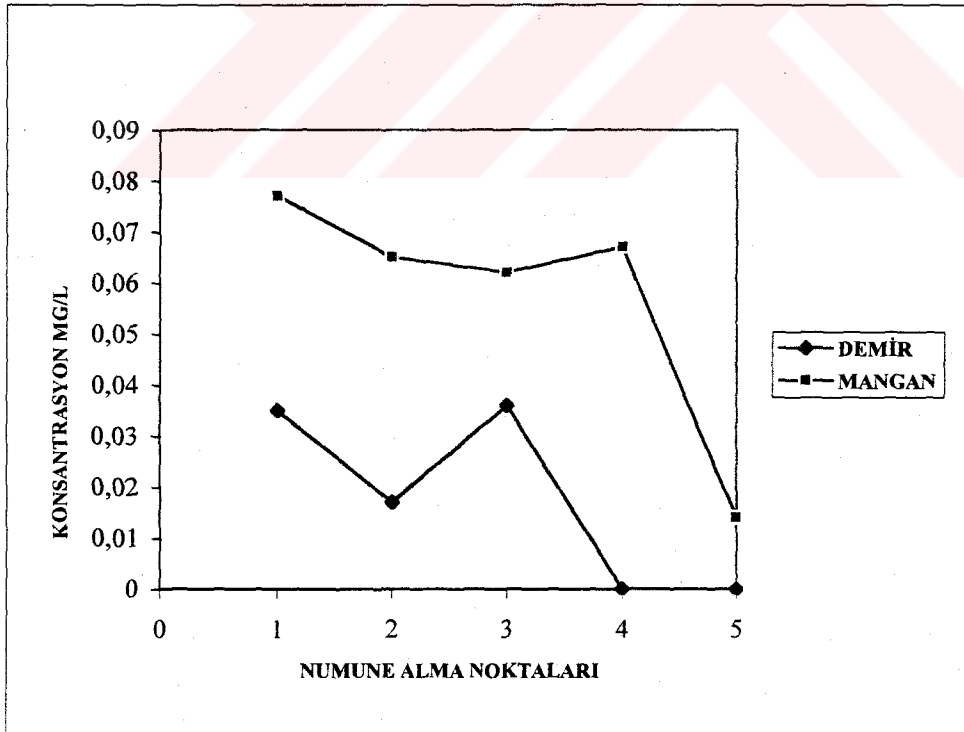
Şekil C.16: 25.01.2001 Tarihinde Orhaniye Demir-Mangan Profili



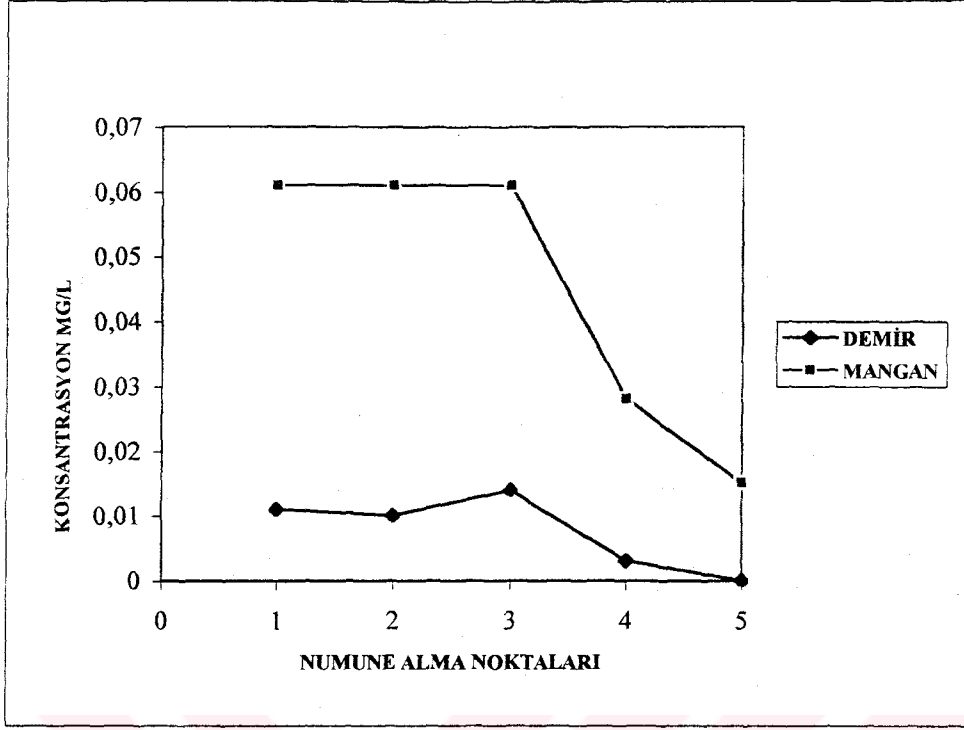
Şekil C.17: 01.02.2001 Tarihinde Orhaniye Demir-Mangan Profili



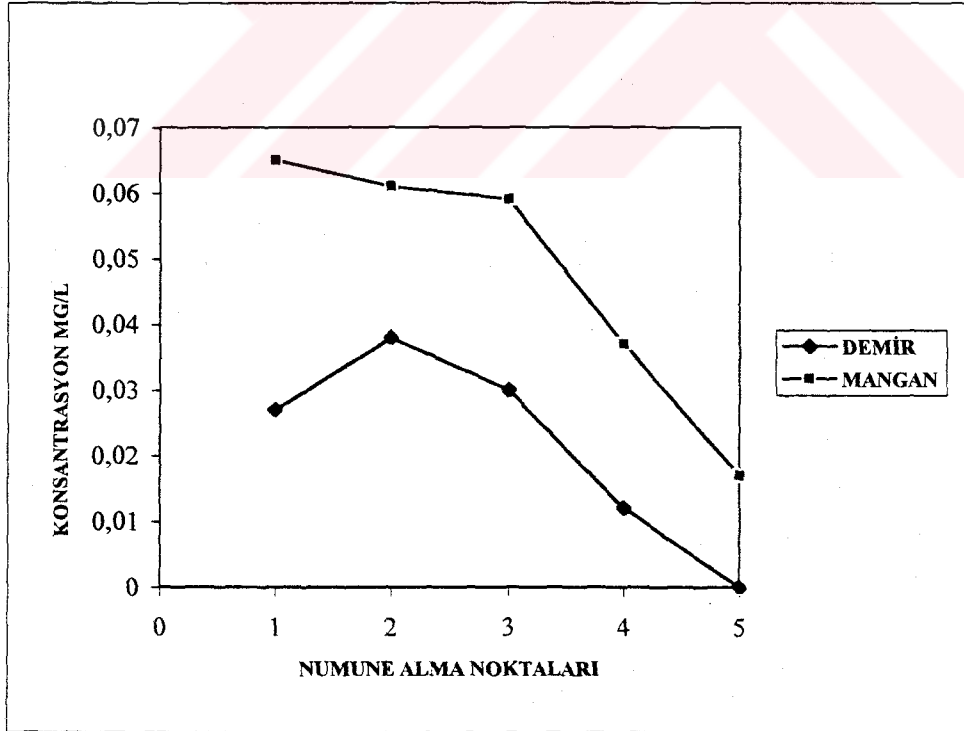
Şekil C.18: 08.02.2001 Tarihinde Orhaniye Demir-Mangan Profili



Şekil C.19: 12.02.2001 Tarihinde Orhaniye Demir-Mangan Profili



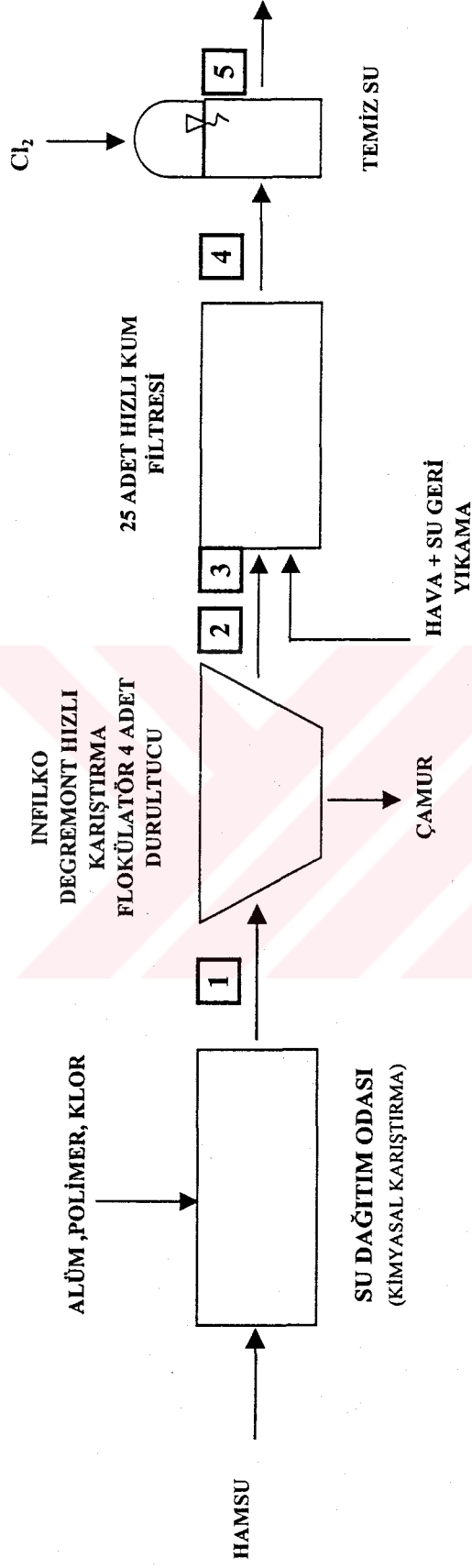
Şekil C.20: 15.02.2001 Tarihinde Orhaniye Demir-Mangan Profili



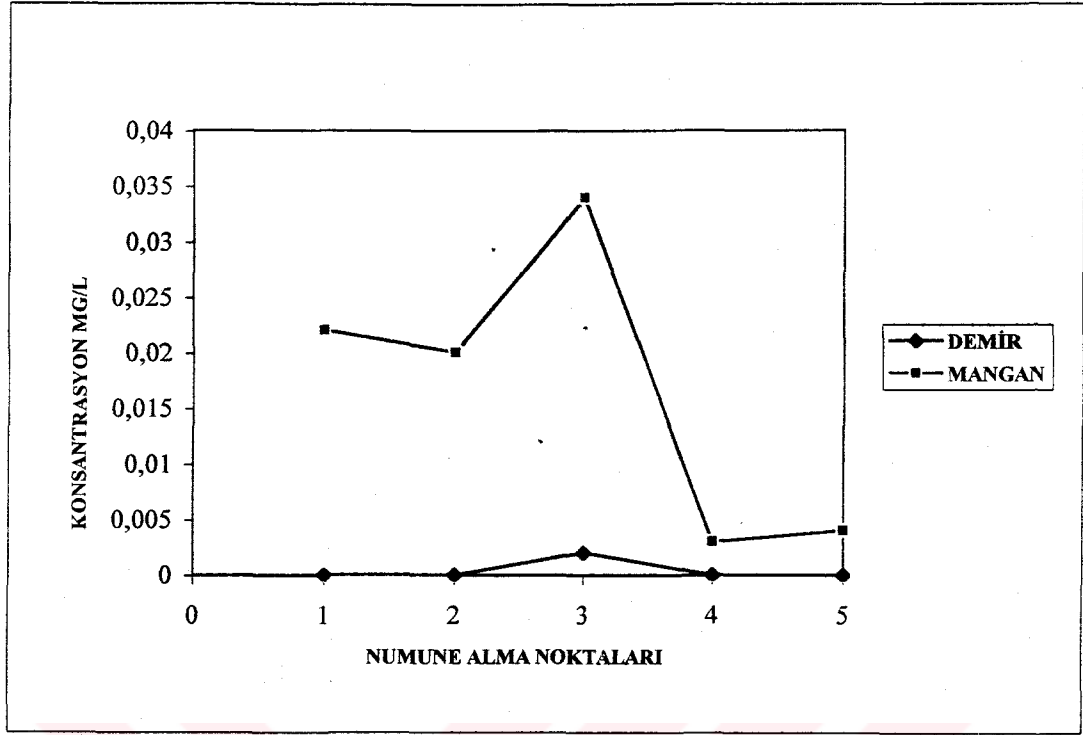
Şekil C.21: 22.02.2001 Tarihinde Orhaniye Demir-Mangan Profili



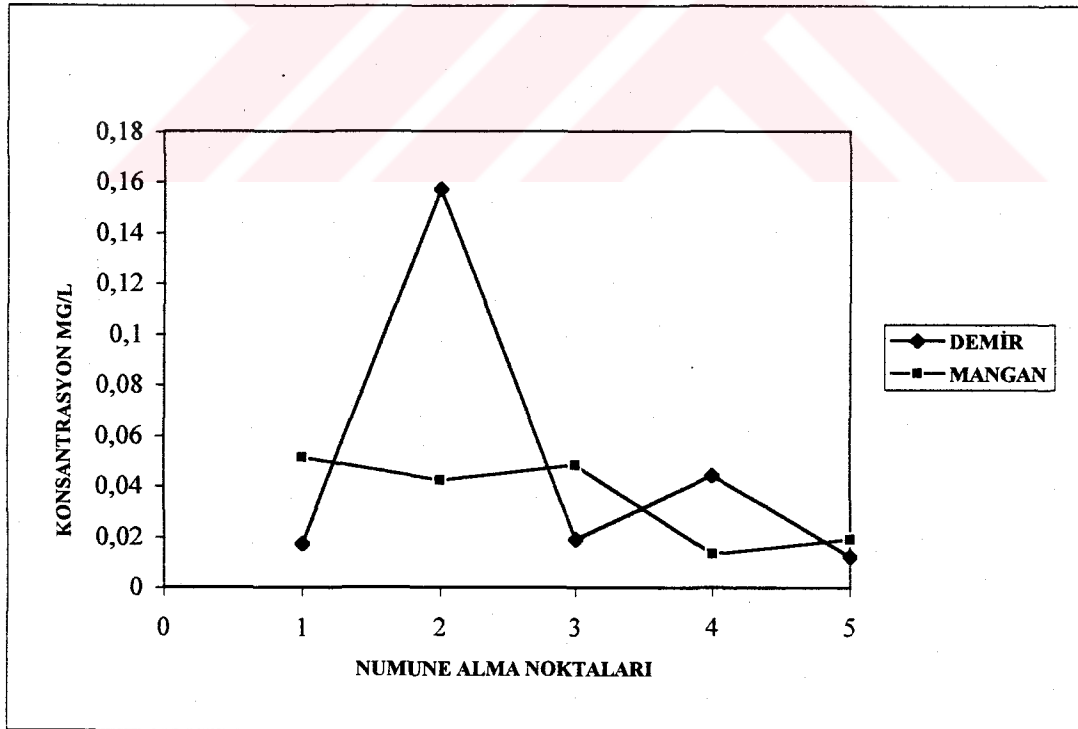
EK D : OSMANİYE DEMİR-MANGAN PROFİLİ



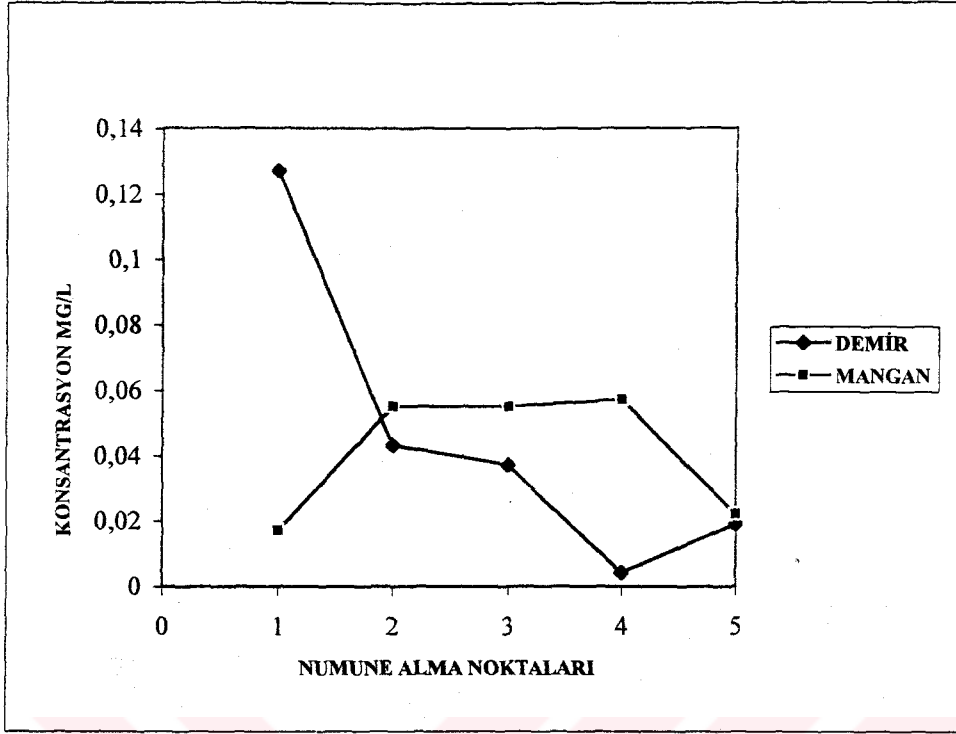
ŞEKİL D.1: ÖMERLİ OSMANİYE İÇME SUYU TASFİYE TESİSİ AKIM ŞEMASI



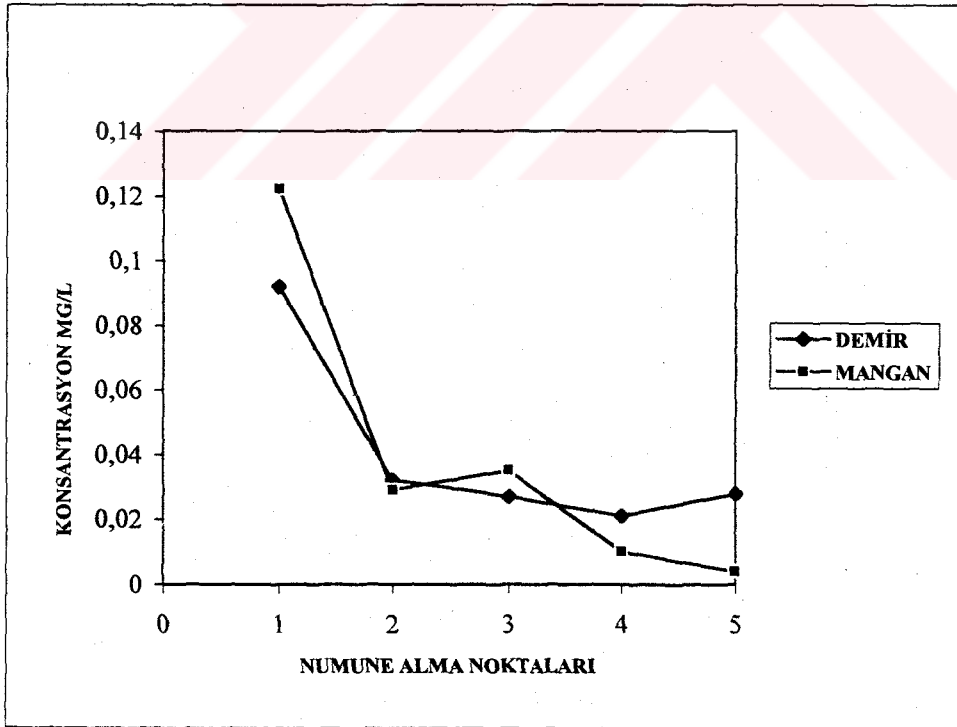
Şekil D.2: 19.10.2000 Tarihinde Osmaniye Demir-Mangan Profili



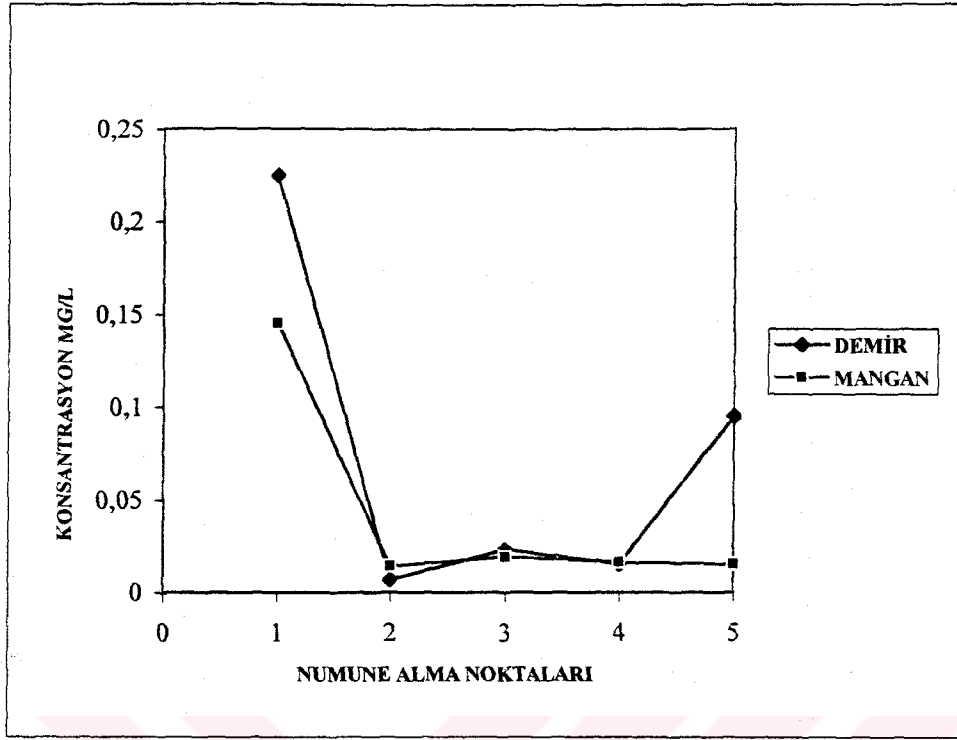
Şekil D.3: 26.10.2000 Tarihinde Osmaniye Demir-Mangan Profili



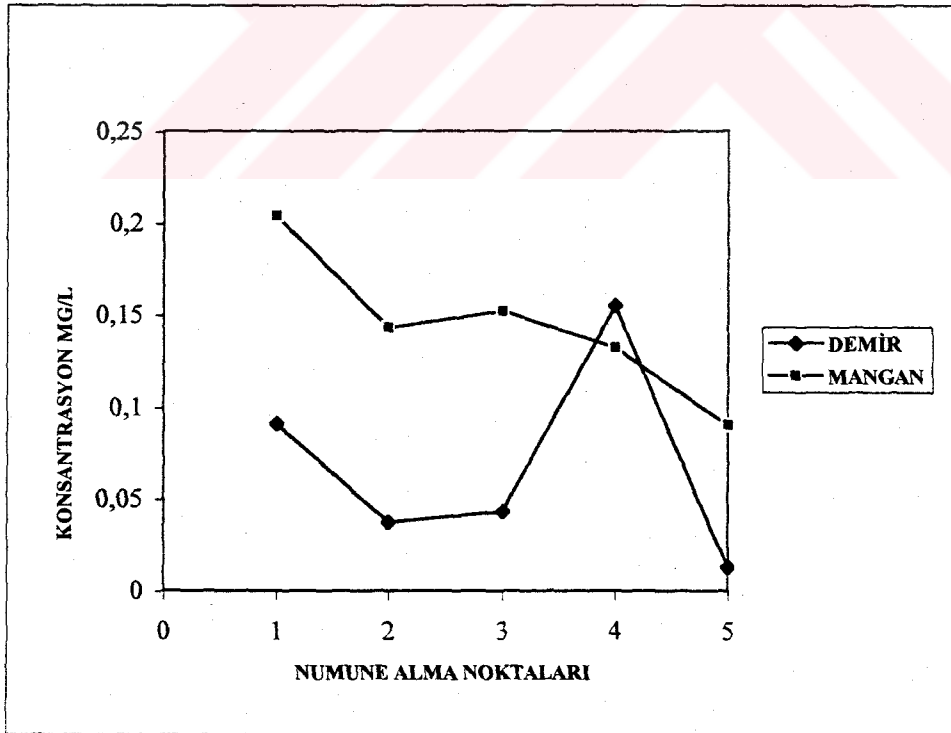
Şekil D.4: 02.11.2000 Tarihinde Osmaniye Demir-Mangan Profili



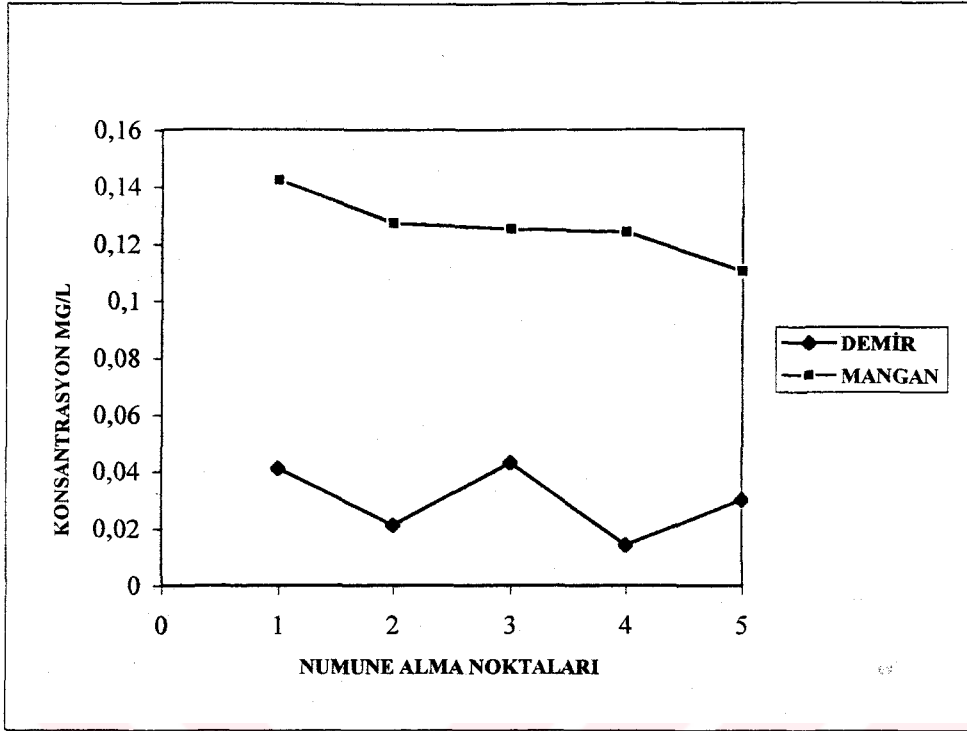
Şekil D.5: 09.11.2000 Tarihinde Osmaniye Demir-Mangan Profili



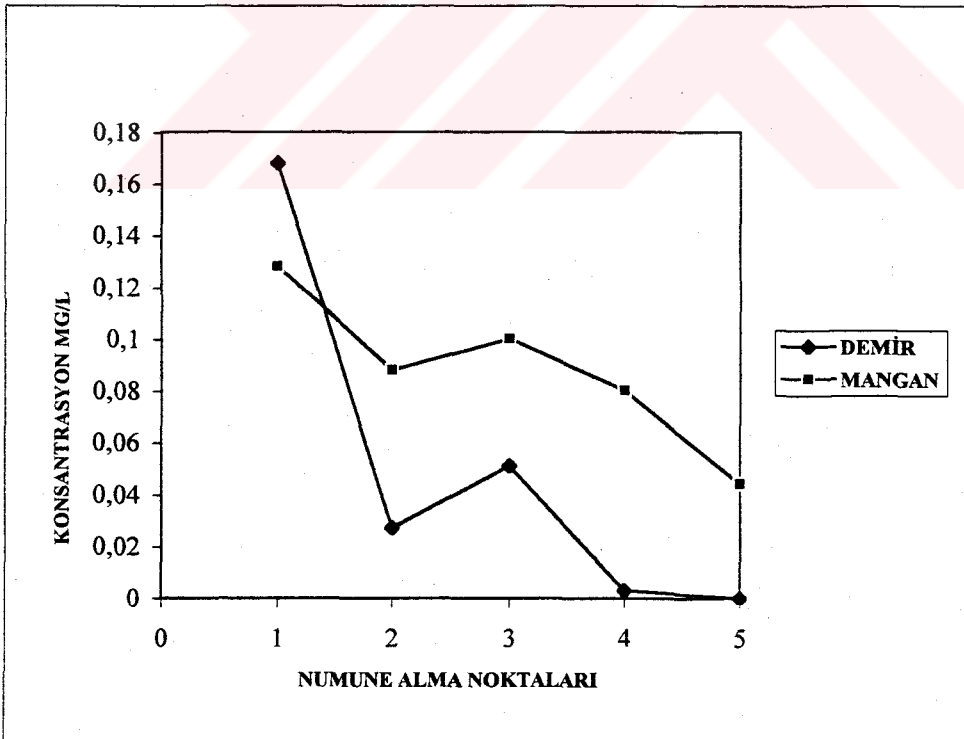
Şekil D.6: 07.12.2000 Tarihinde Osmaniye Demir-Mangan Profili



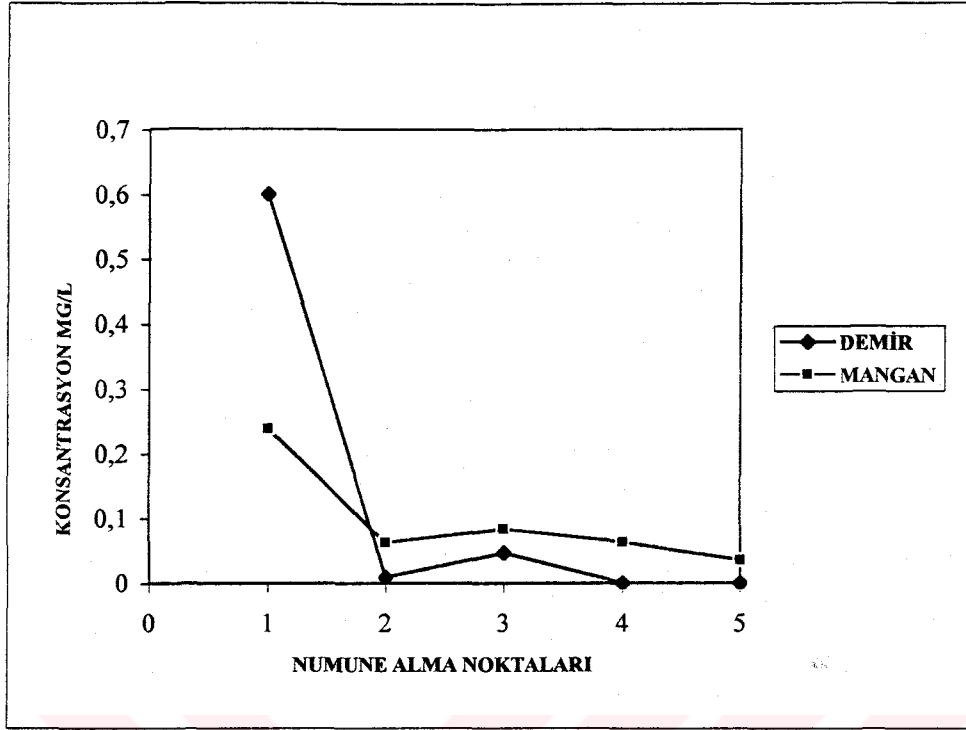
Şekil D.7: 11.01.2001 Tarihinde Osmaniye Demir-Mangan Profili



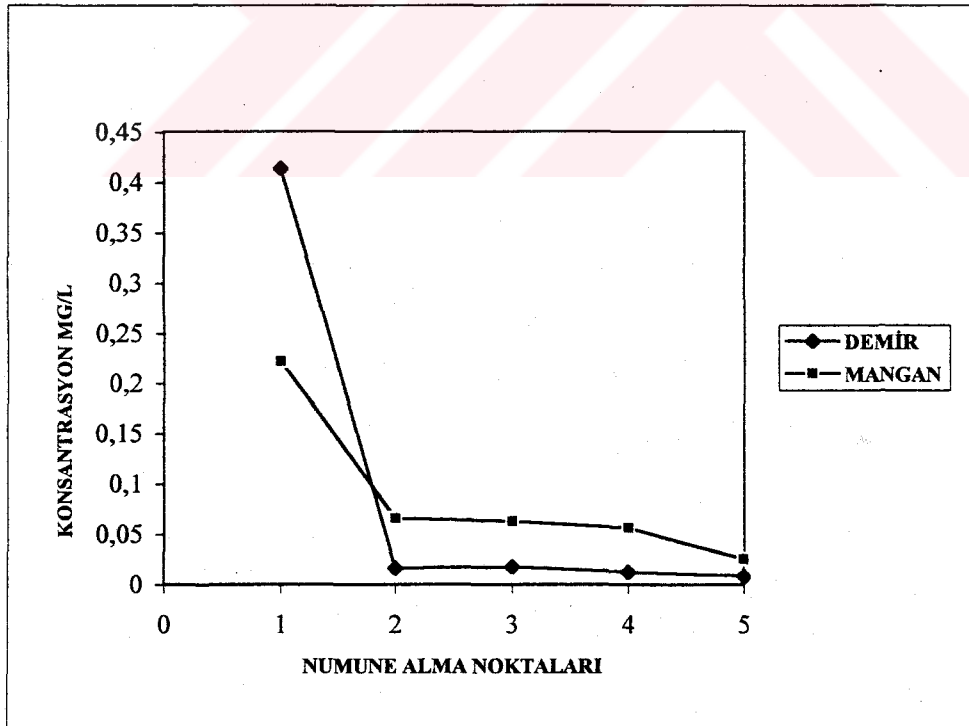
Şekil D.8: 18.01.2001 Tarihinde Osmaniye Demir-Mangan Profili



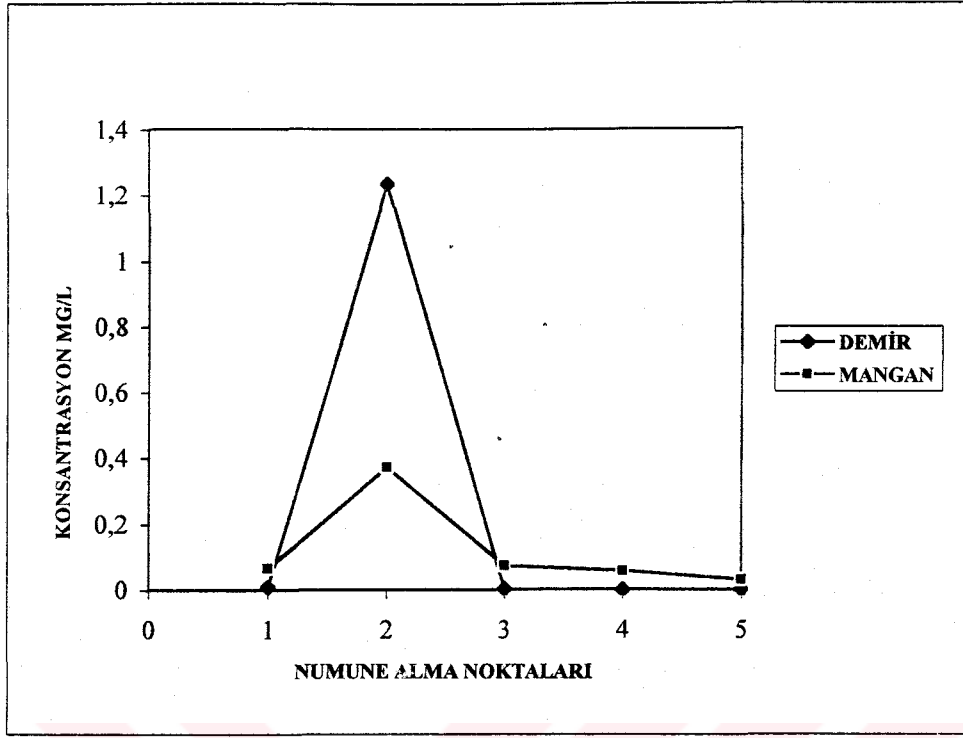
Şekil D.9: 25.01.2001 Tarihinde Osmaniye Demir-Mangan Profili



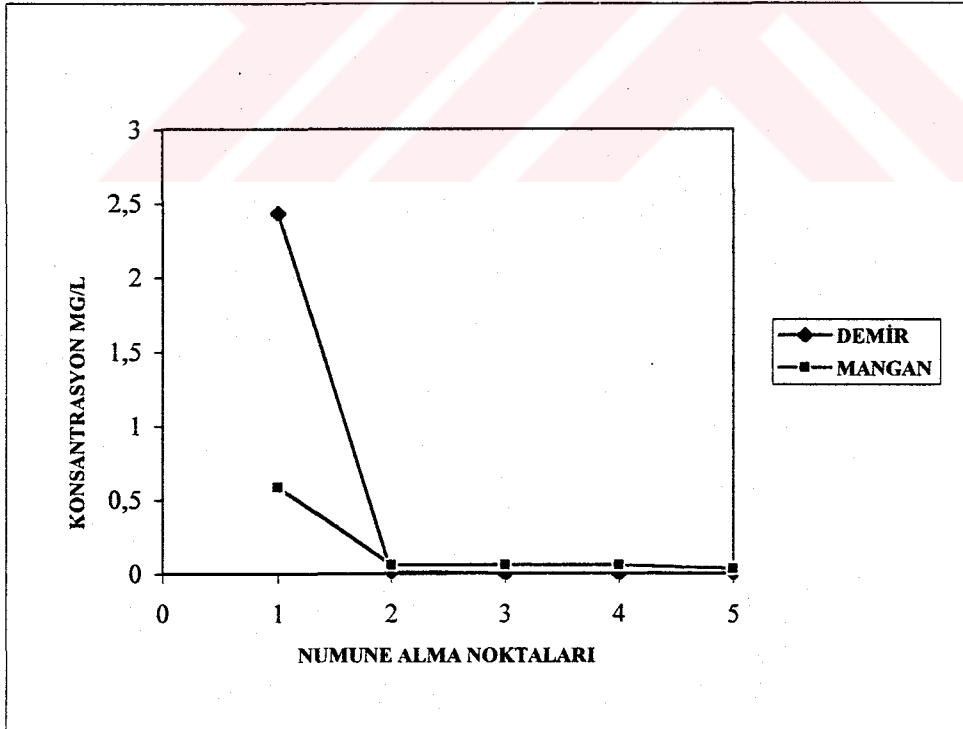
Şekil D.10: 01.02.2001 Tarihinde Osmaniye Demir-Mangan Profili



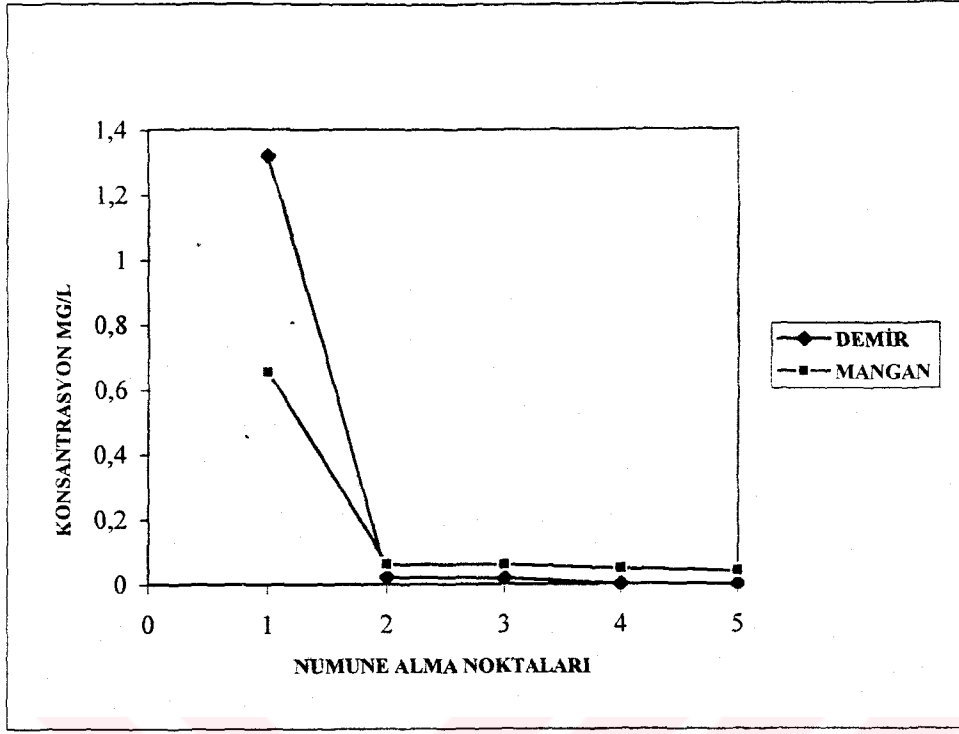
Şekil D.11: 08.02.2001 Tarihinde Osmaniye Demir-Mangan Profili



Şekil D.12: 12.02.2001 Tarihinde Osmaniye Demir-Mangan Profili

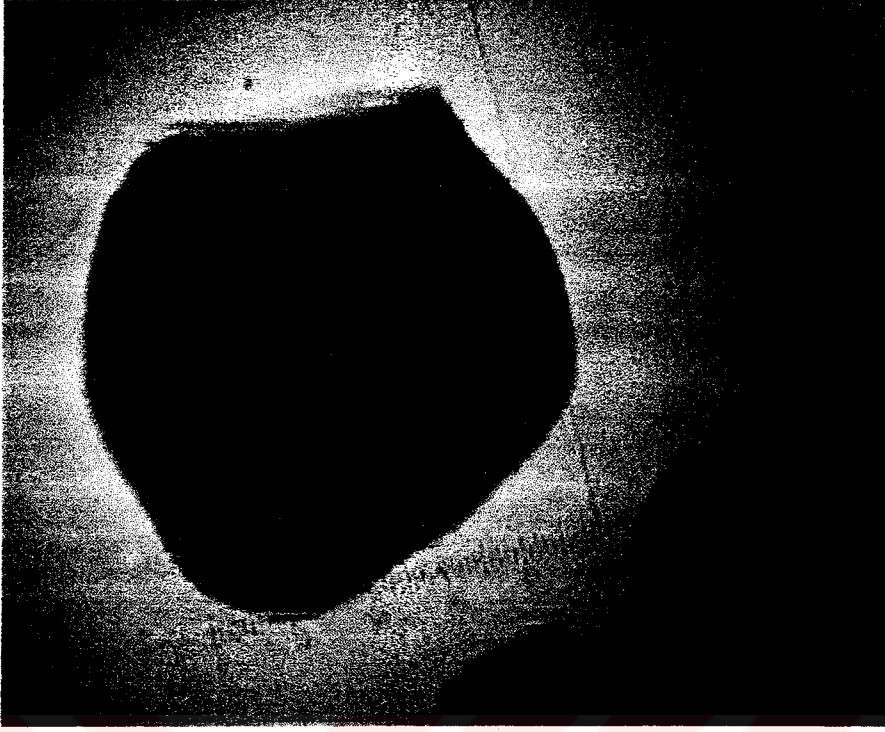


Şekil D.13: 15.02.2001 Tarihinde Osmaniye Demir-Mangan Profili

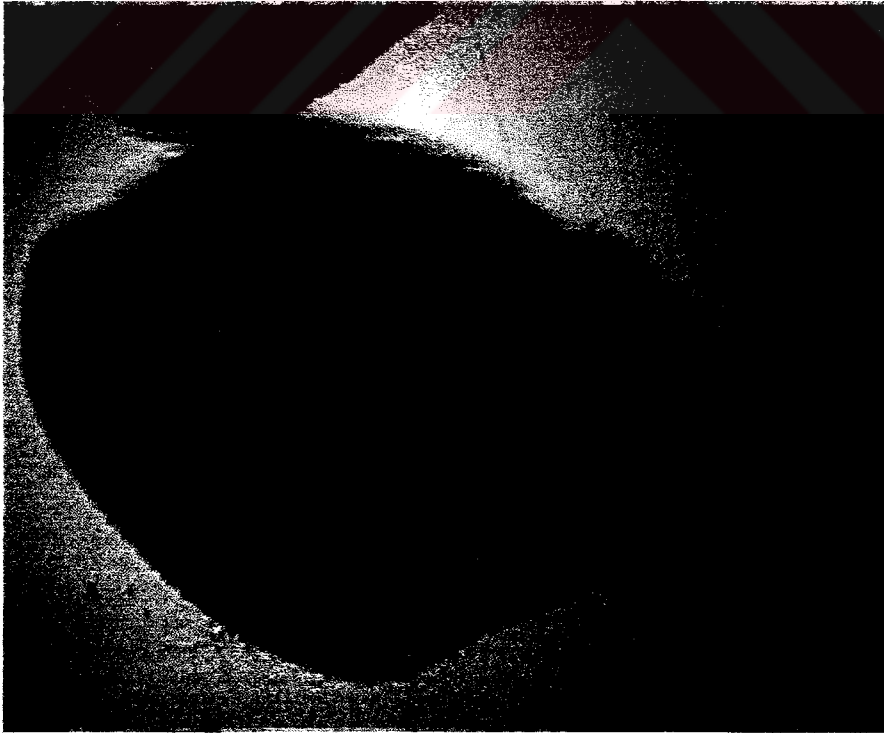


Şekil D.14: 22.02.2001 Tarihinde Osmaniye Demir-Mangan Profili

EK E : KUM FOTOĞRAFLARI



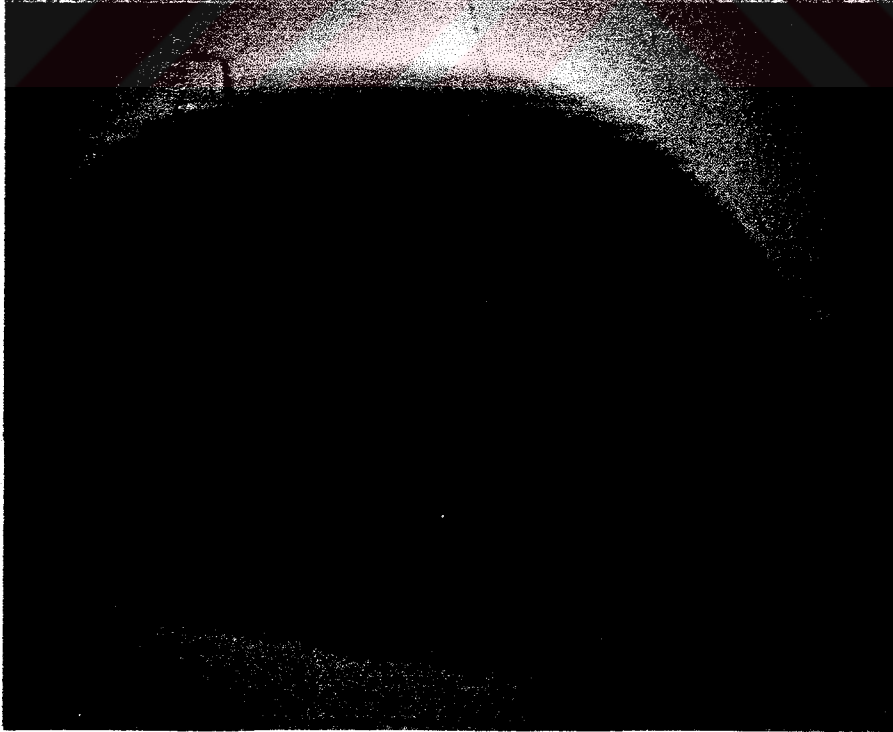
Şekil E.1: Ömerli Yıkanmamış Kum Danesinin Büyütülmüş Fotoğrafi



Şekil E.2: Ömerli Yıkanmamış Kum Danesinin Büyütülmüş Fotoğrafi



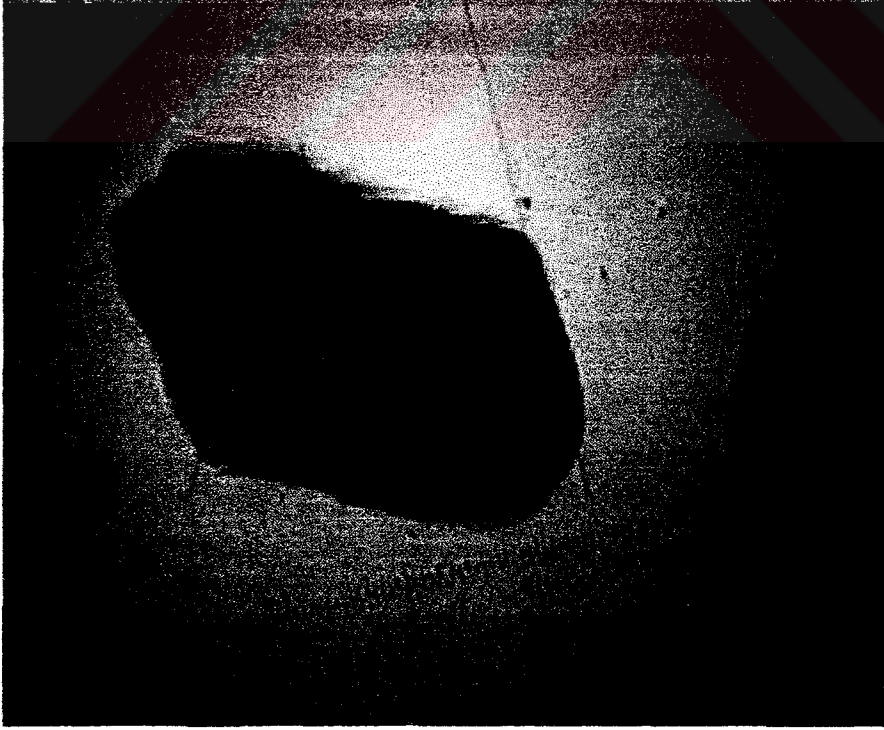
Şekil E.3: Ömerli Yıkanmamış Kum Danesinin Büyütülmüş Fotoğrafi



Şekil E.4: Ömerli Yıkanmamış Kum Danesinin Büyütülmüş Fotoğrafi



Şekil E.5: Ömerli Yıkanmamış Kum Danesinin Büyütülmüş Fotoğrafi



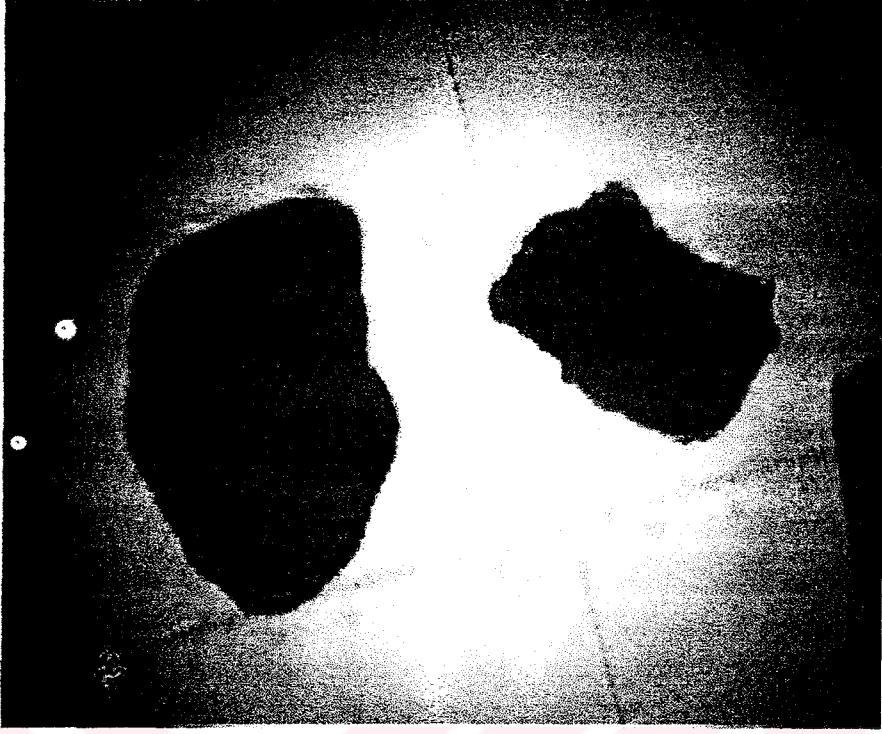
Şekil E.6: Ömerli Yıkanmamış Kum Danesinin Büyütülmüş Fotoğrafi



Şekil E.7: Ömerli Yıkanmış Kum Danesinin Büyütülmüş Fotoğrafi



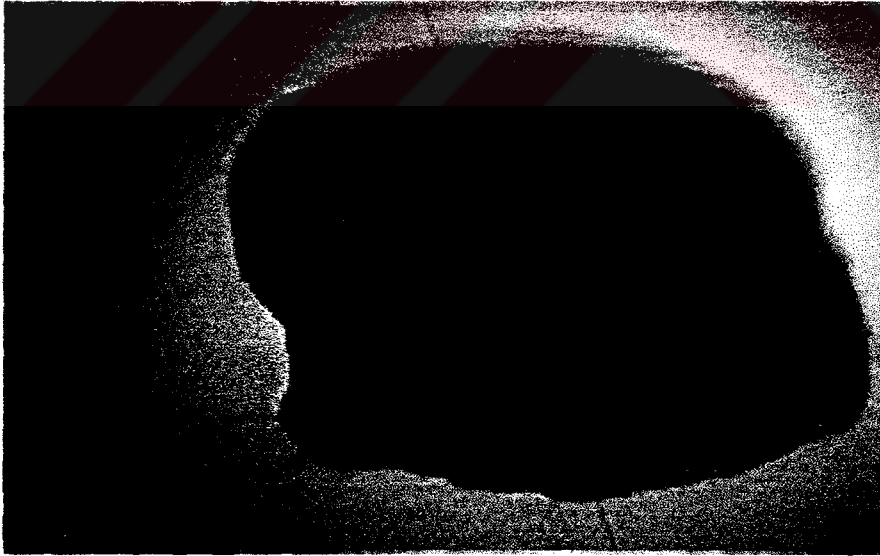
Şekil E.8: Ömerli Yıkanmış Kum Danesinin Büyütülmüş Fotoğrafi



Şekil E.9: Ömerli Yıkanmış Kum Danesinin Büyütülmüş Fotoğrafi



Şekil E.10: Kağıthane Yıkanmamış Kum Danesinin Büyütülmüş Fotoğrafi



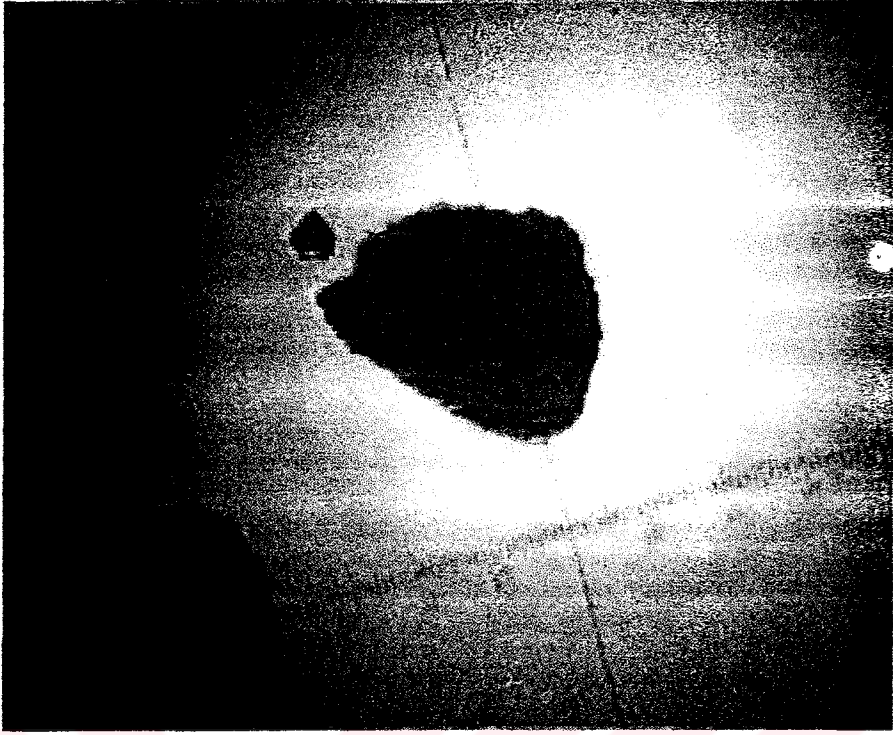
Şekil E.11: Kağıthane Yıkanmamış Kum Danesinin Büyütülmüş Fotoğrafi



Şekil E.12: Kağıthane Yıkanmamış Kum Danesinin Büyütülmüş Fotoğrafi



Şekil E.13: Kağıthane Yıkanmamış Kum Danesinin Büyütülmüş Fotoğrafi



Şekil E.14: Kağıthane Yıkanmış Kum Danesinin Büyütülmüş Fotoğrafi



Şekil E.15: Kağıthane Yıkanmış Kum Danesinin Büyütülmüş Fotoğrafi



Şekil E.16: Kağıthane Yıkanmış Kum Danesinin Büyütülmüş Fotoğrafi



Şekil E.17: Kağıthane Yıkanmış Kum Danesinin Büyütülmüş Fotoğrafi

ÖZGEÇMİŞ

Müge YARDIMUMAR, 1977 yılında İstanbul'da doğdu. Ortaokul ve liseyi Etiler Lisesi'nde tamamladı. 1994 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünde lisans öğrenimine başladı. 1998 kış yarıyılından itibaren İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yüksek lisans eğitimini sürdürmekte olup, halen İSKİ Beyoğlu Şube Müdürlüğü'nde görev yapmaktadır.

