

**İÇME SUYU ŞEBEKE BORULARINDA KLOR KAYIP VE
KLOR-FLOR DİFÜZYON KATSAYILARININ BELİRLENMESİ**

Tarık BUYRUK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEMMUZ 2007
ANKARA**

Tarık BUYRUK tarafından hazırlanan İÇME SUYU ŞEBEKE BORULARINDA KLOR KAYIP VE KLOR-FLOR DİFÜZYON KATSAYILARININ BELİRLENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylıyorum.

Doç.Dr.Osman N.ÖZDEMİR
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oybirliği /oy çokluğu ile İnşaat Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. İsmail AYDIN

Üye : Doç. Dr. Osman ÖZDEMİR

Üye : Doç. Dr. Nail YAŞYERLİ

Üye : Doç. Dr. Lale BALAS

Üye : Yrd. Doç. Dr. Burcu Altan SAKARYA

Tarih : 06/07/2007

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Tarık BUYRUK

**İÇMESUYU ŞEBEKE BORULARINDA KLOR KAYIP VE
KLOR-FLOR DİFÜZYON KATSAYILARININ BELİRLENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Tarık BUYRUK

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Temmuz 2007**

ÖZET

İçme suyu, şehir şebekesine verilmeden önce dezenfekte edilir. İçme suyunun dezenfeksiyonunda dünyanın değişik ülkelerinde çeşitli metotlar kullanılır. Bu metotlar içerisinde, ekonomik olması ve uygulama kolaylığı açısından en çok tercih edilen ve dolayısı ile yaygın olarak kullanılan dezenfeksiyon yöntemi klorlamadır. Klorun su borusu içinde çeperlerde oluşan biyofilm tabakasındaki kaybına çeper kaybı (wall decay) denilmektedir. Klorun diğer kaybı ise su borusu içinde mesafe kat ederken geçen süre zarfında su içinde (bulk decay) oluşmaktadır.

Özellikle Kuzey Amerika ülkelerinde dış sağlığını korumak amacı ile içme suyuna ayrıca flor da eklenmektedir. Flor su borusu içerisindeki hareketi esnasında, klorun aksine kayba uğramayan bir elementtir ve izleyici (tracer) olarak nitelendirilmektedir. Bu nedenle, dış sağlığı üzerindeki etkisi dışında, şebekelerin kalibrasyonu için de kullanılabilir.

Bu çalışmanın birinci bölümünde, dezenfeksiyon amacı ile içme suyuna karıştırılan serbest klorun sabit bir sıcaklık değerinde boru içerisindeki tüketimi (bulk decay) üzerinde durularak değişik Reynolds sayılarına

karşılık gelen klor tüketim sabitleri çıkarılmıştır. Deneylerde yüksek yoğunluklu polietilen boru kullanılmış, çeper kaybı (wall decay) biyofilm (biyolojik tabaka) oluşmadığı için yok sayılmış, sadece boru içi tüketim sabiti (bulk decay) bulunmuştur.

İkinci bölümde ise klor ve flor için literatürde eksikliği hissedilen görünür (apparent) difüzyon ve dispersiyon katsayıları belirlenmiştir. Deneysel test borusu başından laminar ve geçiş bölgesi akımları ($Re=0-20000$) için klor ve flor konsantrasyonları ilave (enjekte) edilmiştir. Gözlenen ve kaydedilen veriler 2 boyutlu taşınım-yayılım (convective-dispersive) denklem çıktıları ile karşılaştırılarak görünür difüzyon katsayıları elde edilmiştir. Bu katsayılar kullanılarak oluşturulan nümerik çözümler ile birlikte bir boyutlu taşınım-yayılım denkleminin analitik çözümü de kullanılarak dispersiyon katsayıları elde edilmiştir.

Bilim Kodu : 911.1.002
Anahtar Kelimeler : flor, klor, klor tüketim sabiti, içme suyu şebekesi, difüzyon, Taylor dispersiyon, kalibrasyon
Sayfa Adedi : 141
Tez Yöneticisi : Doç. Dr. Osman N. ÖZDEMİR

**DETERMINATION OF CHLORINE DECAY AND CHLORINE-FLUORIDE
DIFFUSION COEFFICIENTS IN WATER DISTRIBUTION NETWORKS**

(M.Sc. Thesis)

Tarık BUYRUK

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
July 2007**

ABSTRACT

Drinking water is traditionally disinfected at the treatment plant before it is fed into the water distribution network. There are different methods to disinfect drinking water. Among them chlorination is the most commonly used disinfection method. The decay of chlorine added into drinking water is related to the age and type of the pipe. Chlorine decay that occurs at the inner surface of a pipe due to biofilm accumulation is called wall decay. The other form of decay, that is bulk decay, is due to flow of water in the pipe causing residence time for water.

Especially in North American countries, fluoride is added into drinking water to prevent tooth decay. Unlike chlorine, fluoride does not decay as the concentration moves some distance in the network. Hence fluoride is called as a tracer, it may be also used in the calibration of pipe networks.

In the first section of this thesis, chlorine decay constant rates (bulk decay constant) corresponding to different Reynolds number were determined under constant temperatures. For this purpose, high density polietilen (HDPE) pipe was used. Due to the use of a new HDPE

pipe and non-existence of biofilm layer wall decay is ignored in the experimental calculations.

In the second section, the aim was to find apparent diffusivity and dispersion coefficients of both chlorine and fluoride lacking in the literature. Chlorine and fluoride were injected into the experimental pipe section under different flow regimes ranging from laminar to transitional ($Re=0-20000$). Observed and recorded results were correlated with the numerical solution of the two dimensional convective-dispersive equation. By comparing the results of the experiments and numerical simulations, apparent diffusivity coefficients for both chlorine and fluoride corresponding to different Reynolds number were derived. Using this information Taylor dispersion coefficients were derived for both chlorine and fluoride by using the analytical solution of the one dimensional convective-dispersive equation.

Science Code	: 911.1.002
Key Words	: fluoride, chlorine, chlorine decay coefficient, drinking water network, diffusion, Taylor dispersion, calibration
Page Number	: 141
Adviser	: Assoc.Prof.Dr. Osman N. ÖZDEMİR

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım boyunca beni yönlendiren danışmanım Doç. Dr. Osman N. ÖZDEMİR'e ve laboratuvar deneylerinde yardımlarını esirgemeyen Uzman Alpay ÖZER'e teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. İÇME SUYU ŞEBEKE BORULARINDA KLOR KAYIP KATSAYILARININ BELİRLENMESİ.....	6
2.1. Deney Düzeneği.....	6
2.2. Deneysel Çalışma.....	8
2.2.1. Numune alma şişeleri ve hazırlanması.....	8
2.2.2. Su numunelerinin şişelere alınması ve şişelerin muhafazası..	10
2.2.3. Ayarlanan herhangi bir debi için uygulanan yöntem.....	11
2.3. Deneysel Sonuçlar ve Değerlendirilmesi.....	11
3. KLOR-FLOR DİFÜZYON KATSAYILARININ BELİRLENMESİ.....	16
3.2. Deneysel Çalışma.....	16
3.3. Model Formülasyonu ve Nümerik-Analitik Çözümler.....	19
3.4. Deneysel Sonuçlar ve Değerlendirilmesi.....	22
4. SONUÇLAR.....	26
KAYNAKLAR.....	27
EKLER.....	28
EK-1 Deneysel çalışmaların ilk aşamasında kullanılan cihazlar ve kullanımları ile ilgili resim ve anlatımlar.....	29
EK-2 Deneysel çalışmaların ikinci aşamasında kullanılan cihazlar ve kullanımları ile ilgili resim ve anlatımlar.....	33
EK-3 Klor kayıp katsayılarının tespiti için yapılan deneyler sonucunda oluşturulan grafik ve çizelgeler.....	50

Sayfa

EK-4 Klor ve flor difüzyon katsayılarının tespiti için yapılan deney Görüntüleri.....	86
EK-5 Deney ve nümerik verilerin karşılaştırılması sonucu elde edilen klor ve flor difüzyon katsayıları ile ilgili çizelge ve grafikler.....	111
ÖZGEÇMİŞ.....	141

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. 4 inç çapında ve 81 m boyundaki YYPE test borusunun laboratuardaki yerleşimi	7

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Su saati(Teksan).....	7
Resim 2.2. Numune şişesi (100 ml).....	9
Resim 2.3. Numune alma musluğu (Boru başı).....	10

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
C_{max}	Maksimum serbest klor miktarı (M/V)
C_t	Herhangi bir t anındaki serbest klor miktarı (M/V)
C_0	Başlangıç (t=0'daki) serbest klor miktarı (M/V)
d	Boru çapı (L)
D_L	Boru boyunca olan görünür difüzyon katsayısı (L^2/T)
D_r	Boru eksenini boyunca olan görünür difüzyon katsayısı (L^2/T)
D	Dispersiyon katsayısı (L^2/T)
k_{bb}	Boru başına ait boru içi klor tüketim sabiti (1/T)
k_{bs}	Boru sonuna ait boru içi klor tüketim sabiti (1/T)
L	Boru boyu (L)
P	Basınç (Bar)
Re	Reynolds Sayısı
T	Sıcaklık ($^{\circ}C$)
t	Zaman (T)
tt	Boru içi su iletim süresi (travel time)
V	Boru içerisindeki suyun kesitin herhangi bir noktasındaki hızı (L/T)
U	Boru içerisindeki suyun kesit ortalama hızı (L/T)

Kısaltmalar	Açıklama
B1	Test borusu başına ait ilk numune şişesi
B2	Test borusu başına ait ikinci numune şişesi
DPD	Diethyl phenylenediamine

Kısaltmalar	Açıklama
E+H	Endress+Hauser Liquisys M System klor ölçüm cihazı
Hach	Hach Lange Marka Dijital Klor Ölçüm Cihazı
LCD	Sıvı kristal ekran
PVC	Polivinil klorür
S1	Test borusu sonuna ait ilk numune şişesi
S2	Test borusu sonuna ait ikinci numune şişesi
TB	Test borusu (4 inç çapında ve 81 m boyunda)
YYPE	Yüksek Yoğunluklu Polietilen

1. GİRİŞ

İçme suyunun şebekeye verilmeden önce, kaynakta bir dezenfeksiyondan geçirildiği bilinmektedir. Bu dezenfeksiyonun amacı, şebekeye verilecek olan içme suyunun kalitesinin tüketiciye ulaşmadan bozulmasını önlemektir.

İçme suyunu dezenfekte etmek için ozon, ultraviyole ışınları, klor gibi çeşitli metotlar kullanılır. Ancak bu metotlar içerisinde, diğerlerine kıyasla daha ekonomik olması ve uygulama kolaylığı açısından en çok tercih edilen ve dolayısı ile yaygın olarak kullanılan dezenfeksiyon yöntemi klorlamadır.

Klorun, su içindeki organik maddelerle tepkimeye girmesi sonucunda insan sağlığı için tehlikeli olabilecek bileşiklerin (kanserojen halometanlar) oluştuğu literatürde konu edilmektedir [1]. Ayrıca, suda henüz tepkimeye girmemiş olarak bulunan serbest klorun fazlası da insan sağlığı açısından tehlike arzeder. Dolayısı ile içme suyu şebekelerindeki serbest klor miktarı belirli sınırlar (0-4 mg/lit) içinde kalması gerektiği belirtilmektedir [2]. Bir başka deyişle, klorlamada esas olan sudaki serbest klor miktarını en uygun seviyede tutabilmektir. Bunu başarabilmek için de klorun su borusu içindeki kayıplarının ne kadar olduğunu bilmek gerekir.

Menaia ve diğerleri [3] akım hızlarının boru içi klor tüketim sabiti (bulk decay) üzerine etkisini incelemişlerdir. Menaia ve diğerlerinin yapmış olduğu çalışmada, akım hızlarının boru içindeki klor tüketim oranları üzerine etkisi, 120 m uzunluğunda ve 1 inç çapında PVC borudan oluşan kapalı bir çevrim sistemine (PVC pipe, closed loop system) değişik hızlara ayarlanabilir bir pompa, hava tahliyesi için vantuzlar, su tahliyesi için tahliye vanaları ve bir adet akım ölçer yerleştirilerek yapılmıştır. PVC test borusunun iç çeperinde herhangi bir biyolojik tabakanın (biyofilm) oluşmaması için deney düzeneğinde kullandıkları bütün boru ve ek parçalarının yeni olmasına ve daha önce hiç bir şekilde su ile temas ettirilmemiş olmasına dikkat etmişlerdir. Menaia ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada deneyler

sırasında test borusu içerisinde akım oluşturmak için farklı debilere ayarlanabilen ve sisteme monte edilen bir adet pompa kullanılmıştır. Deney suyu sıcaklığı $t=20\pm1$ °C`de sabit tutulmuştur. Numune alımları 10 ml`lik cam şırıngalar kullanılarak yapılmıştır. Deneylerde kullanılan test suyu laboratuvar ortamında yapay olarak hazırlanmıştır. Bu amaçla deiyonize edilen suya, suyun organik içeriğini temsil etmesi için humates (hümik asit, sodyum tuzu) eklenmiştir. Ayrıca suyun asitlik derecesi de $pH=7\pm1$ `e ayarlanmıştır. Özellikle laminar akım bölgesi için sadece  $Re=0$ `a (boru içi durgun su koşulunda) ve $Re=2475$ `e karşılık gelen debiler ile deneyler yapılmış ve bu deneylerin sonucunda tüm laminar akım bölgesinin kapsandığını varsaymışlardır.

Ozdemir ve Demir [4] yapmış oldukları çalışmada Menaia ve diğerlerinin [3] yaptığı çalışmaların da ötesinde sadece boru içi klor tüketim sabitini tespit etmek amacıyla büyük bir Reynolds sayısı aralığını kapsayan deneysel çalışmalar yapmışlardır. Deneysel çalışmalarının sonucunda, şebeke borusundaki akım debisi azaldıkça boru içi klor tüketim sabitinin de logaritmik olarak azaldığını tespit etmişlerdir.

Sunulan bu tez çalışmasının ilk aşamasında serbest klorun boru içerisindeki tüketimi (bulk decay) üzerinde durulmuştur. Tezin bu aşaması daha önce tamamlanan bir tez çalışmasının [5] devamı niteliğindedir. Demir`in [5] yaptığı çalışmada, deneylerin yapıldığı mevsim nedeniyle su ve ortam sıcaklığı 9-10 °C olmuştur. Demir [5] iki farklı boru düzeneğinde farklı debiler için deneyler yapmış ve akım hızına karşılık gelen bir başka deyişle Reynolds sayısına göre klor tüketim sabitlerini çıkarmıştır. Hava ve su sıcaklıklarının daha fazla olduğu tarihlerde çalışma yapamadığından diğer bir sıcaklık için klor tüketim katsayılarını çıkaramamış ve net bir karşılaştırma yapamamıştır. Benzer deneyleri yapabilmek amacı ile yılın başka bir periyodunda, sonbahar aylarında, ortam ve su sıcaklıklarının yaklaşık 14-16 °C olduğu durum için yine laminar bölge ve geçiş bölgesi için ($Re=0-20.000$

aralığı) boru içi klor tüketim sabitleri bu çalışmada belirlenmiştir. Sonuçlar önceki tez çalışması [5] ile de karşılaştırılmıştır.

Sunulan tez çalışmasının ikinci bölümünde, su şebeke borularında dispersiyonun etkisi araştırılmış, klor ve florun görünür difüzyon katsayıları ile dispersiyon katsayıları elde edilmiştir. Geçmişte bu konu ile ilgili yapılan çalışmalar tarih sırası ile Stirba [6], Axworthy [7], Özdemir ve Ger [8] ile Tzatchkov ve diğerlerinin [9] çalışmaları olmuştur. Bu çalışmalar ile ilgili kısa açıklamalar devam eden paragraflarda verilmektedir.

Stirba ve Hurt [6], çeşitli kimyasal moleküllerin su, etanol ve butanol içerisindeki görünür difüzyon katsayılarını tespit etmişler ve grafik oluşturmuşlardır. Elde ettikleri grafikte, görünür difüzyon katsayılarının Reynolds sayısına göre parabolik olarak değiştiğini tespit etmişlerdir. Bu grafik, bu çalışmada karşılaştırma yapabilmek amacıyla yeniden oluşturulmuştur.

Su dağıtım şebeke borularında çoğu zaman konveksiyon yanında dispersiyon ihmal edilebilir [7]. Ancak, Axworthy ve Karney [7] düşük hızlarda ve gece saatlerinde konveksiyonun yanında dispersiyonun etkisini araştırmış ve sorgulamışlardır.

Su şebekeleri genellikle bir günlük veya daha fazla zaman periyotları için modellenir. Çoğu zaman, konvektif taşınımın dispersiyon üzerine baskın geldiği kabul edilerek dispersif hareket ihmal edilmektedir. Fakat, tüketimin minimuma indiği gece saatlerinde hızlar oldukça düşer. Bu nedenle, Özdemir ve Ger [8] yaptığı bir çalışmada su kalite modellerinde daha iyi sonuçlar elde etmek için dispersiyonun göz önünde bulundurulması gerektiğini ifade etmiştir. Çalışmada, yapılan deneysel çalışmaların verileri ile 2 boyutlu taşınım-yayılm eşitliğinin nümerik çözümlemesinden elde edilen veriler karşılaştırılmıştır.

Tzatchkov ve diğerlerinin [9] yaptığı çalışmada ise ölçülen klor ile modellenen klor arasındaki farklar öne çıkarılmıştır. Hızları düşük olan boruların sonunda ölçülen ile modelden alınan sonuçlar arasındaki farklar izlenmiş ve nedenleri belirtilmiştir. Bu çalışmada, gerçek bir şebekede yapılan analizlere göre, ölçülen ile modellenen klor ve flor konsantrasyonlarının farklı olmasının dispersiyonun ihmal edilmesi sonucunda olduğu da gösterilmiştir. Geliştirdikleri daha detaylı modelde (IMTARED) boru içi dispersiyonu dikkate almışlar ve daha iyi sonuçlar bulmuşlardır. Tzatchkov ve diğerleri yaptıkları çalışmalarda dispersiyonun dikkate alındığı durumlarda ölçümler ile model arasındaki farkların giderildiği de izlenmiştir. Makalenin sonuç bölümünde modelin daha iyi çalışmasının ancak klor ve flor için uygun dispersiyon katsayılarının belirlenmesi ile mümkün olabileceği de ayrıca belirtilmiştir.

Burada sunulan tez çalışmasında deneyler Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Hidrolik Laboratuvarında gerçekleştirilmiş, 10 cm (4 inç) çapında ve 81 m uzunluğundaki yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) boru kullanılmıştır.

Tezin girişten sonraki ilk bölümünde, dezenfeksiyon amacı ile içme suyuna karıştırılan klorun sabit bir sıcaklık değerinde boru içerisindeki tüketimi üzerinde durularak değişik Reynolds sayılarına karşılık gelen klor tüketim sabitleri çıkarılmıştır. Deneyler su ve ortam sıcaklığı gözetilerek iki farklı mevsimde (sonbahar-yaz) gerçekleştirilmiştir. Su ve ortam ve sıcaklığının 14-16 °C olduğu sonbahar mevsiminde toplam 17 farklı boru debisi ile çalışılmış ve boru içi klor tüketim sabitleri çıkarılmıştır. Su ve ortam ve sıcaklığının 20-21 °C olduğu yaz mevsiminde ise toplam 18 farklı boru debisi ile çalışılarak aynı şekilde boru içi klor tüketim sabitleri bulunmuştur. Deneylerde kullanılan yeni yüksek yoğunluklu polietilen boru nedeni ile klorun çeper kaybı (wall decay) biyofilm tabakası oluşmadığı için yok sayılmıştır ve sadece boru içi klor tüketim sabiti (bulk decay) bulunmuştur.

İkinci bölümde ise dispersiyon ile ilgili yapılan deneylere ait anlatım vardır. Bu ikinci bölümde bahsedilen deneylerin yapılma amacı literatürde henüz yayınlanmamış olan klor ve flor için etkin difüzyon ve dispersiyon katsayılarını belirlemektir. Böylece, geçmişte literatürde yer alan su kalitesi modellerine veri sağlamak amacı güdülmüştür. Bu bölüm içinde değişik akım değerleri için boru başına enjekte edilen klor ve flor ölçümleri verilmektedir. Kaydedilen değerler ile birlikte 2 boyutlu taşınım-yayılm denkleminin nümerik çözümü kullanılarak klor ve flor için görünür difüzyon katsayıları yine bu bölümde verilmektedir. Veriler kullanılarak klor ve flor için 1 boyutlu taşınım-yayılm denkleminin analitik çözümünden de yararlanılarak Taylor dispersiyon katsayıları da elde edilmiştir. Yapılan deneyler tabakalı (laminer) ve geçiş bölgesi sayılabilecek ($Re=20000$ 'e kadar) akım hızları için gerçekleştirilebilmiştir.

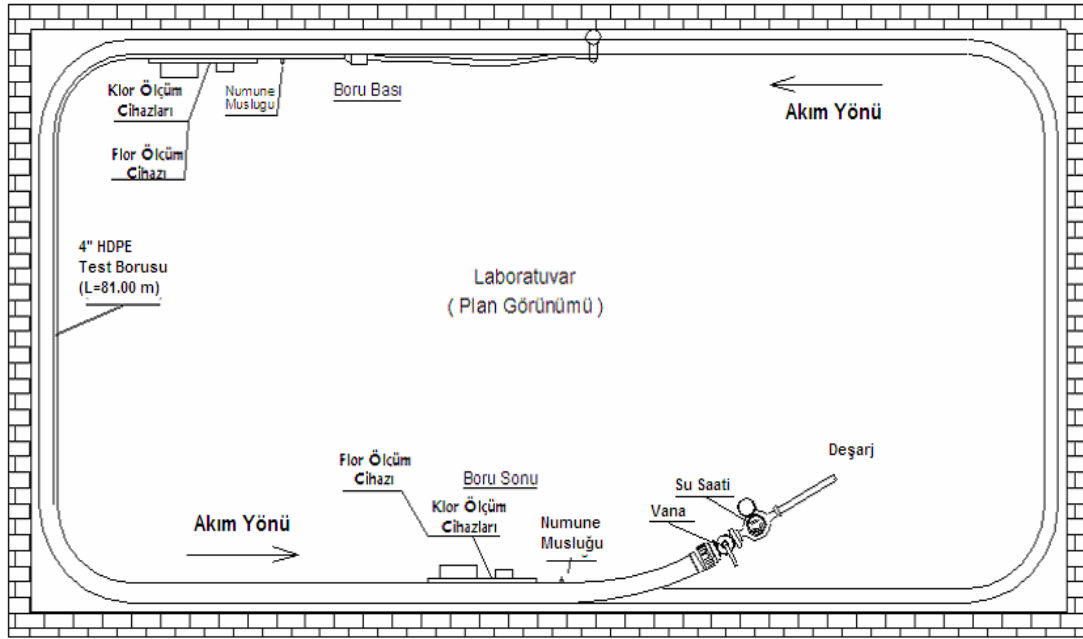
2. İÇME SUYU ŞEBEKE BORULARINDA KLOR KAYIP KATSAYILARININ BELİRLENMESİ

Burada sunulan tez çalışmasının ilk bölümü daha önce Demir'in [5] hazırlamış olduğu tezin devamı niteliğindedir. Demir [5] yapmış olduğu deneylerde, çalışılan mevsim nedeniyle 9-10 °C sıcaklıkta değişik akım değerleri için klor tüketim sabitlerini çıkarmıştır. Sunulan bu tez çalışmasının ilk bölümünde ise su ve ortam sıcaklıklarının 14-16 °C ve 20-21 °C olduğu durumlar için benzer deneyler yapılmış ve yine klor tüketim sabitleri çıkarılmıştır. Bu bölüm ile ilgili deneysel çalışmalar su ve ortam sıcaklığı gözetilerek iki farklı mevsimde (sonbahar-yaz) gerçekleştirilmiştir. Su ve ortam ve sıcaklığının 14-16 °C olduğu sonbahar mevsiminde toplam 17 farklı boru debisi ile çalışılmış ve boru içi klor tüketim sabitleri çıkarılmıştır. Su ve ortam ve sıcaklığının 20-21 °C olduğu yaz mevsiminde ise toplam 18 farklı boru debisi ile çalışılarak aynı şekilde boru içi klor tüketim sabitleri bulunmuştur.

2.1. Deney Düzeneği

Deneysel çalışmalarımızda, Demir'in [5] çalışmasında olduğu gibi 4 inç çapında ve 81 m boyundaki yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) test borusu kullanılmıştır. Bu boru deneylerin yapıldığı Gazi Üniversitesi Hidrolik Laboratuvarı'nın yan duvarlarına çelik dübeller, somunlu kelepçeler ve duvara sabitlenen çelik profiller vasıtası ile uygun bir şekilde $m=1^\circ$ 'lik (girişten çıkışa yukarı bir meyil ile) bir eğim verilerek tutturulmuştur (Şekil 2.1).

Test borusundan istenilen miktarlarda debi geçirebilmek için boru sonuna bir adet Klepsan marka 4 inç küresel vana monte edilmiştir. Yine boru sonuna, küresel vanadan hemen sonra, borudan geçen debiyi okuyabilmek için bir adet Teksan marka, 4 hüzmeli çok küçük debileri (litrenin onda biri) bile hassasiyetle okuyabilen bir adet su saati monte edilmiştir (Resim 2.1).



Şekil 2.1. 4 inç çapında ve 81 m uzunluğundaki YYPE test borusunun laboratuvarındaki yerleşimi



Resim 2.1. Su saati (Teksan)

Su saatinin çıkış kısmına ise 2 inç çaplı (iç çap) bir boru eklenerek test borusundan geçen debinin deşarjı sağlanmıştır.

Deney düzeneğinde kullanılan bütün borular ve bağlantı parçaları su dolu bırakılmadıkları için yeni olarak nitelendirilebilirler. Düzenekte kullanılan bütün metal bağlantı parçaları ve redüksiyonlar galvanizli olup paslanmaya karşı dayanıklı, vanalar paslanmaz çeliktir. Bağlantı parçalarının montajında

kendir kullanılmıştır. Test borularının üzerine yerleştirilen daha hassas parçaların montajında ise teflon bant ve epoksi yapıştırıcı kullanılmıştır.

Tezin ilk bölümündeki deney çalışmalarında kullanılan cihazlar ve nasıl kullanıldıkları EK-1'de anlatılmaktadır.

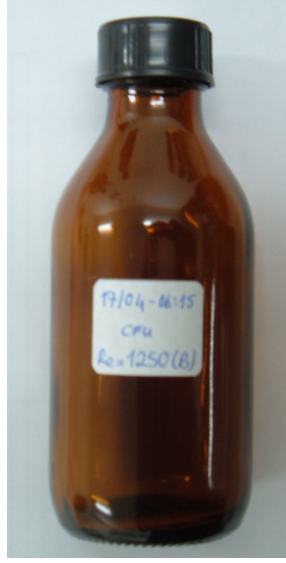
2.2. Deneyisel Çalışma

Sunulan tez çalışmasının ilk bölümünde, laminar akım bölgesi, ve geçiş bölgesine ait farklı debiler için deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde, boru başı ve boru sonundan 100 ml'lik cam şişelere numuneler alınmıştır. Deney düzeneğinden 100 ml'lik şişelere alınan su numuneleri Lovibond marka sabit sıcaklık dolabında alındıkları sıcaklıkta tutulmuştur. Belirli zaman aralıklarında bu şişeler açılarak klor konsantrasyonları ölçülmüştür.

Deneylerde ilk önce, boru sonunda vana ayarı yapılarak istenilen debi elde edilir. Deney düzeneği hangi Reynolds sayısına ayarlanacaksa ilk önce o Reynolds sayısına karşılık gelen debi (lt/s) bulunur. Deney düzeneğinde debi ayarlanırken, boru sonundaki vanadan bu işlem yapılır. Teksan marka su saati üzerinde debi büyüklüğüne uygun olan hüzme (kadran) seçilerek kronometre ile debi kontrol edilir. Debi ayarlamasından sonra, deneylerin yapılmasına başlanır. Sunulan tez çalışmasında, sonbahar aylarında 14-16 °C'de 17 farklı debi ve yaz aylarında ise 20-21 °C'de 18 farklı debi için deneyler yapılmıştır. Yapılan deneyler devam eden bölümlerde anlatılmaktadır.

2.2.1. Numune alma şişeleri ve hazırlanması

Deneylerde, numune almak ve saklamak için 100 ml'lik koyu kahverengi renkli ve siyah plastik kapaklı cam şişeler kullanılmıştır. Şişelere alınacak olan su numunelerini gün ışığından koruyabilmek için, şişe camlarının koyu kahverengi renkli olması tercih edilmiştir (Resim 2.2).



Resim 2.2. Numune şişesi (100 ml)

Bu şişeler ve plastik kapakları deneylerde kullanılmadan önce iyice çalkalanarak yıkanmıştır. Bir deney seti için kullanılan şişeler, iyice yıkanıp temizlendikten sonra başka bir deney setinde de kullanılabilmiştir.

Her bir deney seti için, yani her bir farklı debi için boru başından 7 adet ve boru sonundan 7 adet olmak üzere toplam 14 adet numune alma şişesi kullanılacağından bu şişeler 14'erli gruplar halinde sıralanmıştır. Literatürde daha önce yapılan benzer deneyler dikkate alınarak numune sayısı 7 olarak belirlenmiştir.

Şişelerin saklanması esnasında tüm şişelerin mümkün olduğunca temiz olmasına dikkat edilmiştir. Bunun için, tüm şişeler kapakları ile birlikte iyice yıkanmış ve içerisindeki sudan arınıncaya kadar elle çırpılmıştır. Daha sonra, tüm şişeler ve kapakları masanın üzerine serilen temiz bir kağıdın üzerine sıralanmış ve kuruyuncaya kadar bekletilmiştir. Şişelerin üzerine çalışılan Reynolds sayısı, borunun başından mı sonundan mı alındığı ve alınış saati yazılmıştır.

2.2.2. Su numunelerinin şişelere alınması ve şişelerin muhafazası

Her bir deney için boru başı ve boru sonundan 7'şer adet su numunesi 100 ml'lik şişelere alınmıştır. Söz konusu numuneler, boru başı ve boru sonuna yerleştirilen numune alma musluklarından alınır (Resim 2.3). Numune alma musluğu, musluktan çıkan suyun fazla dalgalanmaması için uygun bir miktarda (az) açılmalıdır. Su numuneleri alınmadan önce hazırlanan şişeler, numune alma musluğundan akıtılan su ile yarıya kadar doldurulur ve kapakları kapatıldıktan sonra iyice çalkalanıp dökülür. Daha sonra bu şişelere numune alımına başlanır. Su numuneleri alınırken şişeye giren suyun çalkalanmamasına özen gösterilir. Numune alma işlemi gayet seri bir şekilde yapılmalıdır.



Resim 2.3. Numune alma musluğu (Boru başı)

Numune alınan şişe ağzına kadar doldurulduktan sonra kapağı sıkıca kapatılır ve diğer şişeye numune alınmaya başlanır. Aynı şekilde bütün şişelere numune alımı gerçekleştirilir. Tüm şişeler doldurulduktan sonra Lovibond marka sabit sıcaklık dolabında muhafaza edilir. Sabit sıcaklık dolabı numunelerin alındıkları andaki sıcaklıklarına ayarlanır.

Her bir deney için klor tüketiminin tayininde kullanılmak üzere, boru başından ve boru sonundan 7 şer adet olmak üzere toplam 14 adet numune şişesi alınmış olur. Bu şişelerden birincisi, şişeler doldurulduktan hemen sonra

açılır ve okunur. İkinci ve üçüncü şişeler ise, birinci şişe okumalarını takiben o debi için suyun boru içi iletim süresi (travel time) kadar zaman geçtikten sonra okuma yapılır. Daha sonraki şişelerin ise her biri 7 ila 12 saat arası bir süre ile açılarak içerdikleri klor miktarları portatif klor ölçer (Palintest Micro 1000) ile ölçülür. Klor okumaları ve açılış zamanları tablolara kaydedilir.

2.2.3. Ayarlanan herhangi bir debi için uygulanan yöntem

Yapılan tüm deneysel çalışmalarda direkt olarak şehir şebekesinden alınan su kullanılmıştır. Deneylerin sağlıklı olarak yapılabilmesi amacıyla deney sırasında, boru başındaki klor seviyesinin sabit kalması ve deney süresince bu sabit klor seviyesinin değişmemesi öngörülmüştür. Bu nedenle, deney yapmak için klor seviyesindeki salınımın az olduğu saatler seçilmiştir. Deney esnasında, numunelerin şişelere alınması, şişelerin muhafazası ve daha sonra açılarak klor konsantrasyon ölçümlerinin yapılması ve kaydedilmesi önceki bölümlerde açıklanmıştır. Deneylerde su ve ortam sıcaklıklarını ölçmek için iki adet de termometre kullanılmıştır.

2.3. Deneysel Sonuçlar ve Değerlendirilmesi

Bu bölümde, tez çalışmasının ilk aşamasında test borusu ile yapılan boru içi klor kayıp katsayılarının belirlenmesi ile ilgili deney sonuçlarına ait değerlendirmeler bulunmaktadır. Bu bölümle ilgili yapılan deneylerin sonuçları grafikler ve çizelgeler halinde toplu olarak EK-3'te sunulmuştur.

Sonbahar aylarında su ve ortam sıcaklıklarının 14-16 °C olduğu durumda yapılan deneylerde yapılan ölçüm değerleri tablolara dönüştürülmüş ve bu tablolarda verilen zaman ile değişen klor değerleri C_t/C_0 ve t grafikleri (EK-3 Şekil 3.1 – Şekil 3.17) şeklinde ifade edilebilmiştir. Yaz aylarında ise, su ve ortam sıcaklıklarının 20-21 °C olduğu durum için yapılan deneylerde aynı şekilde yapılan ölçüm değerleri tablolara dönüştürülmüş ve bu tablolarda verilen zaman ile değişen klor değerleri yine C_t/C_0 ve t grafikleri (EK-3 Şekil

3.18 – Şekil 3.35) şeklinde ifade edilmiştir. Bu grafiklerde, C_t klorun anlık değerini, C_0 ise numune alındığı andaki değerini ifade etmektedir. t ise dakika cinsinden zamanı belirlemektedir. Bu grafiklerde verilen C_t/C_0 değerlerinin zamanla değişimine uyan en uygun eğriler (best fit curve) bulunmuş ve grafikler üzerine çizdirilmiştir. Boru içi klor tüketimini tarifleyen denklem, literatürde bulunan birçok makaleye göre de 2.1’de ifade edildiği gibi yazılabilmektedir. Grafiklerdeki eğrilere uyan k_b değeri ve regresyon değeri (R^2) de grafikler üzerinde yazılmıştır.

$$C_t = C_0 e^{-k_b t} \quad (2.1)$$

Yukarıdaki denklemde k_b ($1/t$) boru içi klor tüketim sabitini ifade etmektedir.

Su ve ortam sıcaklıklarının $14-16^\circ\text{C}$ olduğu durum için tüm debiler ile yapılan deneylere (Reynolds sayılarına) ait boru başı ve boru sonu için C_t/C_0 ve t grafikleri (EK-3 Şekil 3.36 ve Şekil 3.38) toplu halde çizdirilmiştir. Aynı şekilde su ve ortam sıcaklıklarının $20-21^\circ\text{C}$ olduğu durum için yapılan deneylere (Reynolds sayılarına) ait boru başı ve boru sonu için C_t/C_0 ve t grafikleri (EK-3 Şekil 3.37 ve Şekil 3.39) yine toplu halde çizdirilmiştir. Bu grafiklerin düşey eksenlerinde farklı debilere (Reynolds sayılarına) ait boru başı veya boru sonu C_t/C_0 değerleri logaritmik olarak verilmiştir. Yatay eksen lineer olarak ve dakika cinsinden ifade edilmiştir. Hem boru başı hem de boru sonu için çizilen bu log-normal grafiklerden borudaki debi (Reynolds sayısı) arttıkça her iki ortam ve su sıcaklığında klor tüketiminin arttığı gözlenebilmektedir.

Tüm deney setleri için boru başı ve boru sonu klor tüketim sabitleri k_b ile regresyon değerleri R^2 , her iki su ve ortam sıcaklığı durumu için ekler bölümündeki ilgili çizelgelerde toplu olarak verilmiştir (EK-3 Çizelge 3.1 – Çizelge 3.2). Gerek boru içi klor tüketim sabitleri gerekse boru içi çeperindeki klor tüketim sabitleri şimdiye kadar yapılan çalışmalarda ‘1/saat’ veya ‘1/gün’

olarak verilmiştir. Bu nedenle, grafiklerden birimleri '1/dakika' olarak elde edilen boru içi klor tüketim sabitlerinin 60 ile çarpılması sonucu '1/saat', 1440 ($60 \times 24 = 1440$) ile çarpılması sonucu da '1/gün' cinsinden boru içi klor tüketim sabitleri bulunmuştur. Ayrıca, bu çizelgede boru başı ve boru sonu klor tüketim sabitlerinin aritmetik ortalamaları da verilmiştir.

Elde edilen boru başı ve boru sonu klor tüketim sabitlerinin Reynolds sayısına göre değişimini bir arada veren grafik her iki ortam ve su sıcaklığı için (EK-3 Şekil 3.40 – Şekil 3.41) çizilmiştir. EK-3 Şekil 3.40 ve Şekil 3.41 incelendiğinde, test borusundaki akım hızı, dolayısı ile Reynolds Sayısı, arttıkça hem boru başında hem de boru sonunda boru içi klor tüketim sabitlerinin arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca, boru başı ve boru sonu için klor tüketim sabitlerinin birbirlerine çok yakın değerler olduğu da izlenmektedir.

Su ve ortam sıcaklığının her iki durumu için de yapılan çalışmalar ile ilgili boru başına ait ilk klor değerleri ile klor tüketim sabitlerini bir arada veren grafikler (EK-3 Şekil 3.42 – Şekil 3.43) oluşturulmuştur. Aynı şekilde, su ve ortam sıcaklığının her iki durumu için de yapılan çalışmalar ile ilgili boru sonuna ait ilk klor değerleri ile klor tüketim sabitlerini bir arada veren grafikler de (EK-3 Şekil 3.44 – Şekil 3.45) oluşturulmuştur. Grafiklerde, k_{bb} boru başı klor tüketim sabitini, k_{bs} ise boru sonu klor tüketim sabitini ifade etmektedir. Bu grafiklerde, her iki ortam ve su sıcaklığı durumunda da boru başı ve boru sonu ilk klor değerlerinin birbirlerinden çok farklı olmadığı izlenmektedir. Ayrıca, boru başı ve boru sonu ilk klor değerlerinin boru içi klor tüketim sabiti k_b 'nin artışı üzerinde etkisinin olmadığı da gözlemlenebilmektedir.

Boru başı ve boru sonu klor tüketim sabitlerinin Reynolds sayısına göre değişimini her iki ortam ve su sıcaklığı için veren grafikler (EK-3 Şekil 3.46 – Şekil 3.47) oluşturulmuştur. Ayrıca, boru başı ve boru sonu klor tüketim sabitlerinin aritmetik ortalamalarının Reynolds sayısına göre değişimini veren grafikler yine her iki sıcaklık durumu için (EK-3 Şekil 3.48 – Şekil 3.49) oluşturulmuştur. EK-3 Şekil 3.48 ve Şekil 3.49'da k_{bort} ortalama tüketim

katsayısını ifade etmektedir. Bu grafiklerde, her iki sıcaklık durumu için de boru içi klor tüketim sabitlerinin Reynolds sayısına (veya akım hızına) bağlı artışının logaritmik olduğu görülmektedir. Bu logaritmik artışın eşitlikleri ve regrasyon değerleri grafik üzerinde ifade edilmiştir. Bu eşitlik şu şekilde tanımlanabilmektedir;

$$k_{bort} = 0.1170 \ln(Re) - 0.0594 \quad (Re > 0) \quad (t=14-16 \text{ } ^\circ\text{C}) \quad (2.2)$$

$$k_{bort} = 0.1208 \ln(Re) - 0.1322 \quad (Re > 0) \quad (t=20-21 \text{ } ^\circ\text{C}) \quad (2.3)$$

Şekil 1.50'de ise önceki yapılan çalışma (Demir, 2005) (9-10 $^\circ\text{C}$) için elde edilen boru içi klor tüketim katsayısı sonuç değerleri ile bu çalışmada 2 farklı sıcaklık kademesinde (14-16 $^\circ\text{C}$; 20-21 $^\circ\text{C}$) elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucu, eşitlik 2.4 Reynolds sayısı ve t cinsinden elde edilmiştir.

$$k_{bort} = 0.11977 \ln(Re) - 0.00364 t - 0.03136 \quad (Re>0 ; t>0^\circ\text{C}) \quad (2.4)$$

Eş. 2.4'te, "t" sıcaklık değeri $^\circ\text{C}$ cinsinden ifade edilmektedir.

Bunların dışında, EK-3 Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4 iki farklı sıcaklık kademesinde her bir Reynolds sayısı için boru başı ve boru sonundan alınan numune şişelerindeki klor konsantrasyon değerleri arasındaki farkları göstermektedir. Bu çizelgeler toplam 4 kolondan oluşmaktadır. İlk kolon Reynolds sayısını, ikinci kolon boru başı ve boru sonu ilk şişe klor konsantrasyonları arasındaki farkı gösterir. Üçüncü ve dördüncü kolonlar ise sırası ile boru başı ve boru sonu ilk şişe ve ikinci şişe klor konsantrasyonları arasındaki farkı gösterir. Çizelgelerde, B1 ve B2 boru başı ilk ve ikinci şişeyi, S1 ve S2 ise boru sonu ilk ve ikinci şişeyi ifade eder. Son 3 kolon karşılaştırıldığında önemli farkların olmadığı genel olarak söylenebilir. Bu durumda varılacak olan yargı boru içi tüketim sabiti bulunurken uygulanan şişelerle numune alma (bottle decay test) yöntemi geçerli bir yöntemdir.

Çünkü, EK-3 Çizelge 3.3 – Çizelge 3.4’da 2 nolu kolonda verilen akan sudaki klor kaybı ile EK-3 Çizelge 3.3 – Çizelge 3.4’da 3-4 nolu kolonda verilen şişelerdeki durgun suyun klor kaybı arasında kaydedilebilir bir fark yoktur.

3. KLOR-FLOR DİFÜZYON KATSAYILARININ BELİRLENMESİ

Sunulan tez çalışmasının ikinci bölümünde, su şebeke borularında dispersiyonun etkisi araştırılmış, klor ve florun görünür difüzyon katsayıları ile dispersiyon katsayıları elde edilmiştir. Bu amaçla, birinci bölümle ilgili deneylerde kullanılan 4 inç çapında ve 81 metre uzunluğundaki yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) boru düzeneği ikinci bölümde de kullanılmıştır.

Tezin bu bölümü ile ilgili çalışmalarda kullanılan cihazlar EK-2'de anlatılmıştır.

3.1. Deneysel Çalışma

Sunulan tez çalışmasının ikinci aşamasında laminar akım bölgesi, ve geçiş bölgesine ait farklı debiler için deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde, klor ve florun boru başında enjekte edilmesiyle oluşan boru başı ve boru sonu klor ve flor konsantrasyon değişimleri kaydedilmiştir.

Bu bölümde klor enjeksiyonu ile ilgili 12 ve flor enjeksiyonu ile ilgili 11 olmak üzere toplam 23 farklı debi için deneyler yapılmıştır (EK-4 Şekil 4.1 – Şekil 4.23). EK-4 Şekil 4.1 – Şekil 4.12 nolu şekiller klor enjeksiyonu ile ilgili deney grafiklerini vermektedir. Bu grafiklerdeki yeşil ve kırmızı çizgiler sırası ile boru başı ve boru sonu için Hach Lange marka 9184 sc dijital klor ölçerlerin gösterdiği değerleri, kahverengi ve siyah çizgiler ise sırası ile boru başı ve boru sonu için Endress+Hauser marka Liquisys M sistem klor ölçüm cihazının gösterdiği değerleri ifade etmektedir. Grafiklerdeki bu çizgi renkleri sadece $Re=532$ ve $Re=7688$ için yapılan deneylerde farklılık göstermektedir. EK-4 Şekil 4.2 $Re=532$ için yapılan klor enjeksiyonu ile ilgili deney grafiğini vermektedir. Bu grafikte, boru sonu Hach Lange marka 9184 sc dijital klor ölçerinin gösterdiği ifade etmek için pembe çizgi kullanılmış olup diğer çizgi renkleri aynen korunmuştur. Şekil 4.8 $Re=7688$ için yapılan klor enjeksiyonu ile ilgili deney grafiğini vermektedir. Bu grafiklerdeki kırmızı ve yeşil çizgiler

sırası ile boru başı ve boru sonu için Hach Lange marka 9184 sc dijital klor ölçerlerin gösterdiği değerleri, mavi ve siyah çizgiler ise sırası ile boru başı ve boru sonu için Endress+Hauser marka Liquisys M sistem klor ölçüm cihazının gösterdiği değerleri ifade etmektedir. EK-4 Şekil 4.13 – Şekil 4.23 flor enjeksiyonu ile ilgili deney grafiklerini vermektedir. Bu grafiklerdeki yeşil ve kırmızı çizgiler sırası ile boru başı ve boru sonu için Prominent marka cihazların ölçüm değerlerini ifade etmektedir. Grafiklerdeki bu çizgi renkleri, sadece $Re=198$ (Şekil 4.13), $Re=583$ (Şekil 4.14) ve $Re=1565$ (Şekil 4.16) için yapılan deneylerde farklılık göstermektedir. Bu grafiklerde, kırmızı ve yeşil çizgiler sırası ile boru başı ve boru sonu için Prominent marka flor ölçüm cihazlarının gösterdiği değerleri ifade etmektedir. Klor ve flor enjeksiyonu ile ilgili tüm deney grafiklerinde (EK-4 Şekil 4.1 – Şekil 4.23), yatay eksen gün-ay-yıl cinsinden tarihi ve saat-dakika-saniye cinsinden zamanı ifade etmektedir. Düşey eksen ise, milyarda bir (parts per billion-ppb) cinsinden ölçülen klor veya flor konsantrasyon değerlerini göstermektedir. Deneylerde klor ve flor için görünür difüzyon katsayıları ile dispersiyon katsayılarının bulunması amaçlanmıştır. Deneylerin yapılışı aşağıdaki paragraflarda anlatılmaktadır.

Deneylerde ilk önce debi ayarı yapılır. Deney düzeneğinin debi ayarının nasıl yapılacağı Bölüm 2.2’de bahsedilmiştir. Ancak deneysel çalışmaların bu bölümünde, kullanılan sürekli klor ölçerlerin debi ayarı Prominent marka flor ölçüm cihazından yapılmaktadır. Sürekli (online) klor ölçerler flor konsantrasyonunu ölçen Prominent marka cihazdan aldığı suyu klor konsantrasyonunu da ölçtüktan sonra deşarj eder. Düşük debilerde debi ayarı yapılırken deşarj suyu da işleme katılmıştır. Ayrıca, klor enjeksiyon deneylerinde boru düzeneğinde klor değerlerinin sabitlenmesi için, boru sonu küresel vana sonuna kadar açılmış ve şebeke suyunun laboratuara kadar ulaşması beklenmiştir.

Şebekedeki basınç değişimlerini önlemek amacıyla boru başına basınç kırıcı monte edilmiştir. Basınç kırıcının montajıyla flor konsantrasyonlarındaki

salınımlar bir miktar daha önlenmiştir. Ancak, yine de mümkün olduğunca düzgün sonuçlar elde edilinceye kadar deneyler defalarca tekrarlanmıştır.

Çalışmalarda dozaj pompası deposu içinde hazırlanan klor solüsyonu boru başında şebeke suyundaki klor konsantrasyonuna ilave olarak enjekte edilmiş ve boru başındaki klor konsantrasyonunun yaklaşık 1.5 ila 2.0 mg/lt (ppm) seviyesine ulaşması sağlanmıştır. Pompa gerisindeki bu depo içerisinde hazırlanan solüsyon enjekte edildiğinde istenilen konsantrasyon değerini aşarsa, solüsyon içerisine su konularak solüsyon seyreltilmiştir. Hazırlanan solüsyonun enjekte edilmesiyle elde edilen konsantrasyon değerinin düşük olduğu izlendiğinde, pompa gerisindeki depodaki solüsyon içerisine klor eklenerek konsantrasyonu artırılmıştır. Solüsyon içerisine katılan su ve klordan sonra solüsyonun homojenliğini sağlamak için tahta kürekle karıştırılmıştır. Hazırlanan yeni konsantrasyon enjekte edilmeden önce, boru başında enjekte edilen bir önceki konsantrasyon dalgasının sönümlenmesi beklenir. Bu şekilde solüsyon konsantrasyonunda istenilen değere ulaşıncaya kadar çalışılır. İstenilen solüsyon konsantrasyonu elde edildiğinde, özellikle düşük debilerde boru içi iletim süresinin yüksek olmasından dolayı, boru sonundaki vana sonuna kadar açılır. Klor enjekte edilmesinden dolayı, akım içerisinde oluşan tüm konsantrasyon dalgalarının sönümlenmesi beklenir. Daha sonra vana tekrar kısılarak, çalışılacak Reynolds sayısına ayarlanır ve düzenek bir süre böylece çalıştırılır. Yüksek debilerde boru içi iletim süresi az olduğundan dalgalar kısa zamanda boru içerisinde sönümleneceğinden vana açılmaz. Daha sonra, depoda hazırlanan solüsyon pompa ile test borusuna basılır. Boru başındaki konsantrasyon değeri yükseldikten sonra belli bir değere ulaşır ve o değerde hafif dalgalanmalar yapmasına rağmen düz bir şekilde devam eder. Boru başındaki dalga, boru içi iletim süresi kadar sonra boru sonuna ulaşır ve boru sonundaki konsantrasyon değeri yükselmeye başlar. Boru sonundaki konsantrasyon değeri maksimum değerine ulaştığında boru başı ve boru sonu konsantrasyon değerlerinin birlikte maksimum değerlerde bir süre devam etmesi beklenir. Daha sonra, suyun boru içi iletim süresi kadar sonra

pompa kapatılır. Pompanın kapatılmasıyla, solüsyon enjeksiyonu durdurulmuş olur. Böylece, ilk önce boru başında ve daha sonra, boru içi iletim süresi kadar sonra boru sonunda dalga sönümlenmeye başlar (EK-4 Şekil 4.1 – Şekil 4.23). Dalgalar tamamen sönümlendikten sonra, vana sonuna kadar açılarak boru düzeneğine şebeke suyunun tekrar ulaşması beklenir. Daha sonra düzenek farklı bir debiye ayarlanır ve yeni ayarlanan debi için denemeler yapılarak solüsyon hazırlanır.

Deneylerde belirtilen bu işlemler flor için de yapılmıştır. Özellikle, düşük debilerdeki deneylerin çok uzun sürmesi nedeniyle flor konsantrasyonlarında çok fazla salınım olmaktadır. Bu nedenle, düşük konsantrasyon değerlerinde salınımı azaltmak için, flor konsantrasyonları bazen 1.5 mg/l'tnin altında hazırlanmıştır.

Bu bölümde, klor ve florla ilgili deneyler 20000'e kadar değişik Reynolds sayıları için yapılmıştır.

3.2. Model Formülasyonu ve Nümerik-Analitik Çözümler

Sunulan tez çalışmasının ikinci bölümünde, birinci derece kayıp terimi ile zamana bağlı iki boyutlu taşınım-yayılım eşitliği kullanılmıştır.

$$\frac{\partial C}{\partial t} + V \frac{\partial C}{\partial x} = D_L \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r D_r \frac{\partial C}{\partial r} \right) - k_b C \quad (3.1)$$

Eş. 3.1'in sınır şartları;

$$C(x,0)=0 \quad x>0$$

$$C(0,t)=C_0$$

$$\partial C / \partial r = 0 \quad r=0$$

$$D_r (\partial C / \partial r) = W_d C \quad r=r_0$$

$$\partial C / \partial x = 0 \quad x=L$$

Eşitlikte, V borunun radyal kesiti için literatürde o Reynolds sayısına ait olabilecek hız profilini, x boru boyunca olan mesafeyi, r boru merkezinden olan radyal mesafeyi, D_r ve D_L ise, r ve x yönündeki görünür difüzyon katsayısını, r_0 boru yarıçapını, k_b boru içi klor tüketim katsayısını, C_0 başlangıç konsantrasyon değerini, W_d boru iç çeperinde meydana gelen kaybı ifade etmektedir. Deneylerimizde çeper kaybı olmadığından W_d değişkeni yok sayılmış ve sıfır olarak alınmıştır. Ayrıca, bu bölümdeki çalışmalarda, flor kaybolmadığı için florla ilgili nümerik simülasyonlarımızda “ $k_b C$ ” kayıp terimi tüm Reynolds sayıları için sıfır kabul edilmiştir. Klorda ise düşük Reynolds sayılarında boru içi iletim süresinin fazlalığı nedeniyle kayıp oluşmaktadır. Bu nedenle, $Re=1513$ ve daha düşük Reynolds sayılarında kayıp terimi ($k_b C$) tezin ilk aşamasında hesaplanan benzer Re değerleri için hesaplandığı şekilde dikkate alınmıştır. Fakat $Re=1513$ 'ten yüksek Reynolds sayıları için var olan kayıp ölçülemediği için ihmal edilmiştir.

Eş. 3.1'in sınır şartları göz önünde bulundurularak değişen yönlü dolaylı adımlı yöntem (Alternating Direction Implicit Method-ADI) ile çözümü yapılmıştır [10].

Eş. 3.1'in nümerik çözümlemesi, klor ve flor için tüm deney setlerinin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Nümerik sonuçlar ile deney sonuçları arasındaki farkları minimize eden bir yaklaşım ile uygun görünür difüzyon katsayıları elde edilinceye kadar denemeler yapılmıştır. Tüm deneysel veriler için en uygun difüzyon katsayıları elde edilmiştir. Denemeler yapılırken x ve r yönündeki görünür difüzyon katsayıları D_L ve D_r eşit kabul edilmiştir.

Her bir Reynolds sayısına karşılık gelen görünür difüzyon katsayısı bulunmuş ve grafikleri oluşturulmuştur (EK-5 Şekil 5.1 – Şekil 5.23). Bu grafiklerdeki kırmızı çizgi deneylerde kaydedilen deneysel verileri, mavi çizgi ise iki boyutlu taşınım-yayılım eşitliğinin nümerik çözümünden elde edilen sonuçları göstermektedir. Grafiklerin üzerinde deneyin hangi Reynolds sayısı (Re) için yapıldığı ve elde edilen en uygun görünür difüzyon katsayısı (D_L)

belirtilmektedir. Grafiklerde yatay eksen zamanın (t) boru içi iletim süresine (t_c) bölünmesi sonucu elde edilen boyutsuz büyüklüğü ifade etmektedir. Dikey eksen ise anlık klor veya flor konsantrasyonunun (C_t) başlangıç, maksimum klor veya flor konsantrasyon değerine (C_0 veya C_{max}) bölünmesi ile elde edilen boyutsuz büyüklüğü ifade etmektedir. Çalışmalarda, klor için $Re=1513$ ve daha düşük Reynolds sayıları için (klor kayıplarını tespit etmek için) başlangıç klor konsantrasyonları (C_0), $Re=1513$ 'ten büyük Reynolds sayıları için maksimum klor konsantrasyonları (C_{max}) kullanılmıştır. Florda ise, tüm Reynolds sayıları için maksimum flor konsantrasyonları kullanılmıştır.

İki boyutlu denklemin nümerik çözümü dışında bilinen bir çözümünün olmaması ve pratikte daha çok 1 boyutlu denklem ile çalışılabilir olması nedeniyle eş. 3.1 bir boyuta taşınmıştır. Su şebekelerinde su kalitesi analiz programları, r yönünde değişimi ihmal etmekte ve problemi bir boyutlu olarak değerlendirmektedir.

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - k_b C \quad (3.2)$$

Yukarıdaki eşitlikte, D dispersiyon katsayısını, U ise boru kesitindeki ortalama hızı ifade etmektedir.

Tek boyutlu taşınım-yayılm eş. (3.2) Laplace dönüşümü ile çözümü elde edilebilir [10].

$$C = C_0 e^{\frac{U}{D}x} \left\{ \frac{e^{-\frac{x}{\sqrt{D}} \sqrt{\left(\frac{U^2}{4D} + K\right)}}}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{x/\sqrt{D}}{2\sqrt{t}} - \sqrt{\left(\frac{U^2}{4D} + K\right)t} \right) + \frac{e^{\frac{x}{\sqrt{D}} \sqrt{\left(\frac{U^2}{4D} + K\right)}}}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{x/\sqrt{D}}{2\sqrt{t}} - \sqrt{\left(\frac{U^2}{4D} + K\right)t} \right) \right\} \quad (3.3)$$

10 adet t/t_c boyutsuz zamanına (0,82, 0,88, 0,93, 0,98, 1,03, 1,07, 1,11, 1,16, 1,22 ve 1,33) karşılık gelen yine 10 adet C_t/C_0 değerleri iki boyutlu denklemin (3.1) nümerik çözümlerinden elde edilen verilerden (EK-5 Şekil 5.1 – Şekil 5.23) okunur. Daha sonra bu ikili okumalar eşitlik 3.3'e yerleştirilerek dispersiyon katsayısı (D) elde edilmiştir. Eşitlikteki " t " değeri ise t/t_c boyutsuz zaman değerinin boru içi iletim süresi ile çarpımı sonucu elde edilir. Boru sonu klor veya flor konsantrasyon değeri arandığından " x " boru sonunu göstermektedir ve 81 m değeri alınır. Her bir dispersiyon katsayısı bir çift t/t_c 'ye karşılık gelen C_t/C_0 değeri için elde edilebilmiştir. Tek bir nümerik S eğrisi üzerinden elde edilen bu 10 adet dispersiyon değerinin ortalaması alınarak hatası giderilmiş dispersiyon (D) katsayılarının ortalaması tespit edilmiştir (EK-5 Çizelge 5.1). Florun tüm Reynolds sayıları ve klorun ise $Re=1513$ 'ten yüksek Reynolds sayıları için " k_b " kayıp katsayısı, boru içi iletim süresinin az olmasından dolayı sıfır olarak alınmıştır.

3.3. Deneysel Sonuçlar ve Değerlendirilmesi

Deneylerde şebeke suyuna klor ve flor enjeksiyonu üzerinde çalışılmıştır. Klorda $Re=188$ 'den $Re=20254$ 'e kadar 12 adet, florda ise $Re=198$ 'den $Re=20104$ 'e kadar 11 adet olmak üzere toplam 23 adet Reynolds sayısı için boru başından şebeke suyuna klor ve flor enjekte edilmiştir. Test borusu başında hissedilen klor ve flor konsantrasyonu artışı daha sonra boru sonunda da izlenmiş ve kaydedilmiştir. Konsantrasyonlardaki değişim Elimko marka veri aktarıcı ile bilgisayara aktarılmış ve Elimko'nun grafik programı ile grafik haline getirilmiş ve kaydedilmiştir (EK-4 Şekil 4.1 – Şekil 4.23). Bölüm 3.3'de bu grafikler detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

EK-5 Şekil 5.1 – Şekil 5.23 nolu grafiklerden elde edilen verilerle EK-5 Çizelge 5.1 oluşturulmuştur. EK-5 Çizelge 5.1 klor ve flor için elde edilen verilerin bulunduğu iki kısımdan oluşmaktadır. Her bir kısımda beşer adet kolon bulunmaktadır. Bu kolonlarda sırası ile Reynolds sayısı (Re), boru içi iletim süresi (travel time- t_c), S dalgası (S -curve eğrisi) başlangıç ve bitiş

zamanları ve görünür difüzyon katsayıları (D_L) bulunmaktadır. EK-5 Çizelge 5.1'de beşinci kolonlarda bulunan klor ve flor için her bir Reynolds sayısına karşılık gelen görünür difüzyon katsayılarından yararlanılarak EK-5 Şekil 5.24 oluşturulmuştur. EK-5 Şekil 5.24'de klor ve flor için görünür difüzyon katsayılarının değişimi görülmektedir. Bu grafikte yatay eksen Reynolds sayılarını (Re) logaritmik ölçekte, düşey eksen ise görünür difüzyon katsayılarını (D_L) lineer ölçekte göstermektedir. Grafik incelendiğinde klor ve florun görünür difüzyon katsayılarının Reynolds sayısı ile artış gösterdiği anlaşılmaktadır.

Bölüm 3.3'de bahsedildiği gibi tek boyutlu taşınım-yayılım eşitliği Laplace dönüşümü ile çözülmüştür [10]. EK-5 Şekil 5.24'de de gösterilen görünür difüzyon katsayıları ile oluşmuş nümerik çözümlerden elde edilen grafiklerden (EK-5 Şekil 5.1 – Şekil 5.23) x ekseninde bulunan 10 değişik t/t_c değerine (0,82, 0,88, 0,93, 0,98, 1,03, 1,07, 1,11, 1,16, 1,22, 1,33) karşılık gelen C_t/C_{max} değerleri kaydedilmiştir. Bu karşılıklı değerlerden (3.3) nolu çözüm eşitliği kullanılmış ve dispersiyon katsayıları elde edilmiştir. Dispersiyon katsayıları bulunurken hataların karesinin minimize edilmesi yöntemi seçilmiştir. Aynı grafikte yer alan 10 veri kullanıldığı için birbirine yakın olan 10 dispersiyon katsayısının ortalamaları alınarak hatası giderilmiş dispersiyon (D) katsayıları bulunmuştur (EK-5 Çizelge 5.2 - Şekil 5.25). EK-5 Şekil 5.25'de farklı debilerde şebeke suyuna enjekte edilen klor ve florun dispersiyon katsayılarının değişimi görülmektedir. Bu grafikte yatay eksen Reynolds sayılarını (Re) logaritmik ölçekte, düşey eksen ise dispersiyon katsayılarını (D) lineer ölçekte vermektedir. Grafik incelendiğinde klor ve florun dispersiyon katsayılarının Reynolds sayısı ile artış gösterdiği anlaşılmaktadır. EK-5 Çizelge 5.2 flor ve klor için ayrılan iki ana bölümden oluşmaktadır. Bu bölümlerin birinci ve ikinci kolonlarında sırası ile Reynolds sayıları (Re) ve dispersiyon katsayıları (D) bulunmaktadır. Son kolonunda ise, EK-5 Şekil 5.26 nolu grafikte kullanılacak olan boyutsuz büyüklük ($D/(d*U)$) bulunmaktadır.

EK-5 Çizelge 5.2'de hesaplanan boyutsuz büyüklüğün ($D/(d*U)$) Reynolds sayısına göre değişimi Sherwood [11] tarafından hazırlanan çalışma sonuçları ile karşılaştırılmıştır (EK-5 Şekil 5.26). Bu grafikte, yatay eksen Reynolds sayısını, düşey eksen ise dispersiyon katsayılarından (D) hesaplanan boyutsuz büyüklüğü ($D/(d*U)$) vermektedir. Bu grafikte her iki eksen de logaritmik ölçeklidir. Bu çalışma dahil olmak üzere tüm çalışmalarda boyutsuz büyüklüğün ($D/(d*U)$) Reynolds sayısının artışıyla azaldığı görülmektedir.

EK-5 Şekil 5.27'de, Stirba'nın [10] yapmış olduğu çalışma ile bu çalışmada bulunan görünür difüzyon katsayıları karşılaştırılmıştır. Stirba'nın çalışmasında çeşitli kimyasal moleküllerin su, etanol ve butanol içerisindeki görünür difüzyon katsayıları çıkarılmıştır. Sunulan tez çalışmasında ise klor ve florun şebeke suyu içerisindeki görünür difüzyon katsayıları çıkarılmış ve karşılaştırılmıştır (EK-5 Şekil 5.27). Grafiğin yatay eksenini Reynolds sayılarını (Re), düşey eksenini ise görünür difüzyon katsayılarını (D_L) vermektedir. Her iki eksen de logaritmik ölçeklidir. Tüm çalışmalarda görünür difüzyon katsayılarının Reynolds sayıları ile birlikte arttığı görülmektedir.

İki boyutlu taşınım-yayılım eşitliğinin nümerik çözümleri farklı boru uzunlukları için de yapılmış ve grafiksel olarak karşılaştırılmıştır (EK-5 Şekil 5.28). EK-5 Şekil 5.28'de klor ve flor için boru uzunlukları pembe renklerde (düz ve kesikli çizgiler) 81 m, yeşil renklerde (düz ve kesikli çizgiler) 150 m, kahverenginde ise (düz ve kesikli çizgiler) 250 m olarak alınmıştır. Düşey ekseninde görülen EW (End of Wave) S dalgası (S-curve eğrisi) bitiş zamanını, SW (Start of Wave) ise S dalgası (S-curve eğrisi) başlangıç zamanını (t_w) ifade etmektedir. Grafikte boru boyunun artmasıyla boru sonundan S dalgası (S-curve eğrisi) geçiş süresinin de arttığı görülmektedir. Boru boyu 81 m'den 250 m'ye doğru artış gösterdiğinde Reynolds sayısı 180-200 aralığı için S dalgasının (S-curve eğrisi) boru sonundan geçiş süresinin 422 dakikadan 854 dakikaya uzadığı izlenebilmektedir. Ayrıca, S dalgası (S-curve eğrisi) zamanının Reynolds sayısının artışıyla azaldığı da

grafikten izlenebilmektedir. EK-5 Şekil 5.28'de yatay eksen Reynolds sayısını (Re) logaritmik ölçekte, düşey eksen dalga bitiş ve başlangıç zamanı arasındaki farkı ($EW-SW; t_w$) yine logaritmik ölçekte göstermektedir.

4. SONUÇLAR

Deneyisel çalışmalar ve bunların nümerik karşılaştırmaları tamamlandıktan sonra elde edilen grafik ve deney görüntüleri EKLER bölümündedir. Bu grafik ve deney görüntüleri incelendiğinde şu genel sonuçlar elde edilmiştir.

Sonuçlar;

- * Akım hızı, dolayısı ile Reynolds sayısı arttıkça hem boru başına ait hem de boru sonuna ait boru içi klor tüketim sabitlerinin (k_{bb} , k_{bs} ve k_{bort}) logaritmik olarak arttığı görülmüştür.
- * Boru içi klor tüketim sabitini (k_b) bulmak için uygulanan şişelere numune alma yöntemi (bottle decay test) geçerli bir yöntemdir.
- * Daha önce yapılan çalışma (Demir, 2005) (9-10 °C) ile bu çalışmada yer alan 2 farklı sıcaklık kademesinde elde edilen boru içi klor tüketim katsayısı logaritmik dağılımları bir eğilimi göstermektedir. Sonuçlar boru içi klor tüketim katsayılarının Reynolds sayısı yanında sıcaklık ile de değiştiğini belirlemektedir.
- * Klor ve florun görünür difüzyon katsayısı ile dispersiyon katsayısının Reynolds sayısının artışıyla arttığı gözlemlenmiştir.
- * Boru uzunluğunun artmasıyla boru sonu S dalgası (S-curve eğrisi) geçiş zamanının da arttığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

1. Ozdemir, Osman N., Ger, A.Metin, "Realistic Numerical Simulation of Chlorine Decay in Pipes", **Water Research Journal**, 32(11):3307-3312 (1998).
2. Rossman, L. A., Clark R. M., Grayman W. M. "Modeling Chlorine Residuals in Drinking-Water Distribution Systems", **J. Envir. Engrg.**, 120(4): 803-820, (1994).
3. Menaia, J., Coelho, S.T., Lopes, A., Fonte, E. and Palma, J., "Dependency of Bulk Chlorine Decay Rates on Flow Velocity in Water Distribution Networks" , **Water Science and Technology: Water Supply**, 3(1-2): 209-214 (2003).
4. Ozdemir, Osman N., Demir, E., "Experimental Study of Chlorine Bulk Decay in Water Supply Pipes", **Journal Hydraulic Research**, 00(0):1-7 basımda (2007).
5. Demir, E., "İçme Suyu Şebekelerinde Boru İçi Klor Tüketim Sabitinin Akım Hızına Bağlı Değişimi", Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara 1-38 (2005)
6. Stirba, C., Hurt, D.M., "Turbulence in Falling Liquid Films", **A.I.Ch.E. Journal**, 1(2):178-184 (1955).
7. Axworthy, D.H., Bryan, W.K., "Modelling Low Velocity/High Dispersion Flow in Water Distribution Systems", **Journal of Water Resources Planning and Management**, 122(3):218-221 (1996).
8. Ozdemir, Osman N., Ger, A.Metin, "Unsteady 2-D Chlorine Transport in Water Supply Pipes", **Water Research Journal**, 33(17):3637-3645 (1999).
9. Tzatchkov, V.G., Aldama, A.A., Arreguin, F.I., "Advection-Dispersion-Reaction Modelling in Water Distribution Networks", **Journal of Water Resources Planning and Management**, 128(5):334-342, (2002).
10. Ozdemir, Osman N., "Simulation of Chlorine Decay in Water Supply Networks", Doktora Tezi, **Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara 1-88 (1997).
11. Sherwood, T.K., Pigford, R.L., Wilke, C.R., "Mass Transfer", **Mc Graw-Hill Kogakusha** 137-141, (1975).

EKLER

EK-1 Deneysel çalışmaların ilk aşamasında kullanılan cihazlar ve kullanımları ile ilgili resim ve anlatımlar

1. Palintest Micro 1000 Marka Klormetre

Palintest Micro 1000 marka cep tipi klor ölçme cihazı portatif (manuel) olarak kullanılır. Bu portatif el tipi klor ölçüm cihazı şehir şebekesinden laboratuara gelen sudan alınan numunelerin ölçümünde ve sürekli (online) klor ölçerlerin kalibrasyonu için kullanılmıştır. Cihaz, 1,5 voltluk iki adet alkalın kalem pil ile çalışır. Cihazın üzerinde bir adet düğme (ON Button) bulunur. Bu düğme ile hem klor okuması hem de cihazın kalibrasyonu yapılır. Cihazın üzerinde test tüpünün yerleştirileceği bir adet test odacığı ve okumaları gösteren sıvı kristal (LCD) ekran bulunur (Resim 4.1 ve Resim 4.2).



Resim 1.1. Palintest Micro 1000 [1]
(a) Test odacığı
(b) LCD ekran
(c) Düğme (ON Button)



Resim 1.2. Palintest Micro 1000 [2]
(a) DPD No: 1 tabletler
(b) Karıştırma çubuğu
(c) Test tüpü (10 ml)

Ayrıca cihazın kalibrasyonu için gerekli olan ve fabrikası tarafından üretilip onaylanan üç adet kalibrasyon tüpü mevcuttur (Resim 4.3). Bu tüplerden biri (Tüp A – Blank Tube) hiç klor içermez (0,00 mg/lit). Diğer iki tüp ise sırasıyla 0,21 mg/lit (Tüp B) ve 1,02 mg/lit (Tüp C) klor içerir.

EK-1 (Devam) Deneysel çalışmaların ilk aşamasında kullanılan cihazlar ve kullanımları ile ilgili resim ve anlatımlar



Resim 1.3. Palintest Mikro 1000 klor ölçme cihazı kalibrasyon tüpleri

Bu cihazı kalibre etmek için Tüp A (Blank Tube) cihazın üzerinde bulunan test odacığına yerleştirilir. Tüp odacığına yerleştirilirken, bir yüzünde bulunan koyu lacivert renkli üçgen işaretinin (▼) kullanıcıya (bize) bakmasına dikkat edilir. Tüp yerleştirildikten sonra cihazın üzerinde bulunan düğmeye 2 sn kadar sürekli olarak basılır. Cihaz önce okuma yapar sonra ekranda beliren okuduğu bu değer kaybolur ve ekrana `---` görüntüsü çıkar, daha sonra yine ekranda `0,00` gözükür. Kalibrasyonu kontrol için diğer iki tüp sırasıyla test odacığına alınır ve okumalar yapılır. Okumaların, cihazın üreticisi tarafından verilen değerler ile aynı olup olmadığı kontrol edilir. Eğer okunan değerler üretici firma tarafından verilen değerler ile aynı ise kalibrasyon tamamlanmıştır, farklı ise cihaz Tüp A kullanılarak anlatılan şekilde tekrar kalibre edilir. Tüp B test odacığına yerleştirildiğinde $0,21 \pm 0,3$ ve tüp C yerleştirildiğinde $1,02 \pm 0,5$ değerlerini göstermelidir.

Deneylerimizde, palintest cihazı sudaki serbest klor miktarını ölçmek için kullanılır. Bu ölçüm için DPD (Diethyl phenylenediamine) No:1 tabletleri

EK-1 (Devam) Deneysel çalışmaların ilk aşamasında kullanılan cihazlar ve kullanımları ile ilgili resim ve anlatımlar

kullanılmıştır. (Resim 4.2. (a)). Ölçümler şu şekilde yapılmıştır:

İçerdiği serbest klor miktarı belirlenecek olan sudan 10 ml'lik su numunesi dereceli pipet ve üç yollu puar (Resim 4.4) yardımı ile 100 ml'lik numune şişesinden veya beher kabından alınır ve cihazın 10 ml'lik cam test tüpüne (Resim 4.2.c.) boşaltılır. Sonra test tüpünün içine DPD No:1 test tabletinden bir tane tablet atılır. Atılan bu tablet cihazın plastik karıştırma çubuğu (Resim 4.2.b.) kullanılarak iyice ezilir ve tüpteki 10 ml'lik su numunesi ile iyice karıştırılır. Daha sonra test tüpünün plastik kapağı sıkıca kapatılır ve tüp hafifçe çalkalanarak tabletin suda iyice eridiğinden emin olunur. Test tüpü, test odacığına yerleştirilmeden önce kağıt havlu ile iyice kurulanır. Ayrıca test odacığının içinin de kuru olmasına dikkat edilir. Test tüpü odacığa yerleştirilir ve okuma düğmesine bir kez kısa süreli basılmak suretiyle okuma yapılır. Ayrıca, her okumadan önce cihaz mutlaka kalibre edilmelidir.



Resim 1.4. 10 ml dereceli pipet ve üç yollu puar

EK-1 (Devam) Deneysel çalışmaların ilk aşamasında kullanılan cihazlar ve kullanımları ile ilgili resim ve anlatımlar

2. Lovibond Marka Soğutmalı İnkübatör (Sabit Sıcaklık Dolabı)

Alınan su numunesinin sabit sıcaklıkta muhafaza edilebileceği Lovibond marka sabit sıcaklık dolabıdır (Şekil 4.5). Tez çalışmasının ilk bölümü ile ilgili deneylerde, boru içi klor tüketim sabitlerinin belirlenmesi için 100 ml'lik şişelere test borusu başından ve sonundan su numuneleri alınmıştır. Bu numuneler Lovibond marka sabit sıcaklık dolabında 14-16 °C'de muhafaza edilmiştir.



Resim 1.5. Soğutmalı inkübatör (sabit sıcaklık dolabı)

Cihazın iç sıcaklığı, cihaz üzerinde bulunan kontrol paneli kullanılarak 2,0 °C ile 40,0 °C sıcaklık aralığında ayarlanabilmektedir. Cihazın içindeki sıcaklık hassasiyeti 0,1 °C düzeyindedir. Kontrol panelinde bulunan sıvı kristal ekran (LCD) sayesinde cihazın ayarlandığı sıcaklık okunabilir.

EK-2 Deneysel çalışmaların ikinci aşamasında kullanılan cihazlar ve kullanımları ile ilgili resim ve anlatımlar

Klor kayıp katsayılarının belirlendiği deney düzeneği klor-flor görünür difüzyon katsayılarının belirlendiği düzenek ile aynı olduğu için Bölüm 2.1'de bahsedilenlere tekrar yer verilmemiştir. Ancak, kullanılan cihazlar farklılıklar göstermektedir.

Tez çalışmasının ikinci bölümü ile ilgili deneyler öncesi Bölüm 2.1'de bahsedilen boru düzeneğine bazı eklemeler yapılmıştır. Boru başı ve boru sonuna Prominent marka hat üstü sürekli flor ölçüm cihazları, Endress+Hauser ve Hach Lange marka 9184 sc hat üstü sürekli klor ölçüm cihazları monte edilmiştir. Ayrıca, bu cihazların ölçtüğü değerleri dijital ekranında (LCD) gösteren Hach Lange marka sc1000 dijital gösterge eklenmiştir. İlave olarak, düşük Reynolds sayılarında artık kloru boru başında yok etmek için boru başına aktif karbon filtre monte edilmiştir. Suyun karbon filtreden mi yoksa normal düzenden mi akacağını düzenleyen bypass sistemi de boru düzeneği başına kurulmuştur.

Deneyisel çalışmaların bu bölümünde de Palintest Micro 1000 marka portatif klor ölçüm cihazı kullanılmaktadır. EK-4'te Palintest Micro 1000 marka klor ölçüm cihazından bahsedilmiştir. Çalışmanın bu bölümü için yapılan deneylerde kullanılan ilave cihazlar EK-5'te detaylı olarak anlatılmaktadır.

1. KULLANILAN KLOR ÖLÇÜM CİHAZLARI

Sunulan tez çalışmasının ikinci bölümü ile ilgili deneylerde, sudaki klor konsantrasyonunu ölçmek için Palintest Micro 1000 marka manuel klor ölçüm cihazı dışında üç farklı klor ölçüm cihazı daha kullanılmıştır.

Bu cihazlardan birincisi; test borusu başına ve sonuna monte edilen, böylece boru başı ve sonuna ait klor değerlerini takip edebilmemize imkan veren

EK-2 (Devam) Deneysel çalışmaların ikinci aşamasında kullanılan cihazlar ve kullanımları ile ilgili resim ve anlatımlar

Endress+Hauser marka Liquisys M System hat üstü sürekli (anlık-online) klor ölçüm cihazıdır. İkincisi; yine test borusu başına ve sonuna monte edilen ve böylece boru başı ve sonuna ait klor değerlerini sürekli olarak takip edebilmemize imkan veren Hach-Lange 9184 sc dijital klor ölçüm cihazıdır. Üçüncüsü ise, test borusu başından ve sonundan alınan su numunelerindeki klor değerlerinin manuel olarak ölçümlerinde kullanılan Hach Lange marka Pocket Colorimeter II (Cat No:58700-00) klor ölçüm cihazıdır.

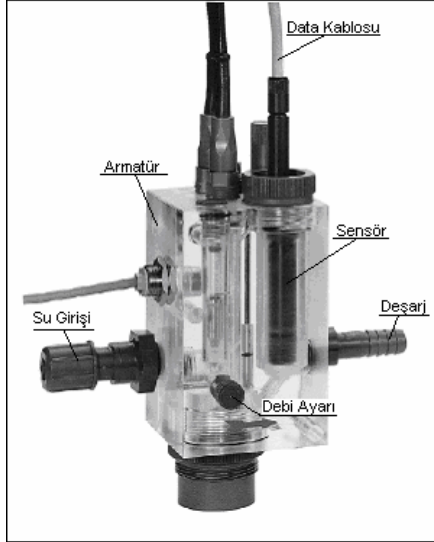
Endress+Hauser Marka Liquisys M System Klor Ölçüm Cihazı

Endress+Hauser marka Liquisys M System klor ölçüm cihazı, 220 Voltluk gerilimi 12 Volta düşüren bir adet transformatör (güç kaynağı), gerekli okumaları (su sıcaklığı ve sudaki klor konsantrasyonu) yapan bir adet serbest klor sensörü (CCS 140 N) (Resim 5.1), bu sensörün içine yerleştirildiği ve burada su ile temas edip okumaları yaptığı bir adet pleksiglas armatür (CCA 250 Flow Holder) (Resim 5.2), sensör tarafından yapılan okumaların toplanarak değerlendirildiği ve üzerinde gösterge paneli ile gerekli kontrol düğmelerinin bulunduğu bir adet ana birim (Chlorine Analyzer Liquisys M CCM 253) (Resim 5.3) olmak üzere toplam 4 birimden oluşan bir dizenektir. Bu birimler bir plaka üzerine uygun bir şekilde yerleştirilip sabitlenerek kullanılmıştır (Resim 5.4).



Resim 2.1. CCS 140 N serbest klor sensörü (0.01 – 5.00 mg/l okuma aralığı)

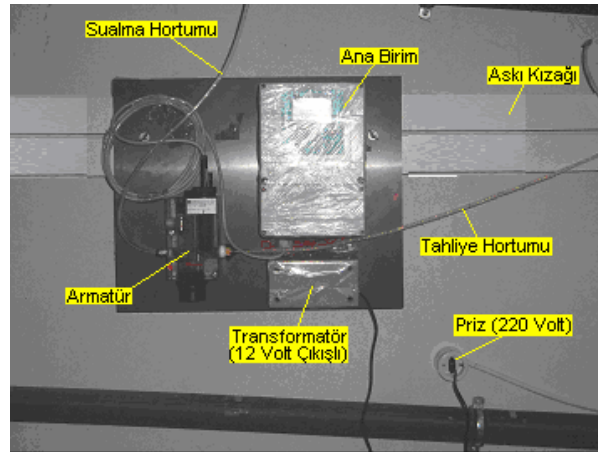
EK-2 (Devam) Deneysel çalışmaların ikinci aşamasında kullanılan cihazlar ve kullanımları ile ilgili resim ve anlatımlar



Resim 2.2. Pleksiglas armatür



Resim 2.3. Cihaz ana birimi



Resim 2.4. Endress+Hauser marka Liquisys M System klor ölçüm cihazının test borusu başındaki genel görünümü

Cihazın sürekli okuma yapabilmesi için sensörün bağlı bulunduğu armatüre sürekli olarak su girişinin sağlanması gerekir. Ayrıca okumaları yapılan suyun da sensörden uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu nedenle armatüre, sürekli olarak su sağlayacak plastik ince (5 mm çapında) bir su alma hortumu ile giren suyu tahliye edecek yine aynı çapta plastik bir hortum

EK-2 (Devam) Deneysel çalışmaların ikinci aşamasında kullanılan cihazlar ve kullanımları ile ilgili resim ve anlatımlar

(deşarj hortumu) takılmıştır. Bir ucu pleksiglas armatüre bağlanan su alma hortumunun diğer ucunun ise Prominent marka flor cihazının su tahliye kısmına bağlantısı yapılmış ve böylece, cihaz debisi sabitlenmiştir. Bir ucu armatüre bağlanandeşarj hortumunun diğer ucu ise en yakın tahliye kanalına verilmiştir. Su alma hortumu ve tahliye hortumu sayesinde armatürde sürekli bir akım sağlanmış olur. Böylelikle cihaz, klor sensörü ile sudaki klor konsantrasyonunu ve suyun sıcaklığını sürekli olarak okuyabilmekte ve bu değerleri sıvı kristal ekranına (LCD) yansıtabilmektedir.

Hach Lange marka 9184 sc dijital klor ölçüm cihazları kalibre edilirken, toplam serbest klor değeri girilmekte ve bu değer girildiğinde aktif klor değerini vermektedir. Asitlik derecesi olan Ph 4.5'e ayarlandığında ise cihazlar sadece sudaki HOCl^- iyonlarını yani aktif klor miktarını ölçmektedir. Bu nedenle, deneylerin tümü için geçerli olmak üzere boru başı ve boru sonu Endress+Hauser marka Liquisys M System klor ölçüm cihazları ile Hach Lange marka 9184 sc dijital klor ölçüm cihazlarının pH değerleri 4.5 olarak sabitlenmiştir. Böylece, Hach Lange marka klor ölçüm cihazlarının kalibrasyonu için cihaza girilen değer ile cihazın gösterdiği değer aynı olması sağlanmıştır.

Hach Lange Marka 9184 sc Dijital Klor Ölçüm Cihazı

Hach-Lange marka 9184 sc dijital klor ölçüm cihazı, sudaki klor konsantrasyonunu bir saniyelik aralıklarla ölçebilmektedir. Cihazın sürekli okuma yapabilmesi için sensörün bağlı bulunduğu armatüre sürekli olarak su girişinin sağlanması gerekir. Ayrıca okumaları yapılan suyun da sensörden uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu nedenle armatüre bir önceki bölümde belirtilen Endress+Hauser marka cihazda olduğu gibi sürekli olarak su sağlayacak plastik ince (5 mm çapında) bir su alma hortumu ile giren suyu

EK-2 (Devam) Deneysel çalışmaların ikinci aşamasında kullanılan cihazlar ve kullanımları ile ilgili resim ve anlatımlar

tahliye edecek yine aynı çapta plastik bir hortum (deşarj hortumu) takılmıştır. Bir ucu pleksiglas armatüre bağlanan su alma hortumunun diğer ucu ise Prominent marka flor cihazının su tahliye kısmına bağlanmış ve böylece, cihaz debisi flor cihazı sayesinde sabitlenmiştir. Bir ucu armatüre bağlanan deşarj hortumunun diğer ucu ise en yakın tahliye kanalına verilir (Resim 5.5). Su alma hortumu ve tahliye hortumu sayesinde armatürde sürekli bir akım sağlanmış olur. Böylelikle cihaz, klor sensörü ile sudaki klor konsantrasyonunu sürekli olarak okuyabilmekte ve bu değerleri sıvı kristal ekranına (LCD) yansıtabilmektedir.



Resim 2.5. Hach Lange Marka 9184 sc Dijital Klor lm Cihazı

Hach Lange marka 9184 sc dijital klor ölçüm cihazları kalibre edilirken, toplam serbest klor değeri girilmekte ve bu değer girildiğinde aktif klor değerini vermektedir. Asitlik derecesi olan Ph 4.5'e ayarlandığında ise cihazlar sadece sudaki HOCl⁻ iyonlarını yani aktif klor miktarını ölçmektedir. Bu nedenle, deneylerin tümü için geçerli olmak üzere boru başı ve boru sonu Endress+Hauser marka Liquisys M System klor ölçüm cihazları ile Hach Lange marka 9184 sc dijital klor ölçüm cihazlarının pH değerleri 4.5 olarak sabitlenmiştir. Böylece, Hach Lange marka klor ölçüm cihazlarının

EK-2 (Devam) Deneysel çalışmaların ikinci aşamasında kullanılan cihazlar ve kullanımları ile ilgili resim ve anlatımlar

kalibrasyonu için cihaza girilen değer ile cihazın gösterdiği değer aynı olması sağlanmıştır.

Hach Lange Marka Pocket Colorimeter II (Cat No : 58700-00)

Hach Lange marka manuel portatif klor ölçüm cihazı 0.00-2.00 mg/L aralığında sudaki serbest klor konsantrasyonunu ölçer (Resim 5.6).

Ölçüm öncesi cihazın kalibrasyonu için, numune şişesinin içerisine üç yollu puar ile alınan 10 ml'lik saf su konulur. Daha sonra, cihazın power düğmesine basılarak cihaz açılır. Numune şişesi cihazın üstündeki yuvasına oturtulur ve kapağı kapatılır. Daha sonra, cihazın kalibrasyonu için sıfır (zero/scroll)  düğmesine basılır. Böylece, cihaz ilk olarak “----“, daha sonra “0.00” ı gösterir ve cihazın sıfır kalibrasyonu yapılmış olur.

Kalibrasyonu yapılan Hach Lange marka Pocket Colorimeter II (Cat No:58700-00) , daha sonra beher kabına alınan numune suyunun toplam serbest klor miktarını ölçmekte kullanılır. Ölçüm için ilk önce, beher kabından üç yollu puar ile 10 ml'lik numune alınır ve numune şişesine konur. Daha sonra, toz halindeki DPD klor tableti numune şişesi içerisindeki 10 ml'lik numune üzerine dökülür, numune şişesinin kapağı kapatılır ve hafifçe karıştırılır. Karıştırılan numune şişesinin cihazın üzerindeki yuvasına konulmasının ardından read/enter  tuşuna basılır. Dijital ekranda görünen değer, su numunesindeki toplam serbest klor miktarını gösterir.

Hach Lange marka Pocket Colorimeter II (Cat No:58700-00) cihazı sürekli klor ölçerlerin de kalibrasyonunda kullanılmıştır.

EK-2 (Devam) Deneysel çalışmaların ikinci aşamasında kullanılan cihazlar ve kullanımları ile ilgili resim ve anlatımlar



Resim 2.6. Hach Lange marka Pocket Colorimeter II (Cat No:58700-00)

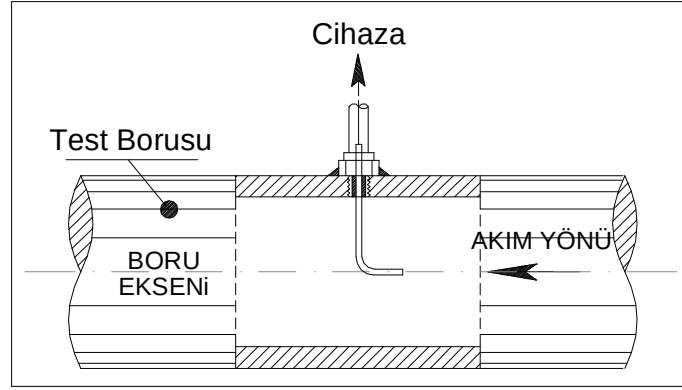
Sürekli (online) klor ölçüm cihazlarının kalibrasyonu

Kullanılan klor ölçüm cihazları olan Hach Lange marka 9184sc ve Endress+Hauser marka Liquisys M System klor ölçüm cihazları test borusunun başına ve sonuna yerleştirilirken cihazların su alma hortumlarının boruya mümkün mertebe yakın ve eşit bir mesafede bağlanmasına dikkat edilmiştir. Böylece, cihazların sudaki toplam serbest klor miktarını ölçmesi

bakımından aynı kalitede su alması sağlanmıştır. Ayrıca, cihazların su alma hortumlarının boyu mümkün olduğunca kısa tutulmaya çalışılmıştır. Cihazların deşarj hortumları esnek bir hortum içerisine konulmuş ve bu hortum en yakın deşarj kanalına uzatılmıştır.

Cihazlara alınan su test borusunun merkezinden (test borusu ekseninden) alınır. Bunun için gerekli parçalar özel olarak tasarlanmış ve boruya uygun bir şekilde yerleştirilmiştir. (Şekil 5.1).

EK-2 (Devam) Deneysel çalışmaların ikinci aşamasında kullanılan cihazlar ve kullanımları ile ilgili resim ve anlatımlar



Şekil 2.1. Suyu boru ekseninden alan parçanın borudaki yerleşimi
[Demir, 2005]

Cihazlar, boru başına anlatılan şekilde yerleştirildikten sonra çalıştırılır.

Cihazların test borusundan aynı miktarda su almalarını sağlamak içincihazların debi ayarları yapılır. Sürekli ölçerler birbirlerine seri bağlandığı için klor cihazlarının debisi flor cihazının debisine bağlıdır. Boru başı ve boru sonundaki flor cihazlarının debileri de aynı seviyede tutulmuştur. Cihazların deşarj suyundan belirli aralıklarla dereceli kap ile (500 ml'lik cam mezür) kronometre tutularak numune alınmış böylece cihazın debi ayarının doğruluğu kontrol edilmiştir.

Cihazların ilk okuduğu klor değerleri birbirlerinden farklı olabilmektedir. Genellikle okunan bu değerler sudaki gerçek klor değerini de vermezler. Bu nedenle, cihazlar kullanılmadan önce kalibre edilmelidir. Özellikle düşük debilerde, cihazların kalibrasyonunda, cihazların test borusundan su alma hortumları vasıtası ile aldıkları ve gerekli okumalar yapıldıktan sonra deşarj hortumlarından attıkları su kullanılır. Cihazların kalibrasyonunda Palintest Micro 1000 marka cep tipi klormetre ile Hach Lange Marka Pocket Colorimeter II (Cat No : 58700-00) dönüşümlü olarak kullanılmıştır. Vana tamamen açık iken, cihazların deşarj hortumlarından atılan su dereceli kap

EK-2 (Devam) Deneysel çalışmaların ikinci aşamasında kullanılan cihazlar ve kullanımları ile ilgili resim ve anlatımlar

ile (500 ml cam mezür) alınır ve bu suyun içerdiği klor konsantrasyonu manuel olarak titiz bir şekilde ölçülür. Dereceli kap deşarj suyu ile yarıya kadar doldurulup elle ağzı kapatılarak iyice çalkalandıktan sonra dökülür. Daha sonra, dereceli kaba su alırken suyun çalkalanmamasına özen gösterilir. Dereceli kaba alınan sudan, 10 ml dereceli pipet ve üç yollu puar vasıtası ile numune suyu alınır ve klor konsantrasyonları ölçülür. Okunan değerler aynı veya yakın çıkmalıdır. Karar verilen değer tüm sürekli klor ölçerlere kodlanır, böylece kalibrasyonlar aynı anda yapılmış olur. Cihazlar kalibrasyonları yapıldıktan sonra bir süre daha (15-20 dakika gibi) çalıştırılmaya devam edilir. Bu sürenin sonunda cihazların deşarj hortumlarından atılan sulardan dereceli kap ile tekrar numuneler alınır.

Alınan bu numuneler yine manuel olarak titiz bir şekilde ölçülür. Ölçülen bu değerler cihazlardan okunan değerler ile karşılaştırılır, şayet değerler aynı ise cihazların kalibrasyonları tamamlanmıştır.

2. KULLANILAN FLOR ÖLÇÜM CİHAZLARI

Yapılan deneylerde, sudaki flor konsantrasyonunu ölçmek için iki farklı flor ölçüm cihazı kullanılmıştır.

Bu cihazlardan birincisi; test borusu başına ve sonuna monte edilen, böylece boru başı ve sonuna ait flor konsantrasyonlarını sürekli olarak takip edebilmemize imkan veren Prominent marka hat üstü sürekli flor ölçüm cihazıdır.

Diğeri ise; Prominent marka flor ölçüm cihazlarını kalibre etmek için ve su numunesindeki flor konsantrasyonunun manuel ölçümlerinde kullanılan Hach

EK-2 (Devam) Deneysel çalışmaların ikinci aşamasında kullanılan cihazlar ve kullanımları ile ilgili resim ve anlatımlar

Lange marka Pocket Colorimeter II (Cat No:5870-05) portatif flor ölçüm cihazıdır.

Prominent Marka Dijital Flor Ölçüm Cihazı

Prominent marka dijital flor ölçüm cihazı sudaki flor konsantrasyonunu saniyede bir ölçen ve ölçtüğü değeri dijital ekranında (LCD) gösteren cihazdır (Resim 5.7). Bu cihaz, şebekedeki suyu su alma hortumu ile haznesine almaktadır. Haznesinde bulunan manyetik karıştırıcı su numunesinin homojenleşmesini ve daha doğru flor ölçümü yapılmasını sağlar.



Resim 2.7. Prominent marka flor ölçüm cihazı

Prominent marka dijital flor ölçüm cihazının debisini ayarlamak için vana ve mandalı mevcuttur. Bu mandalın hareket ettirilmesiyle cihaz debisi ayarlanabilir. Cihaz debisi, mandalın üzerinde bulunduğu silindirik hazneden

EK-2 (Devam) Deneysel çalışmaların ikinci aşamasında kullanılan cihazlar ve kullanımları ile ilgili resim ve anlatımlar

litre/saat (l/h) cinsinden okunabilir. Ayrıca, Prominent marka dijital flor ölçüm cihazının tahliye hortumuna diğer iki adet klor ölçüm cihazı (Endress+Hauser ve Hach Lange klor ölçüm cihazları) bağlıdır. Dolayısı ile klor cihazlarının debisi de Prominent marka flor ölçüm cihazından ayarlanmaktadır. Ayrıca, 500 ml'lik beher ile de kronometre tutularak debi doğruluğu kontrol edilmiştir.

Prominent marka dijital flor ölçüm cihazının kalibrasyonu 0.00-1.25 mg/lt arasındaki değerlerde yapılabilmektedir. Kalibrasyon işlemi Hach Lange marka pocket colorimeter manuel flor ölçüm cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

Hach Lange Marka Pocket Colorimeter II (Cat No : 58700-05)

Hach Lange marka Pocket Colorimeter II (Cat No : 58700-05) manuel (portatif-el tipi) flor ölçüm cihazı 0.00-2.00 mg/L aralığında sudaki flor konsantrasyonunu ölçer. Bu cihazın şekli ve kullanımı Hach Lange marka Pocket Colorimeter II (Cat No : 58700-00) manuel klor ölçüm cihazının aynısıdır.

Cihazın kalibrasyonu için numune şişesine 10 ml'lik saf su ve 2 ml'lik sıvı reagent konulur ve şişenin kapağı kapatılarak hafifçe karıştırılır. 10 ml'lik su üç yollu puar ile, 2ml'lik sıvı reagent ise ayarlanabilir otomatik pipet ile alınır. Ayarlanabilir otomatik pipetin üst tarafındaki döner başlık sağa sola döndürülerek ayarlanabilir (Resim 5.8). Üzerindeki gösterge rakamsal olarak alması gereken sıvı miktarına ayarlanabilir. Pipet ayarı 0,1 ml aralıklarla yapılır.

EK-2 (Devam) Deneysel çalışmaların ikinci aşamasında kullanılan cihazlar ve kullanımları ile ilgili resim ve anlatımlar



Resim 2.8. Ayarlanabilir otomatik pipet

Kalibrasyon için, cihazın power düğmesine basılarak cihaz açılır. Kalibrasyon için hazırlanan numune şişesi cihazın üstündeki yuvasına oturtulduktan sonra cihazın kapağı kapatılır ve kalibre etmek için cihazın sıfır (zero/ scroll) **0** düğmesine basılır. Böylece, cihaz ilk olarak “----“, daha sonra “0.00” ‘ı gösterir ve cihazın sıfır kalibrasyonu yapılmış olur. Yukarıda belirtildiği üzere kalibrasyonu yapılan Hach Lange marka Pocket Colorimeter II, daha sonra beher kabına alınan numune suyunun flor

konsantrasyonunu ölçmekte kullanılır. Ölçüm için ilk önce, içerisinde kalibrasyon numunesi bulunan numune şişesi yıkanıp temizlenir. Beher kabından üç yollu puar ile 10 ml’lik numune alınır ve numune şişesine konur. Daha sonra, ayarlanabilir otomatik pipet ile alınan 2 ml’lik sıvı reagent 10 ml numune suyu üzerine dökülür, numune şişesinin kapağı kapatılır ve hafifçe karıştırılır, Numune şişesi cihazın üzerindeki yuvasına oturtulur ve read/enter **✓** tuşuna basılır. Dijital (LCD) ekranda görünen değer, su numunesindeki flor konsantrasyonudur.

Hach Lange Marka Pocket Colorimeter II (Cat No : 58700-05) Prominent marka flor ölçüm cihazının kalibrasyonunda da kullanılmaktadır. Prominent marka flor ölçüm cihazının kalibrasyonu 0.00-1.25 mg/lt arasında yapılabildiğinden, ilk önce bu aralıktaki herhangi bir konsantrasyon değerine sahip 0.5 litrelik pet şişe içerisinde numune hazırlanır. Daha sonra, flor cihazının üzerindeki mandal çevirilerek cihaza su girişi kapatılır. Cihazın su

EK-2 (Devam) Deneysel çalışmaların ikinci aşamasında kullanılan cihazlar ve kullanımları ile ilgili resim ve anlatımlar

haznesi çıkarılarak içerisindeki su dökülür. Hazneye daha önce hazırlanmış olan numune suyu konulur ve hazne yerine yerleştirilir. Cihazın gösterdiği konsantrasyon değeri sabitleninceye kadar beklenir. Cihazların gösterdiği değer sabitlendikten sonra, cihazlar pet şişede hazırlanan konsantrasyon değerine kalibre edilir.

Prominent marka flor ölçüm cihazının kalibrasyonu her deney başlangıcında tekrarlanmıştır. Kalibrasyon işlemi tamamlandıktan sonra deneylere başlanmıştır.

3. HACH LANGE MARKA SC1000 DİJİTAL VERİ SAĞLAYICISI

Hach Lange marka sc1000 dijital kaydedici ve veri aktarıcı, boru girişine monte edilmiştir. Boru girişi ve boru sonundaki klor ve flor cihazlarının

okuduğu değerleri kaydedip dijital ekranında (LCD) gösteren cihazdır (Resim 5.9). Ayrıca, bu cihaz Elimko marka veri kaydediciye veri aktarmaktadır. Cihazın dokunmatik ekranında Hach Lange marka klor ölçüm cihazlarının kalibrasyonu yapılabilmekte ve bu cihazlar için suyun pH ve sıcaklık değerleri de bu dokunmatik ekrandan ayarlanabilmektedir.

EK-2 (Devam) Deneysel çalışmaların ikinci aşamasında kullanılan cihazlar ve kullanımları ile ilgili resim ve anlatımlar



Resim 2.9. Hach Lange marka sc1000 dijital gösterge

4. ELİMKO MARKA VERİ AKTARICI

Elimko marka veri aktarıcı (data logger), flor ve klor ölçüm cihazlarının yapmış olduğu saniyelik ölçüm değerlerini bilgisayara aktaran, grafik döküm yapan yazılıma sahip veri aktarıcıdır (Resim 5.10). Klor ve flor ölçüm cihazlarının gösterdiği değerlerin veri aktarıcı ile bilgisayara aktarılması esnasında değerlerdeki farklılıklar, sıfır (zero) ötelenmesi ile yok edilir. Veri aktarıcı ile bilgisayara aktarılan değerler hem Excel formatında hem de jpeg formatında görüntü olarak alınabilmektedir, ayrıca ekranda anlık takip edilebilmektedir.

Elimko marka veri aktarıcının 4 adet giriş soketi olduğundan ve toplam 6 adet dijital cihaz olduğundan, klor ve florla ilgili deneylerde cihaz soketleri dönüşümlü olarak kullanılmıştır.

EK-2 (Devam) Deneysel çalışmaların ikinci aşamasında kullanılan cihazlar ve kullanımları ile ilgili resim ve anlatımlar

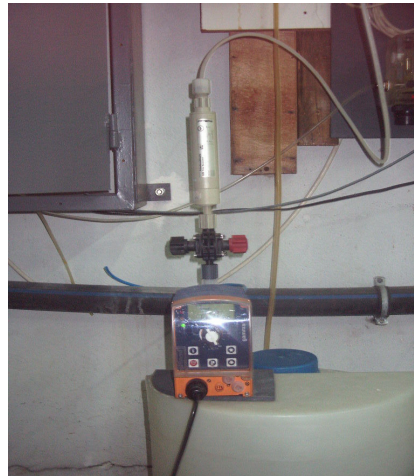


Resim 2.10. Elimko marka veri kaydedici

5. PROMİNENT MARKA DOZLAMA POMPASI

Klor ve flor solüsyonlarının boru başından enjekte edilmesi için kullanılan dozlama pompasıdır (Resim 5.11). Deposu içinde hazırlanan klor ve flor solüsyonları Prominent marka dozlama pompası ile şebeke suyuna boru başında enjekte edilebilmektedir.

Prominent marka dozlama pompasının üzerindeki kontrol panelinden dozlama hızı, dozlama miktarı, başlama ve bitişi ayarlanabilir.



Resim 2.11. Prominent marka dozlama pompası

EK-2 (Devam) Deneysel çalışmaların ikinci aşamasında kullanılan cihazlar ve kullanımları ile ilgili resim ve anlatımlar

6. BASINÇ KIRICI (DÜZENLEYİCİ)

Deney düzeneğinin hazırlanması esnasında şebekedeki basınç değişimlerini önlemek amacıyla, boru başına basınç kırıcı (düzenleyici) konulmuş ve boru düzeneği başında basınç sabitlenmiştir (Resim 5.12).



Resim 2.12. Şebekedeki basıncı düzenlemek amacıyla kullanılan basınç kırıcı

Deneylerimizde, basınç kırıcı üzerindeki basınç değeri 4 bar değerine ayarlanmış, ayrıca, boru başına manometre konularak boru düzeneğindeki basınç buradan takip edilebilmiştir (Resim 5.13).

Bunların dışında, klorun görünür difüzyon katsayılarının tespiti için boru düzeneğinin başına bypass sistemi kurulmuş ve bypassın bir koluna aktif karbon filtre montajı yapılmıştır (Resim 5.14). Amaç şebekedeki artık kloru düşük debiler için yok etmektir. Ayrıca, bypassın başına küresel vana konularak şebeke suyunun istenilen durumda normal akışlı halinin, istenilen

EK-2 (Devam) Deneysel çalışmaların ikinci aşamasında kullanılan cihazlar ve kullanımları ile ilgili resim ve anlatımlar

durumda da aktif karbon filtreden geçirilmiş halinin kullanılması sağlanmıştır. Aktif karbon filtre düşük debilerde etkili olduğundan sadece $Re=198$ için kullanılmıştır.

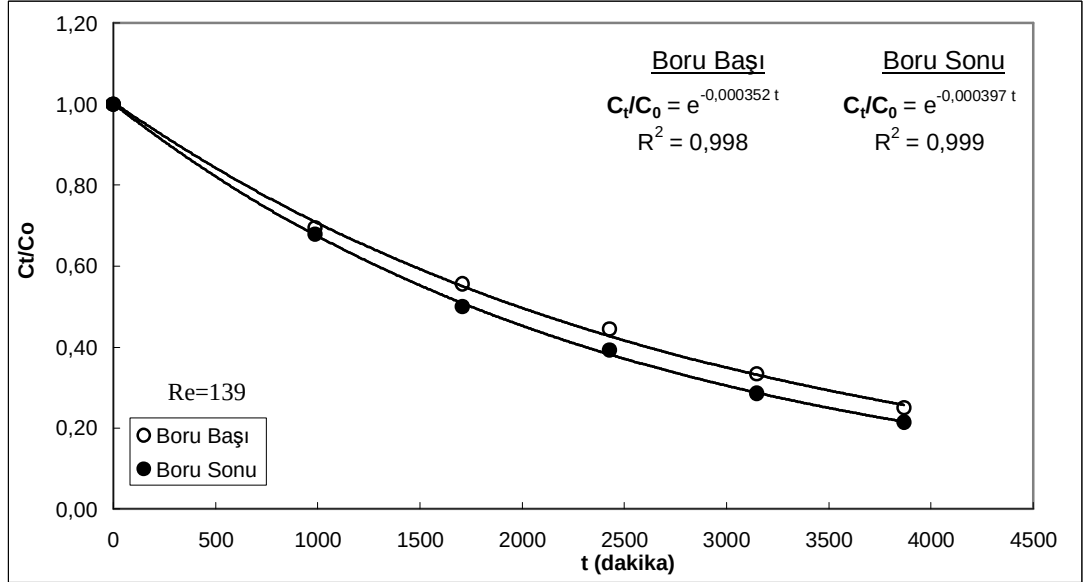


Resim 2.13. Boru başına yerleştirilen manometre

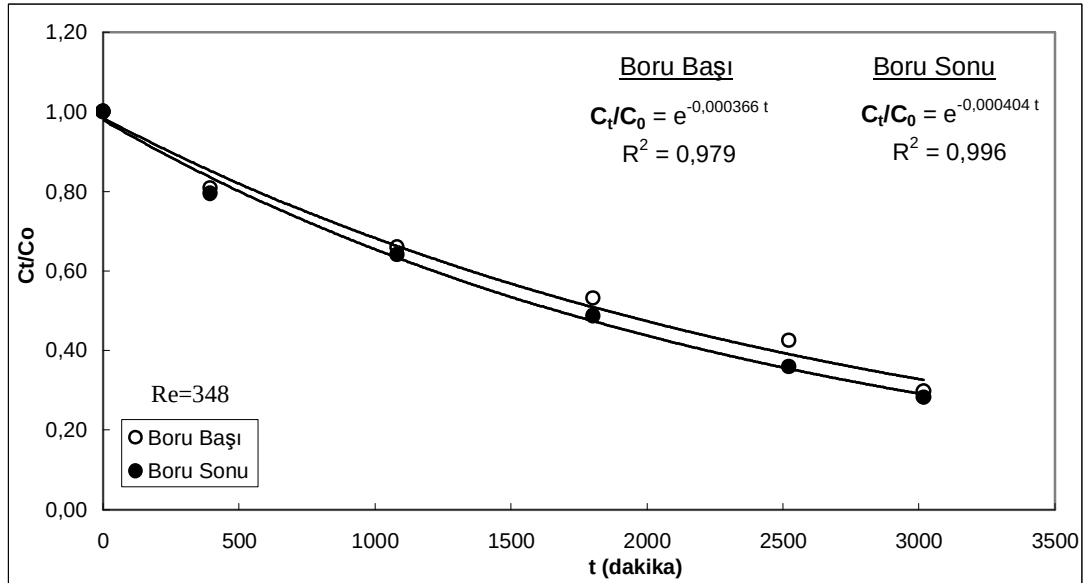


Resim 2.14. Boru düzeneği başındaki bypass sistemi ve aktif karbon filtre

EK-3 Klor kayıp katsayılarının tespiti için yapılan deneyler sonucunda oluşturulan grafik ve çizelgeler

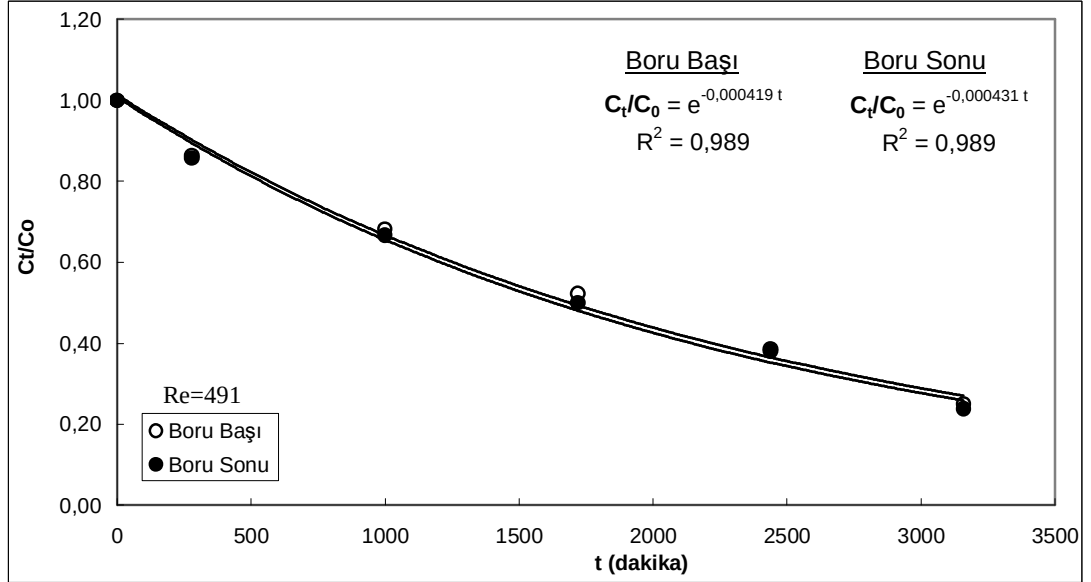


Şekil 3.1. Reynolds sayısı 139 için boru başı ve sonuna ait $C_t/C_0 - t$ grafiği
 (t=14-16 °C)
 C_t : Herhangi bir "t" zamanındaki klor miktarı (mg/lt)
 t : Zaman (dakika)

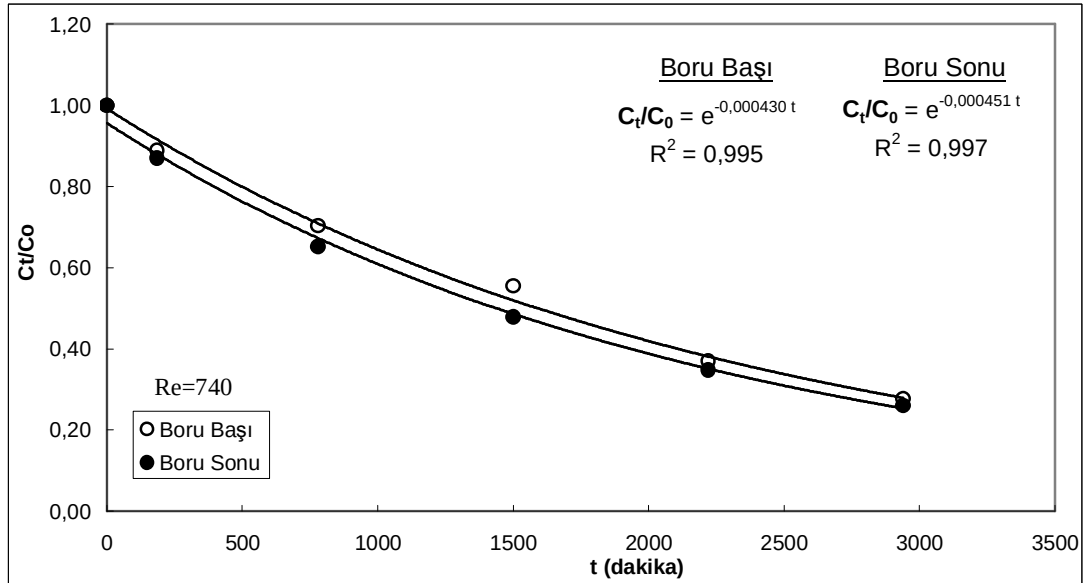


Şekil 3.2. Reynolds sayısı 348 için boru başı ve sonuna ait $C_t/C_0 - t$ grafiği
 (t=14-16 °C)
 C_t : Herhangi bir "t" zamanındaki klor miktarı (mg/lt)
 t : Zaman (dakika)

EK-3 (Devam) Klor kayıp katsayılarının tespiti için yapılan deneyler sonucunda oluşturulan grafik ve çizelgeler

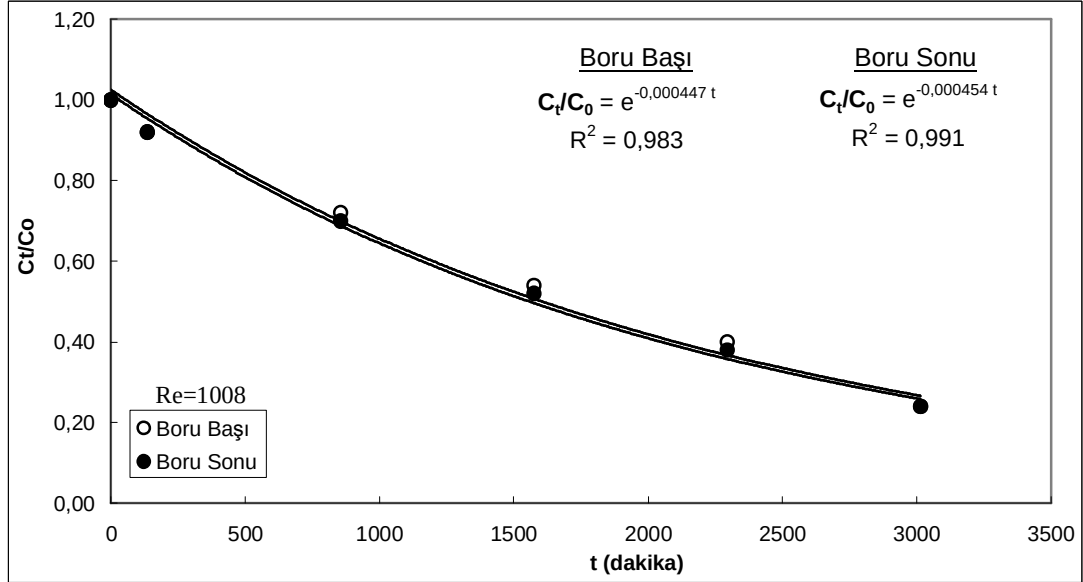


Şekil 3.3. Reynolds sayısı 491 için boru başı ve sonuna ait $C_t/C_0 - t$ grafiği
 ($t=14-16^\circ\text{C}$)
 C_t : Herhangi bir "t" zamanındaki klor miktarı (mg/lt)
 t : Zaman (dakika)

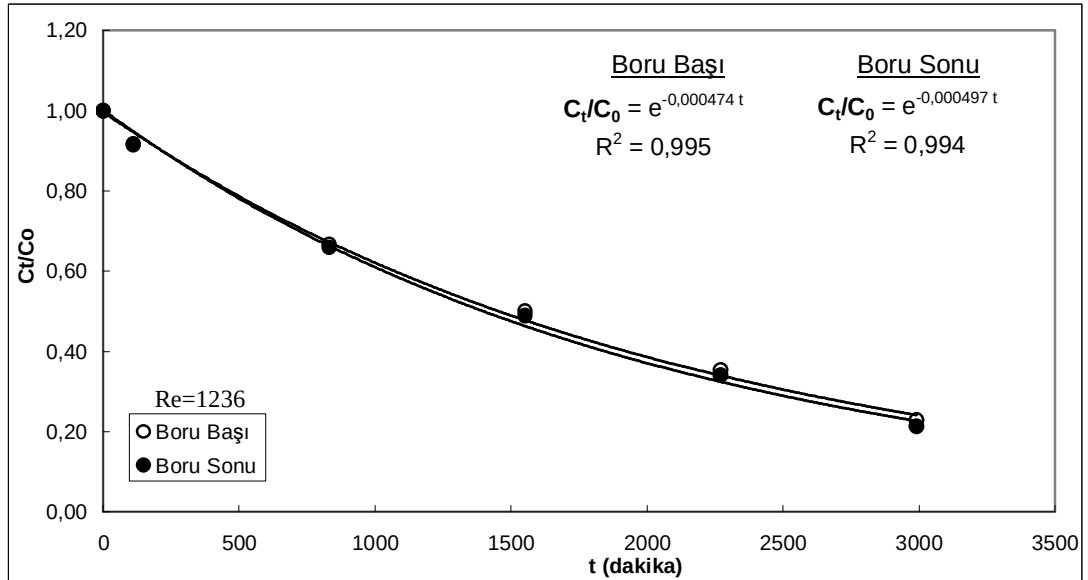


Şekil 3.4. Reynolds sayısı 740 için boru başı ve sonuna ait $C_t/C_0 - t$ grafiği
 ($t=14-16^\circ\text{C}$)
 C_t : Herhangi bir "t" zamanındaki klor miktarı (mg/lt)
 t : Zaman (dakika)

EK-3 (Devam) Klor kayıp katsayılarının tespiti için yapılan deneyler sonucunda oluşturulan grafik ve çizelgeler

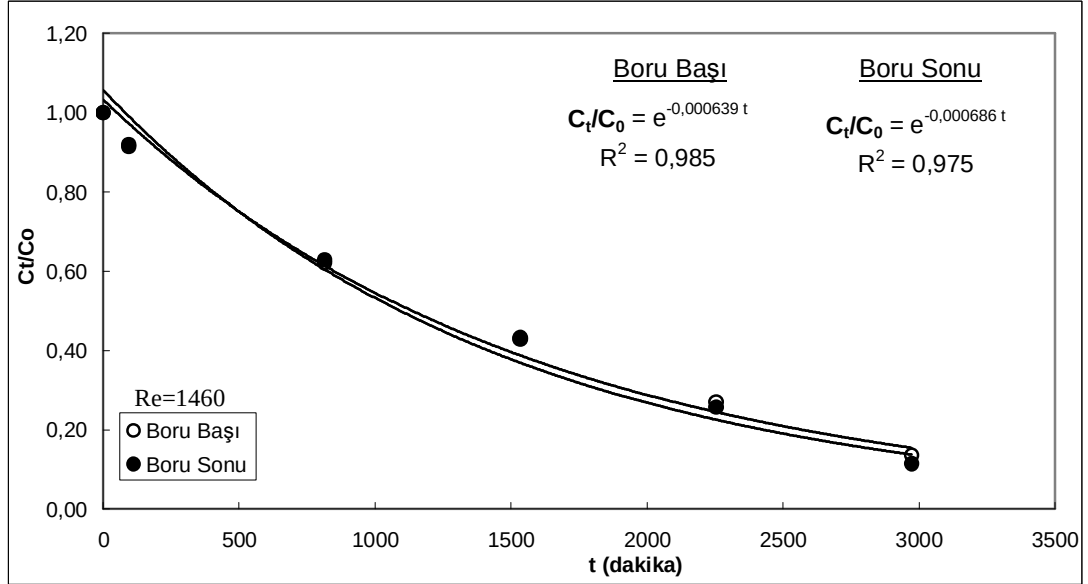


Şekil 3.5. Reynolds sayısı 1008 için boru başı ve sonuna ait $C_t/C_0 - t$ grafiği
 (t=14-16 °C)
 C_t : Herhangi bir "t" zamanındaki klor miktarı (mg/lt)
 t : Zaman (dakika)

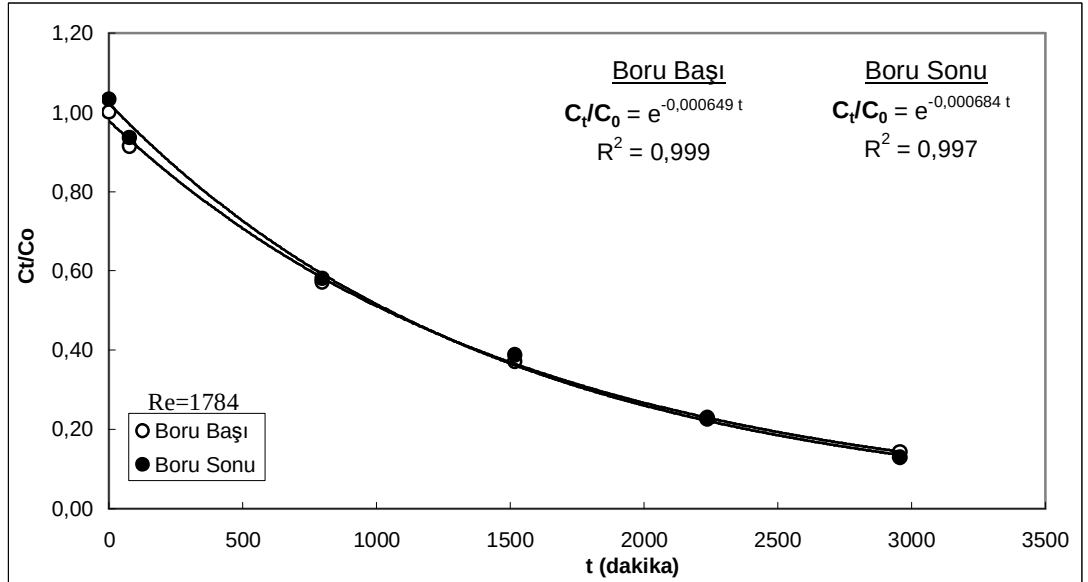


Şekil 3.6. Reynolds sayısı 1236 için boru başı ve sonuna ait $C_t/C_0 - t$ grafiği
 (t=14-16 °C)
 C_t : Herhangi bir "t" zamanındaki klor miktarı (mg/lt)
 t : Zaman (dakika)

EK-3 (Devam) Klor kayıp katsayılarının tespiti için yapılan deneyler sonucunda oluşturulan grafik ve çizelgeler

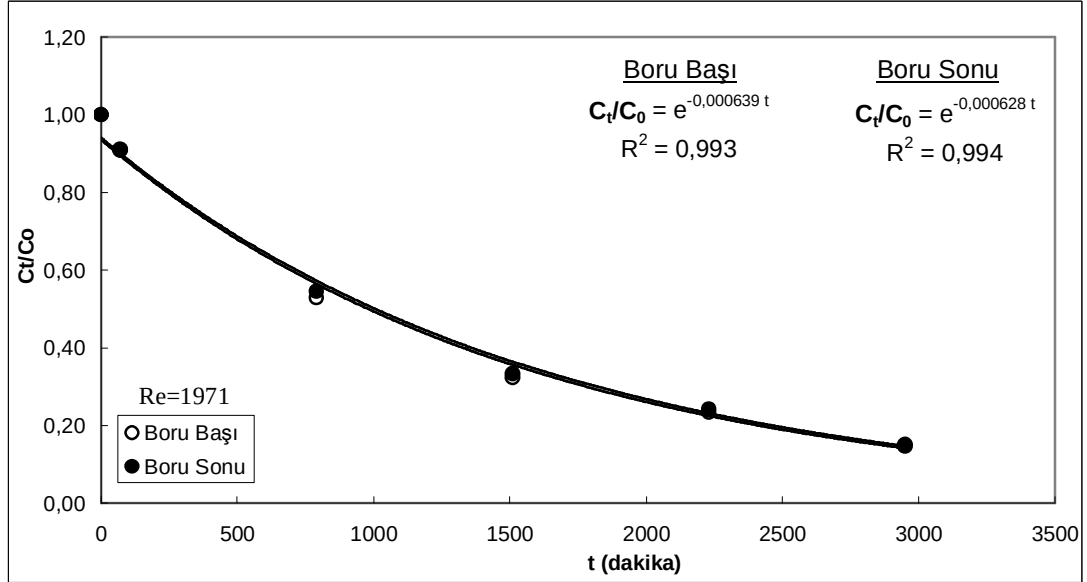


Şekil 3.7. Reynolds sayısı 1460 için boru başı ve sonuna ait $C_t/C_0 - t$ grafiği
(t=14-16 °C)
 C_t : Herhangi bir "t" zamanındaki klor miktarı (mg/lt)
 t : Zaman (dakika)

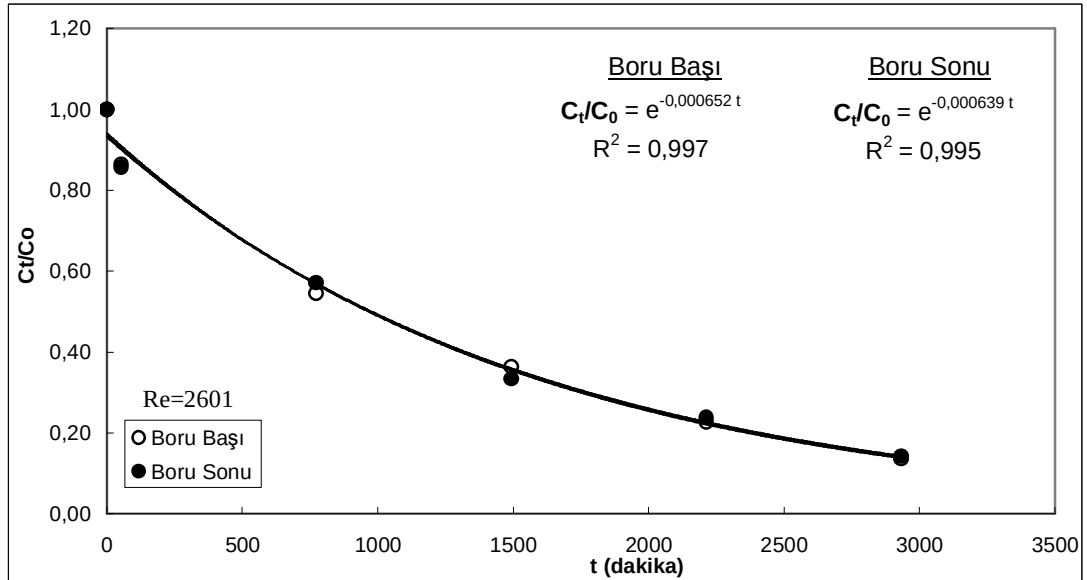


Şekil 3.8. Reynolds sayısı 1784 için boru başı ve sonuna ait $C_t/C_0 - t$ grafiği
(t=14-16 °C)
 C_t : Herhangi bir "t" zamanındaki klor miktarı (mg/lt)
 t : Zaman (dakika)

EK-3 (Devam) Klor kayıp katsayılarının tespiti için yapılan deneyler sonucunda oluşturulan grafik ve çizelgeler

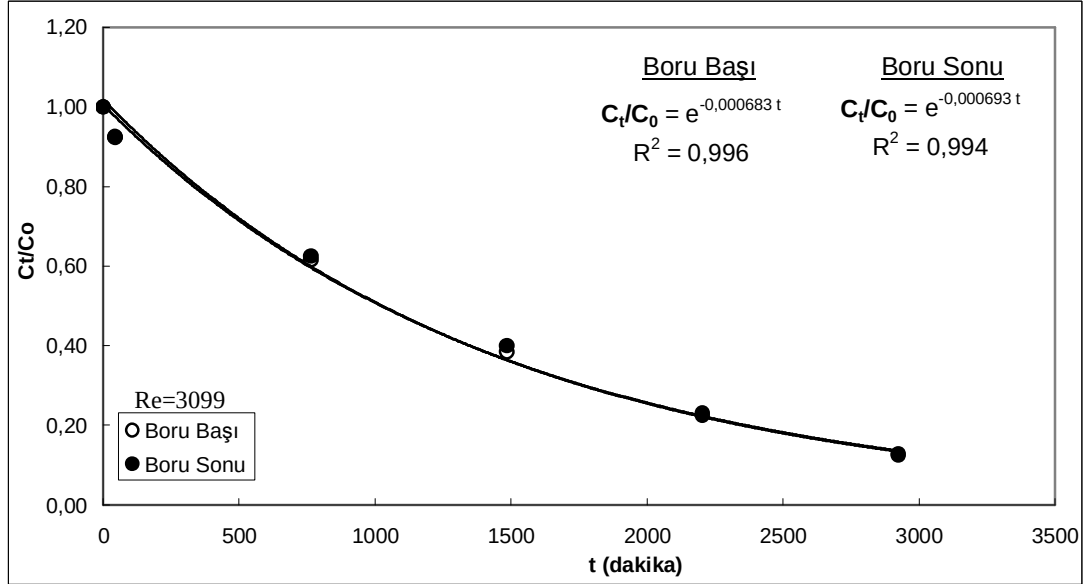


Şekil 3.9. Reynolds sayısı 1971 için boru başı ve sonuna ait $C_t/C_0 - t$ grafiği
 (t=14-16 °C)
 C_t : Herhangi bir "t" zamanındaki klor miktarı (mg/lt)
 t : Zaman (dakika)

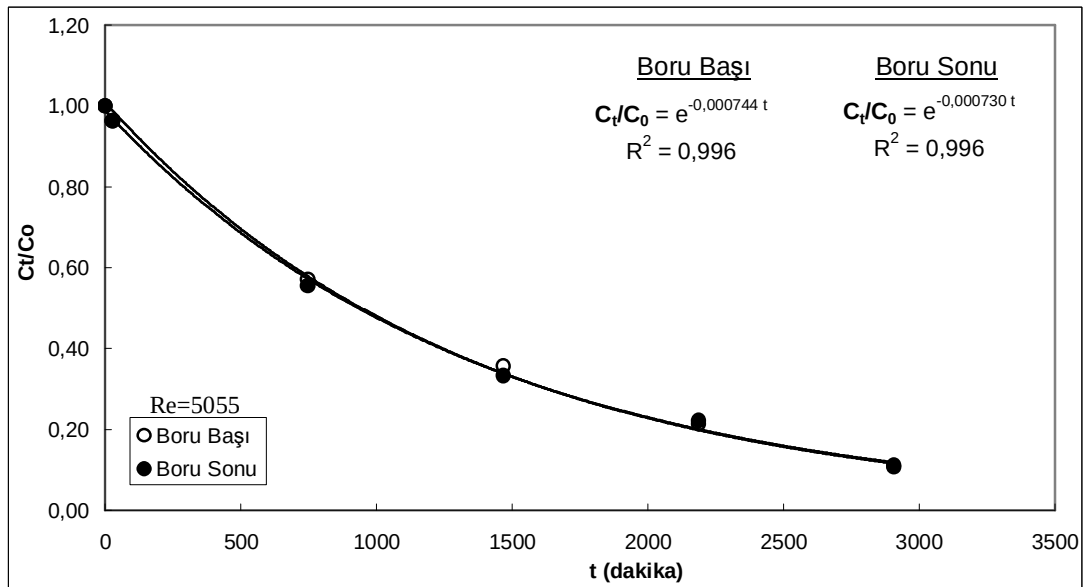


Şekil 3.10. Reynolds sayısı 2601 için boru başı ve sonuna ait $C_t/C_0 - t$ grafiği
 (t=14-16 °C)
 C_t : Herhangi bir "t" zamanındaki klor miktarı (mg/lt)
 t : Zaman (dakika)

EK-3 (Devam) Klor kayıp katsayılarının tespiti için yapılan deneyler sonucunda oluşturulan grafik ve çizelgeler

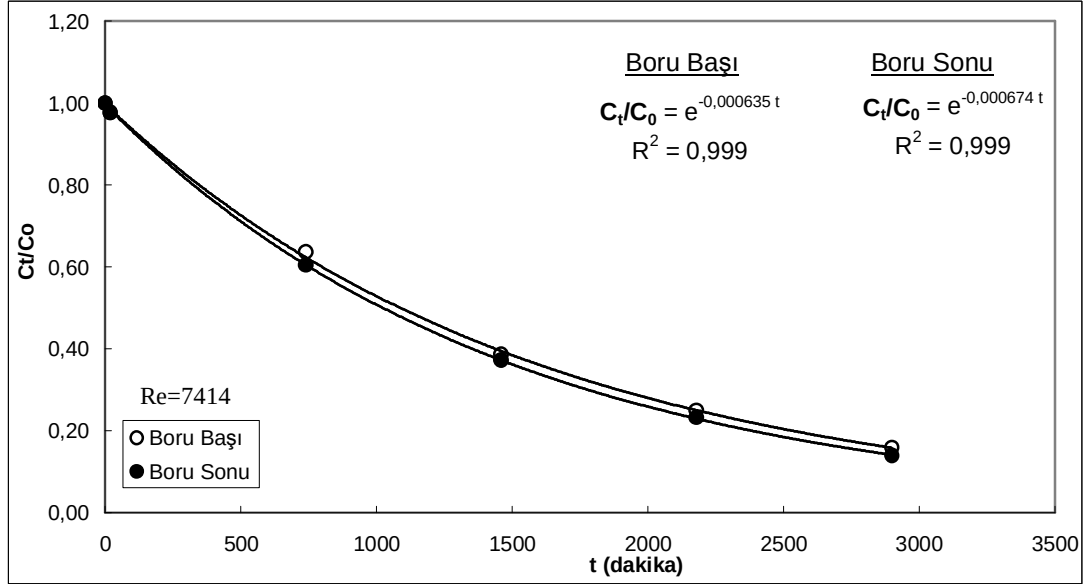


Şekil 3.11. Reynolds sayısı 3099 için boru başı ve sonuna ait $C_t/C_0 - t$ grafiği
 (t=14-16 °C)
 C_t : Herhangi bir "t" zamanındaki klor miktarı (mg/lit)
 t : Zaman (dakika)

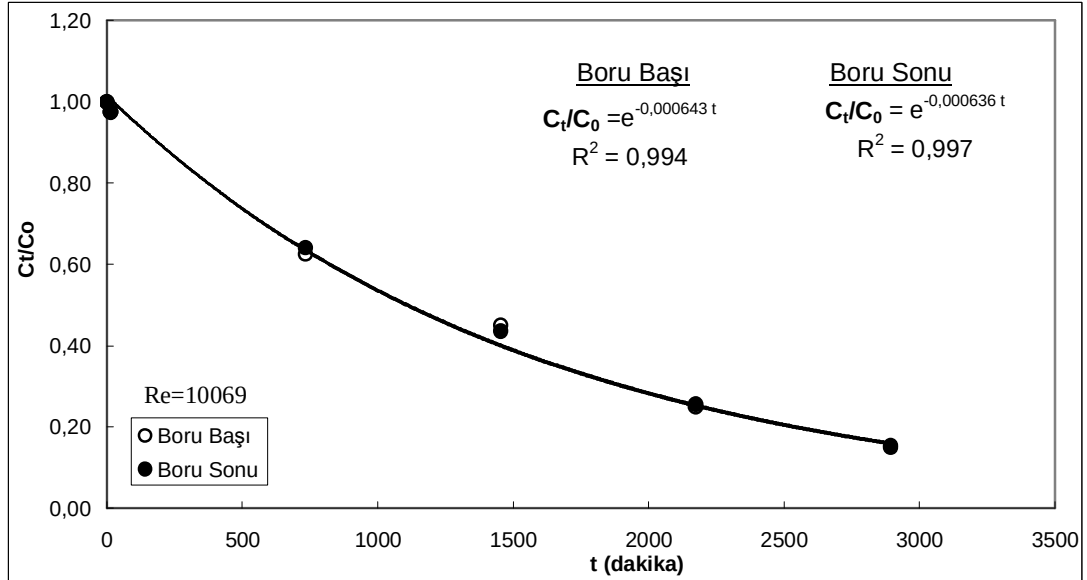


Şekil 3.12. Reynolds sayısı 5055 için boru başı ve sonuna ait $C_t/C_0 - t$ grafiği
 (t=14-16 °C)
 C_t : Herhangi bir "t" zamanındaki klor miktarı (mg/lit)
 t : Zaman (dakika)

EK-3 (Devam) Klor kayıp katsayılarının tespiti için yapılan deneyler sonucunda oluşturulan grafik ve çizelgeler

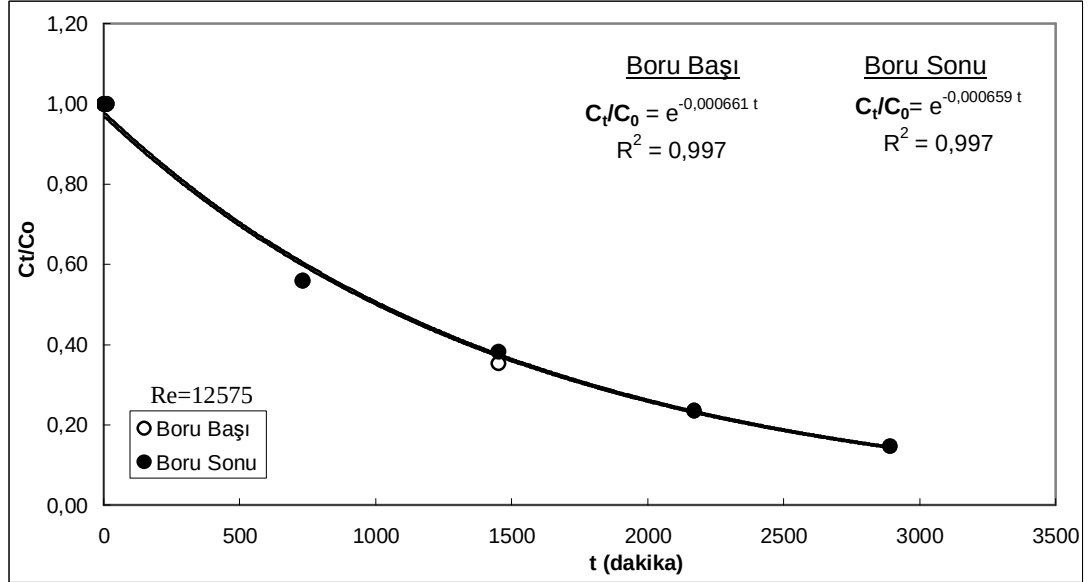


Şekil 3.13. Reynolds sayısı 7414 için boru başı ve sonuna ait $C_t/C_0 - t$ grafiği (t=14-16 °C)
 C_t : Herhangi bir "t" zamanındaki klor miktarı (mg/lt)
t : Zaman (dakika)

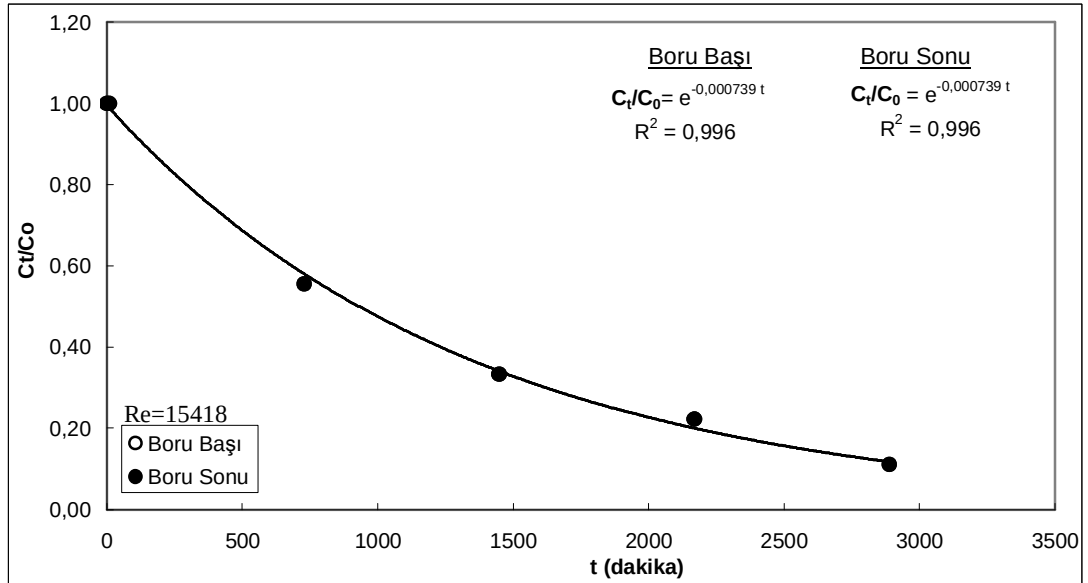


Şekil 3.14. Reynolds sayısı 10069 için boru başı ve sonuna ait $C_t/C_0 - t$ grafiği (t=14-16 °C)
 C_t : Herhangi bir "t" zamanındaki klor miktarı (mg/lt)
t : Zaman (dakika)

EK-3 (Devam) Klor kayıp katsayılarının tespiti için yapılan deneyler sonucunda oluşturulan grafik ve çizelgeler

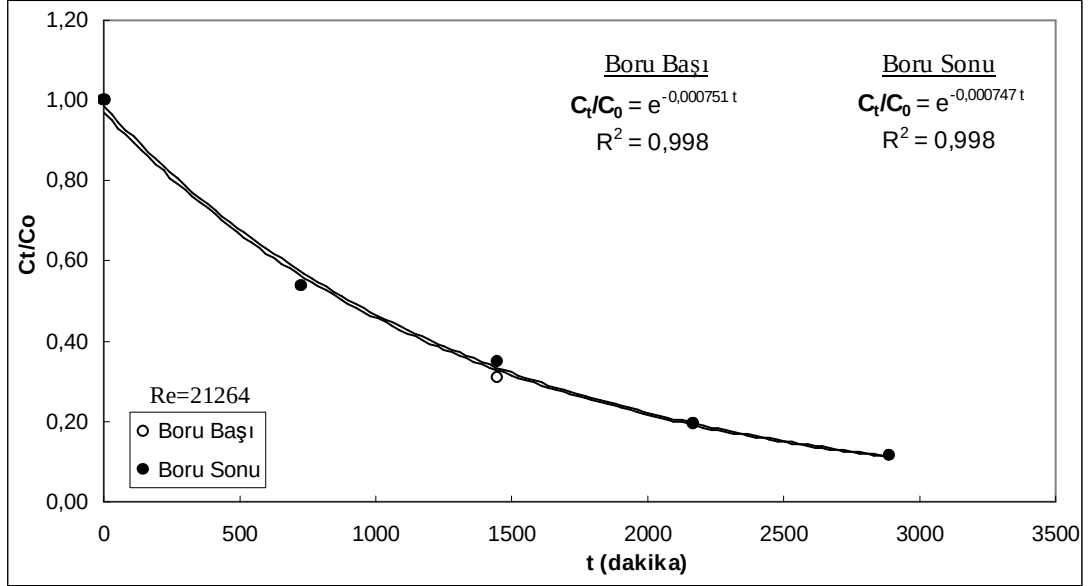


Şekil 3.15. Reynolds sayısı 12575 için boru başı ve sonuna ait $C_t/C_0 - t$ grafiği ($t=14-16^\circ\text{C}$)
 C_t : Herhangi bir "t" zamanındaki klor miktarı (mg/l)
 t : Zaman (dakika)



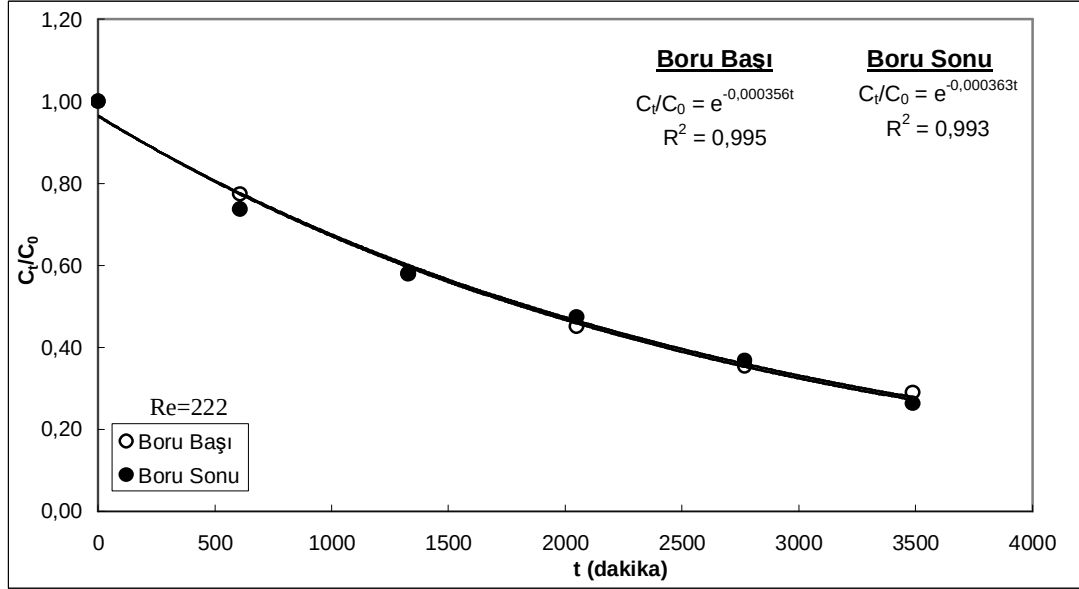
Şekil 3.16. Reynolds sayısı 15418 için boru başı ve sonuna ait $C_t/C_0 - t$ grafiği ($t=14-16^\circ\text{C}$)
 C_t : Herhangi bir "t" zamanındaki klor miktarı (mg/l)
 t : Zaman (dakika)

EK-3 (Devam) Klor kayıp katsayılarının tespiti için yapılan deneyler sonucunda oluşturulan grafik ve çizelgeler

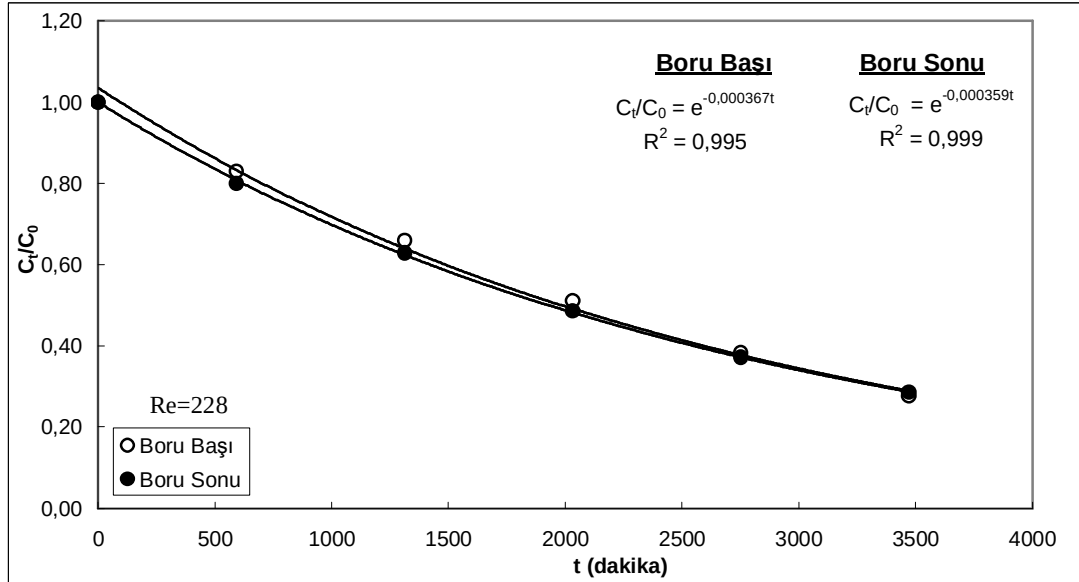


Şekil 3.17. Reynolds sayısı 21264 için boru başı ve sonuna ait $C_t/C_0 - t$ grafiği ($t=14-16^\circ\text{C}$)
 C_t : Herhangi bir "t" zamanındaki klor miktarı (mg/lit)
 t : Zaman (dakika)

EK-3 (Devam) Klor kayıp katsayılarının tespiti için yapılan deneyler sonucunda oluşturulan grafik ve çizelgeler

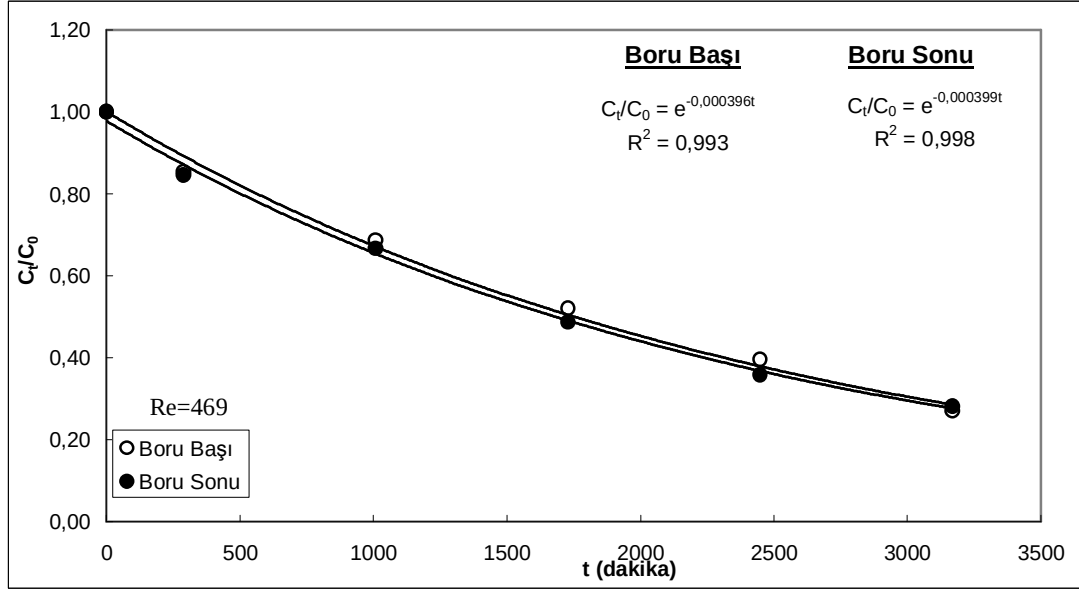


Şekil 3.18. Reynolds sayısı 222 için boru başı ve sonuna ait $C_t/C_0 - t$ grafiği
 (t=20-21 °C)
 C_t : Herhangi bir "t" zamanındaki klor miktarı (mg/lt)
 t : Zaman (dakika)

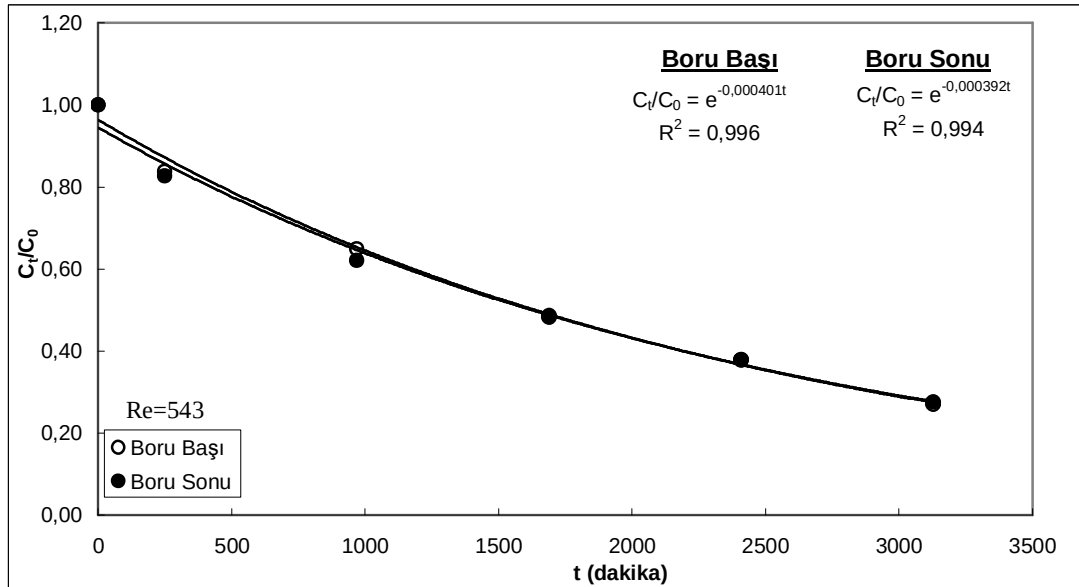


Şekil 3.19. Reynolds sayısı 228 için boru başı ve sonuna ait $C_t/C_0 - t$ grafiği
 (t=20-21 °C)
 C_t : Herhangi bir "t" zamanındaki klor miktarı (mg/lt)
 t : Zaman (dakika)

EK-3 (Devam) Klor kayıp katsayılarının tespiti için yapılan deneyler sonucunda oluşturulan grafik ve çizelgeler

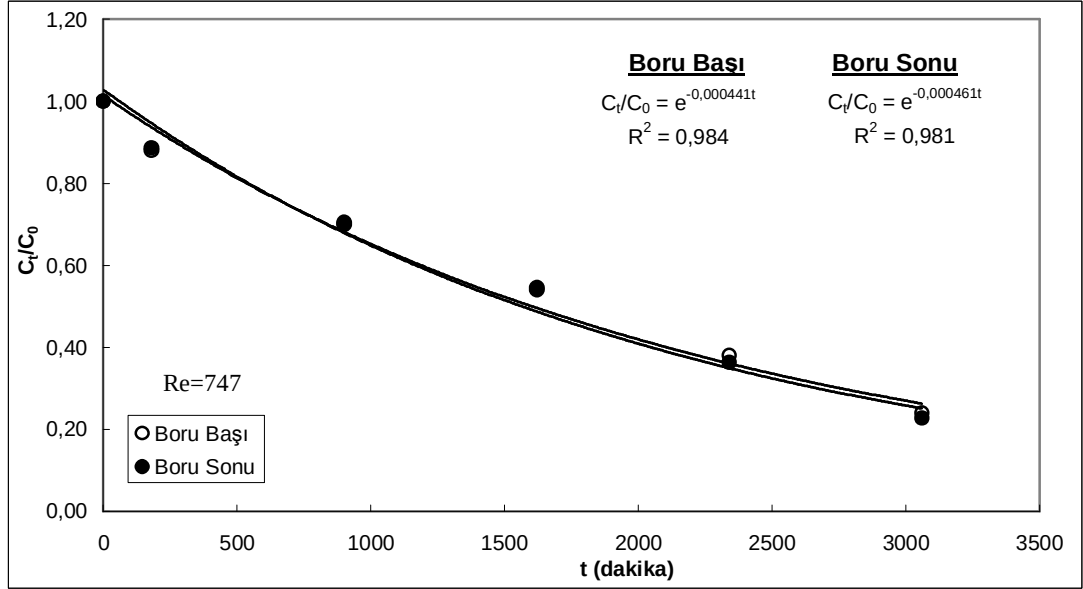


Şekil 3.20. Reynolds sayısı 469 için boru başı ve sonuna ait $C_t/C_0 - t$ grafiği
 (t=20-21 °C)
 C_t : Herhangi bir "t" zamanındaki klor miktarı (mg/l)
 t : Zaman (dakika)

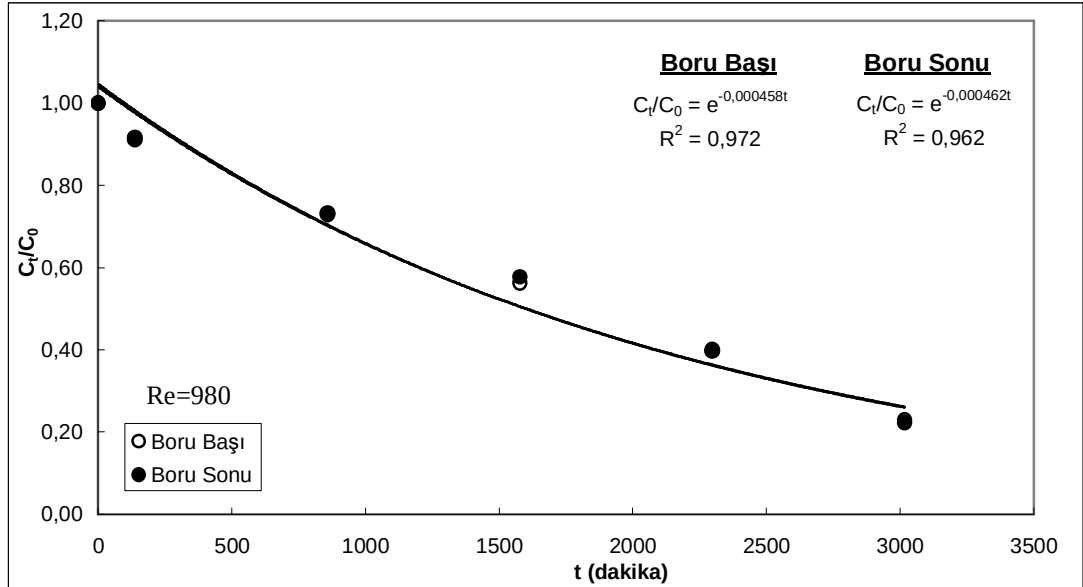


Şekil 3.21. Reynolds sayısı 543 için boru başı ve sonuna ait $C_t/C_0 - t$ grafiği
 (t=20-21 °C)
 C_t : Herhangi bir "t" zamanındaki klor miktarı (mg/l)
 t : Zaman (dakika)

EK-3 (Devam) Klor kayıp katsayılarının tespiti için yapılan deneyler sonucunda oluşturulan grafik ve çizelgeler

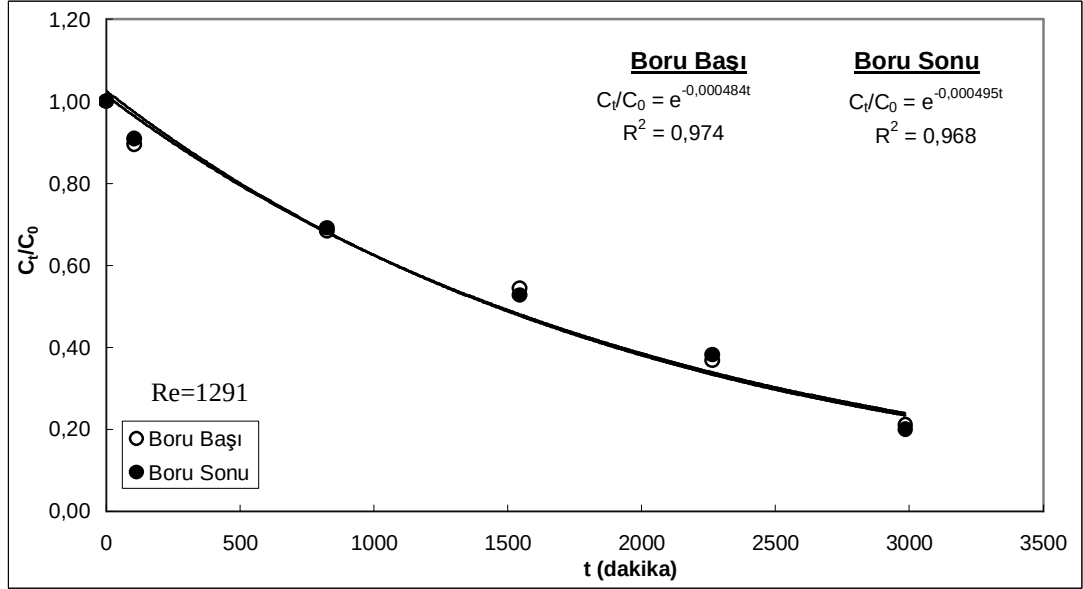


Şekil 3.22. Reynolds sayısı 747 için boru başı ve sonuna ait $C_t/C_0 - t$ grafiği
 (t=20-21 °C)
 C_t : Herhangi bir "t" zamanındaki klor miktarı (mg/lt)
 t : Zaman (dakika)



Şekil 3.23. Reynolds sayısı 980 için boru başı ve sonuna ait $C_t/C_0 - t$ grafiği
 (t=20-21 °C)
 C_t : Herhangi bir "t" zamanındaki klor miktarı (mg/lt)
 t : Zaman (dakika)

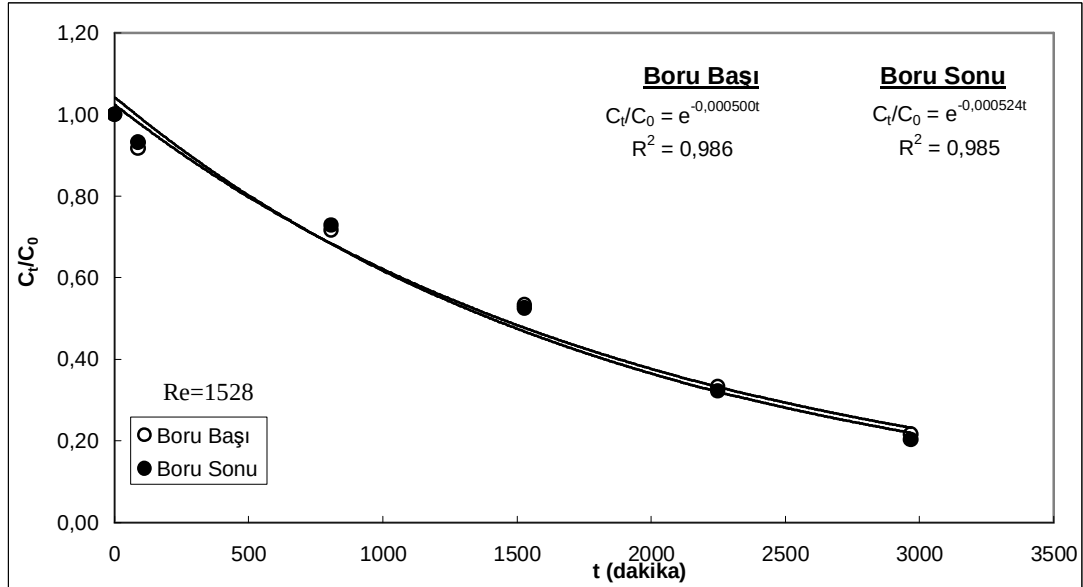
EK-3 (Devam) Klor kayıp katsayılarının tespiti için yapılan deneyler sonucunda oluşturulan grafik ve çizelgeler



Şekil 3.24. Reynolds sayısı 1291 için boru başı ve sonuna ait $C_t/C_0 - t$ grafiği
 (t=20-21 °C)

C_t : Herhangi bir "t" zamanındaki klor miktarı (mg/l)

t : Zaman (dakika)

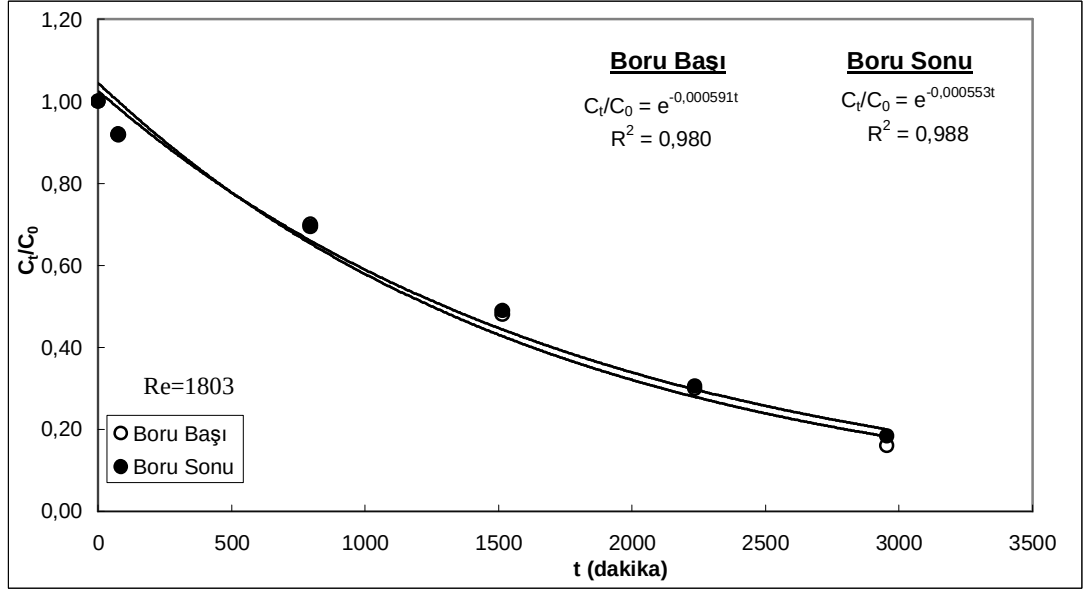


Şekil 3.25. Reynolds sayısı 1528 için boru başı ve sonuna ait $C_t/C_0 - t$ grafiği
 (t=20-21 °C)

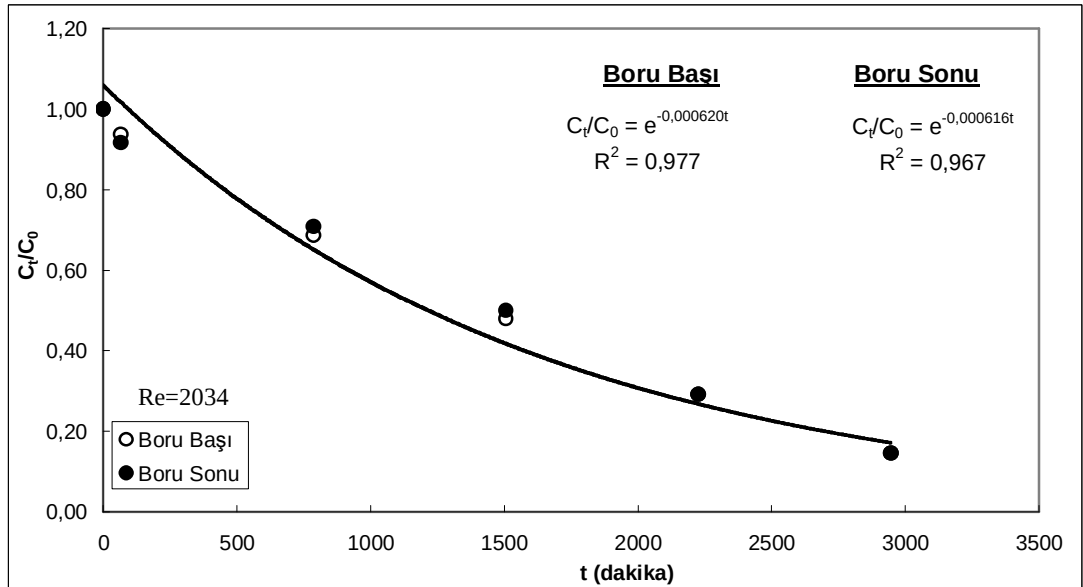
C_t : Herhangi bir "t" zamanındaki klor miktarı (mg/l)

t : Zaman (dakika)

EK-3 (Devam) Klor kayıp katsayılarının tespiti için yapılan deneyler sonucunda oluşturulan grafik ve çizelgeler

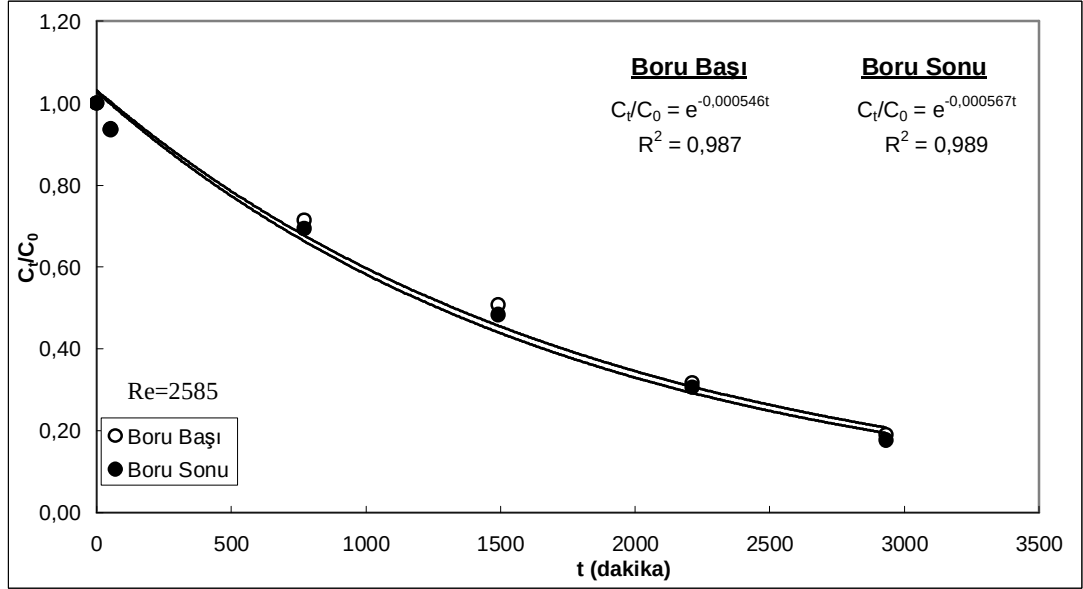


Şekil 3.26. Reynolds sayısı 1803 için boru başı ve sonuna ait $C_t/C_0 - t$ grafiği
 (t=20-21 °C)
 C_t : Herhangi bir "t" zamanındaki klor miktarı (mg/lt)
 t : Zaman (dakika)

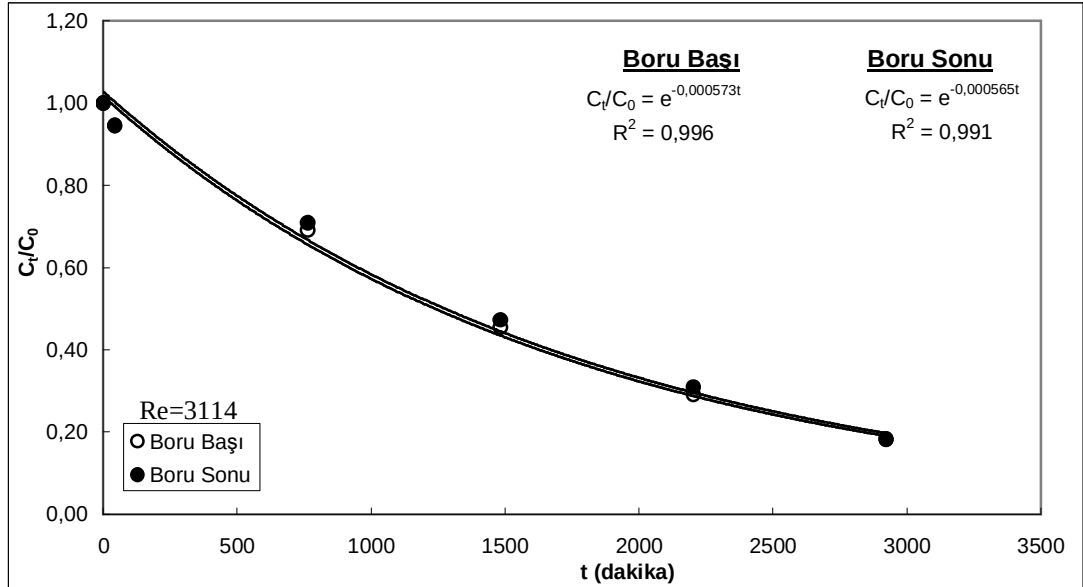


Şekil 3.27. Reynolds sayısı 2034 için boru başı ve sonuna ait $C_t/C_0 - t$ grafiği
 (t=20-21 °C)
 C_t : Herhangi bir "t" zamanındaki klor miktarı (mg/lt)
 t : Zaman (dakika)

EK-3 (Devam) Klor kayıp katsayılarının tespiti için yapılan deneyler sonucunda oluşturulan grafik ve çizelgeler

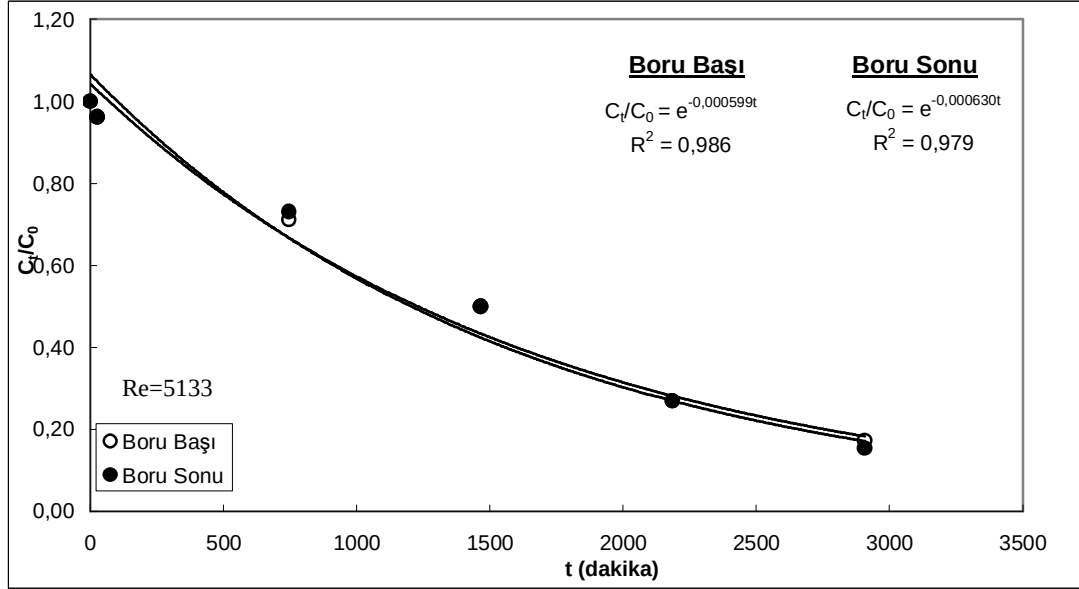


Şekil 3.28. Reynolds sayısı 2585 için boru başı ve sonuna ait $C_t/C_0 - t$ grafiği
 (t=20-21 °C)
 C_t : Herhangi bir "t" zamanındaki klor miktarı (mg/l)
 t : Zaman (dakika)

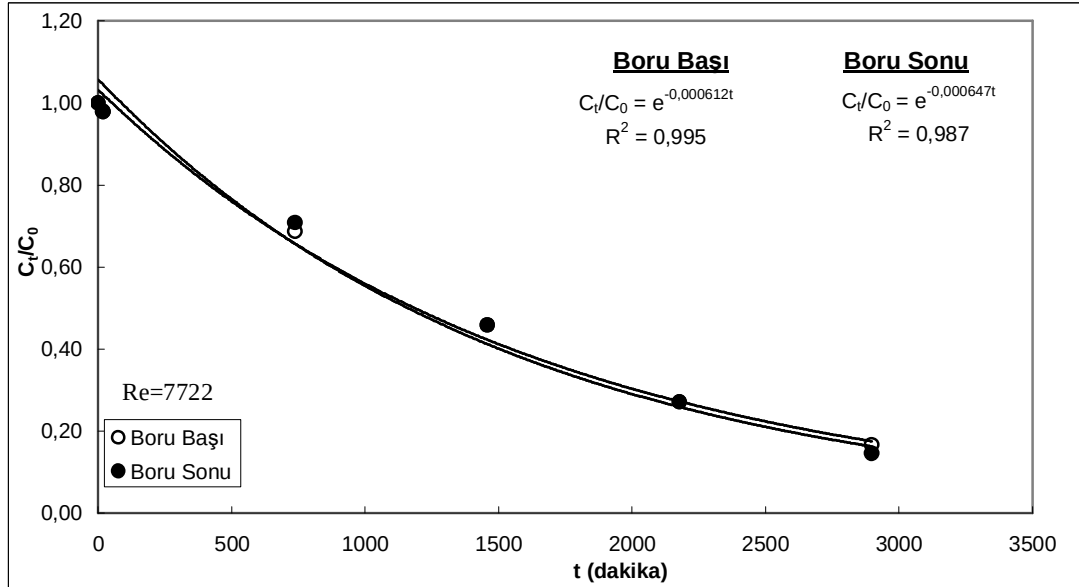


Şekil 3.29. Reynolds sayısı 3114 için boru başı ve sonuna ait $C_t/C_0 - t$ grafiği
 (t=20-21 °C)
 C_t : Herhangi bir "t" zamanındaki klor miktarı (mg/l)
 t : Zaman (dakika)

EK-3 (Devam) Klor kayıp katsayılarının tespiti için yapılan deneyler sonucunda oluşturulan grafik ve çizelgeler

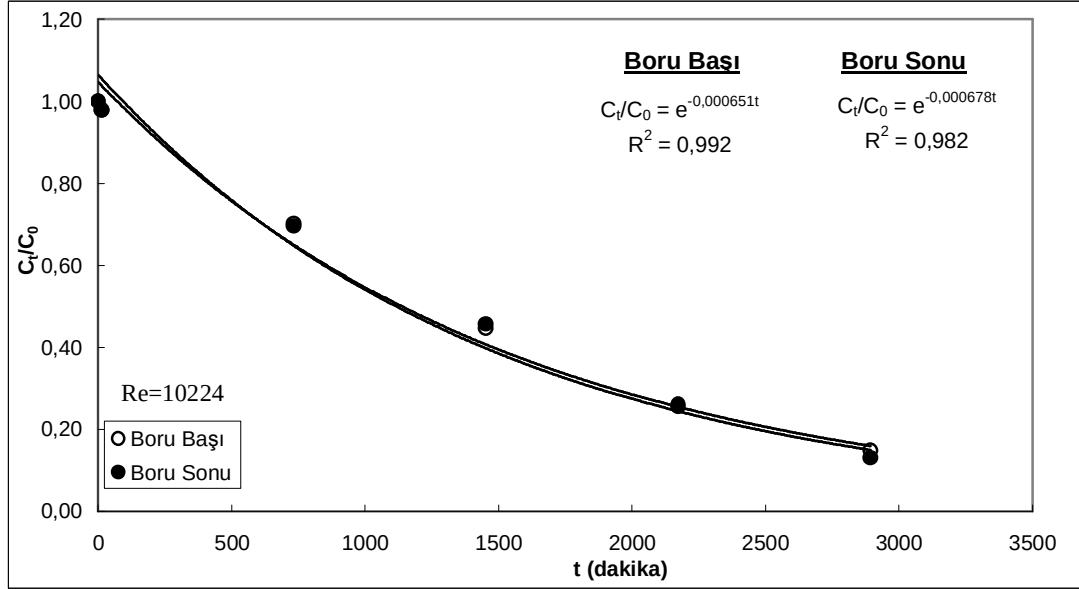


Şekil 3.30. Reynolds sayısı 5133 için boru başı ve sonuna ait $C_t/C_0 - t$ grafiği
 (t=20-21 °C)
 C_t : Herhangi bir "t" zamanındaki klor miktarı (mg/lt)
 t : Zaman (dakika)

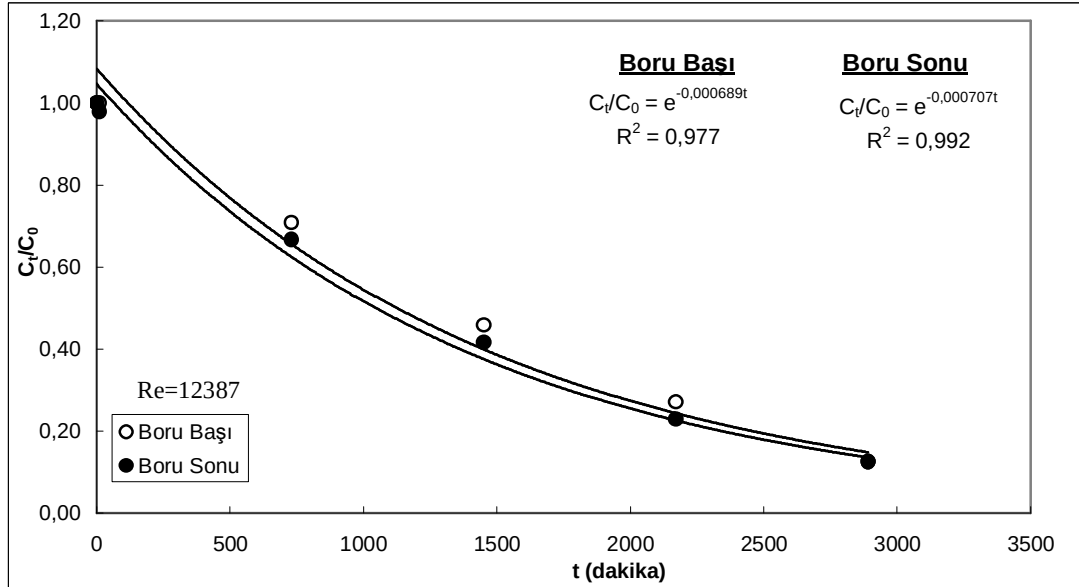


Şekil 3.31. Reynolds sayısı 7722 için boru başı ve sonuna ait $C_t/C_0 - t$ grafiği
 (t=20-21 °C)
 C_t : Herhangi bir "t" zamanındaki klor miktarı (mg/lt)
 t : Zaman (dakika)

EK-3 (Devam) Klor kayıp katsayılarının tespiti için yapılan deneyler sonucunda oluşturulan grafik ve çizelgeler

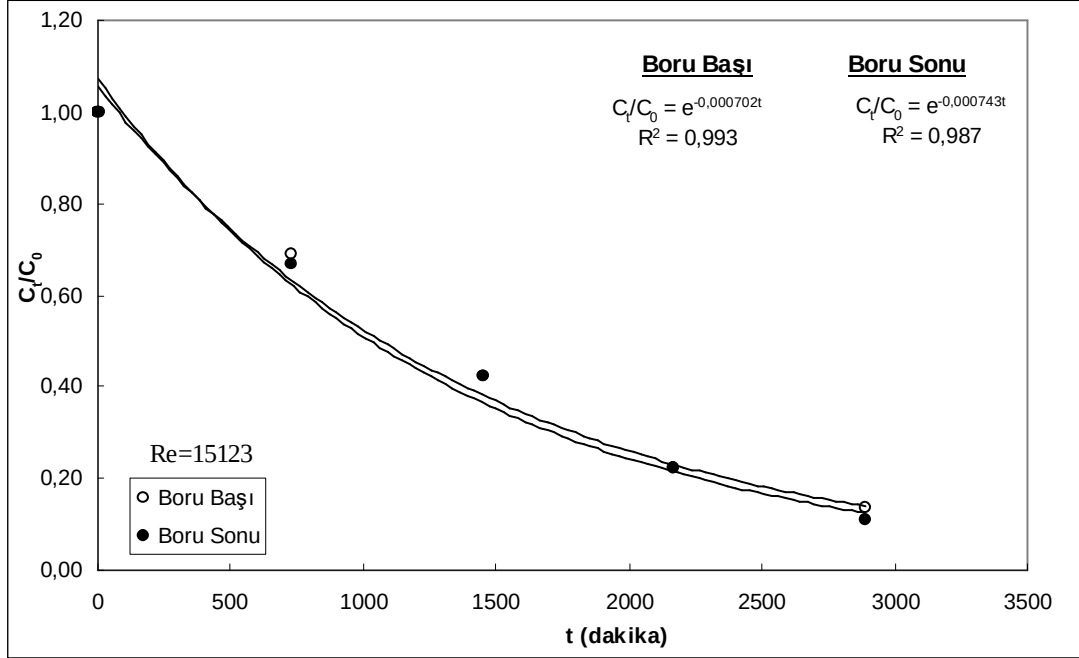


Şekil 3.32. Reynolds sayısı 10224 için boru başı ve sonuna ait $C_t/C_0 - t$ grafiği ($t=20-21^\circ\text{C}$)
 C_t : Herhangi bir "t" zamanındaki klor miktarı (mg/l)
 t : Zaman (dakika)

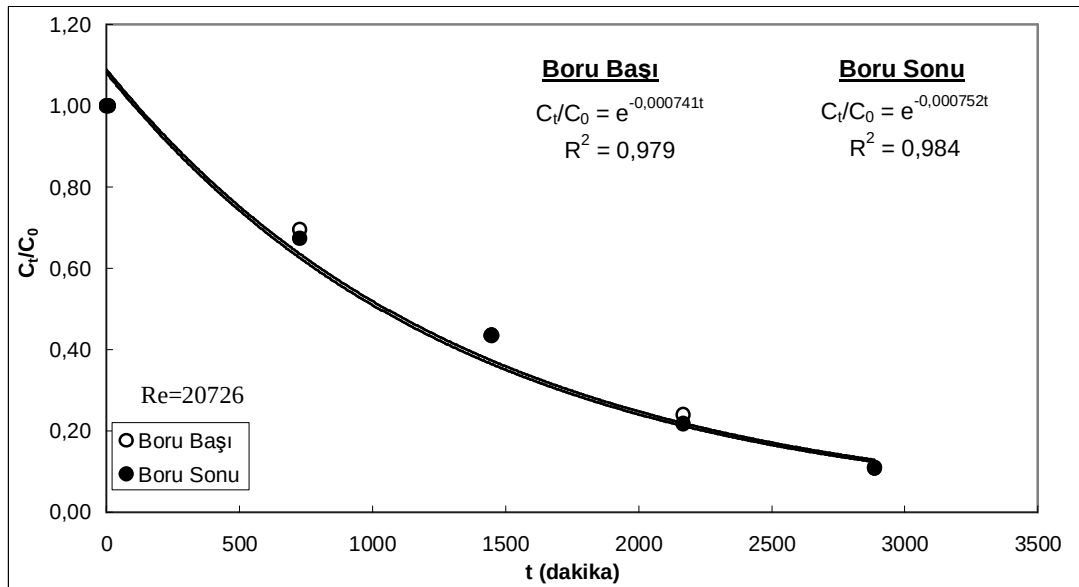


Şekil 3.33. Reynolds sayısı 12387 için boru başı ve sonuna ait $C_t/C_0 - t$ grafiği ($t=20-21^\circ\text{C}$)
 C_t : Herhangi bir "t" zamanındaki klor miktarı (mg/l)
 t : Zaman (dakika)

EK-3 (Devam) Klor kayıp katsayılarının tespiti için yapılan deneyler sonucunda oluşturulan grafik ve çizelgeler



Şekil 3.34. Reynolds sayısı 15123 için boru başı ve sonuna ait $C_t/C_0 - t$ grafiği ($t=20-21^\circ\text{C}$)
 C_t : Herhangi bir "t" zamanındaki klor miktarı (mg/l)
 t : Zaman (dakika)



Şekil 3.35. Reynolds sayısı 20726 için boru başı ve sonuna ait $C_t/C_0 - t$ grafiği ($t=20-21^\circ\text{C}$)
 C_t : Herhangi bir "t" zamanındaki klor miktarı (mg/l)
 t : Zaman (dakika)

EK-3 (Devam) Klor kayıp katsayılarının tespiti için yapılan deneyler sonucunda oluşturulan grafik ve çizelgeler

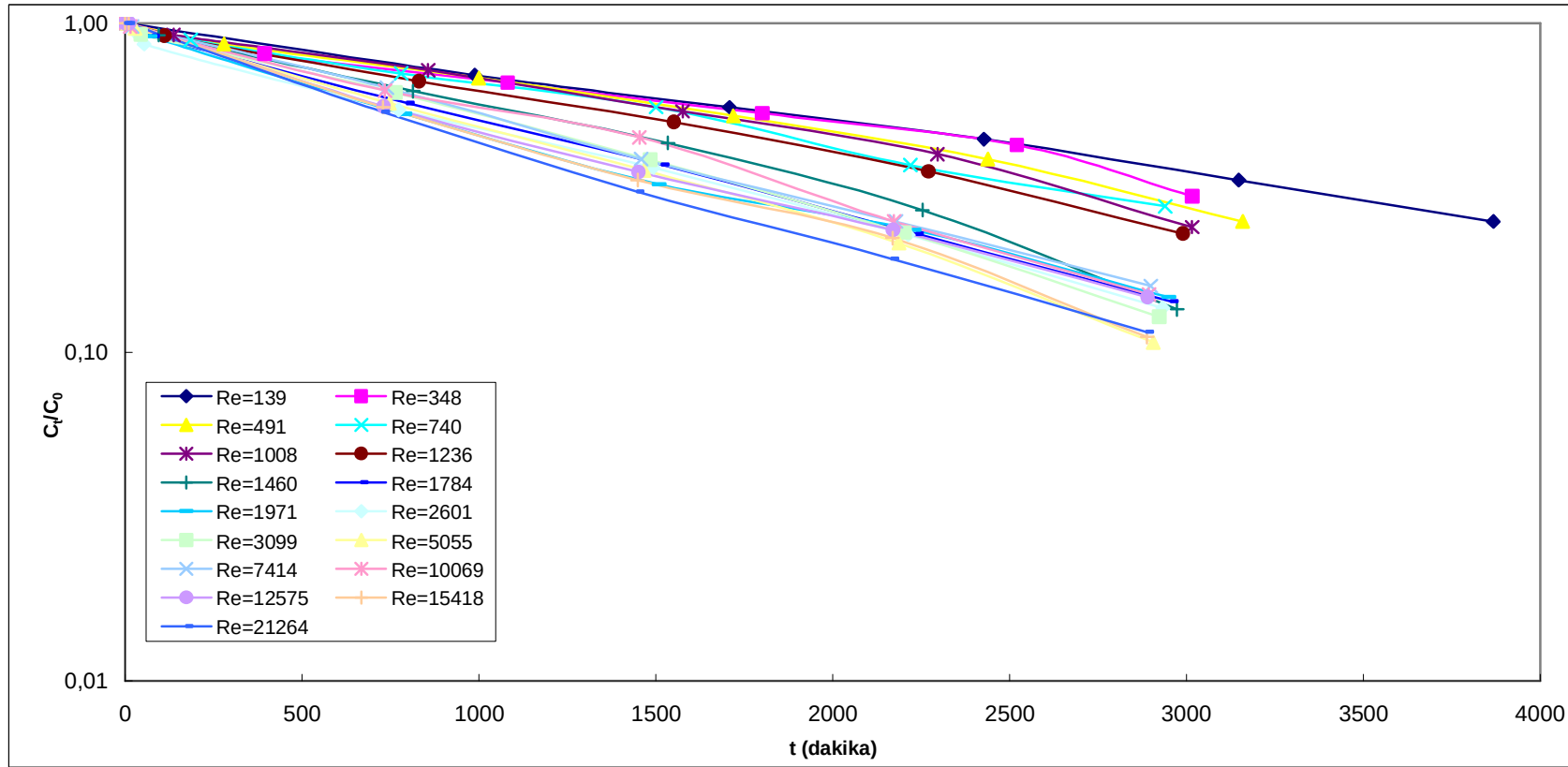
Çizelge 3.1. Farklı Reynolds Sayıları için boru başı ve boru sonu klor tüketim sabitleri ile bunların ortalamalarını birlikte veren çizelge (t=14-16 °C)

Re	k_{bb}			k_{bs}			$k_{bortı} [(k_{bb}+k_{bs})/2]$	
	1/Gün	1/Saat	R^2	1/Gün	1/Saat	R^2	1/Gün	1/Saat
139	0,507	0,02113	0,998	0,572	0,02383	0,999	0,539	0,02246
348	0,527	0,02196	0,979	0,582	0,02425	0,996	0,554	0,02308
491	0,603	0,02513	0,989	0,621	0,02588	0,989	0,612	0,02550
740	0,619	0,02579	0,995	0,649	0,02704	0,997	0,634	0,02642
1008	0,644	0,02683	0,983	0,654	0,02725	0,991	0,649	0,02704
1236	0,683	0,02846	0,995	0,716	0,02983	0,994	0,699	0,02913
1460	0,857	0,03571	0,985	0,912	0,03800	0,975	0,884	0,03683
1784	0,935	0,03896	0,999	0,985	0,04104	0,997	0,960	0,04000
1971	0,920	0,03833	0,993	0,904	0,03767	0,994	0,912	0,03800
2601	0,939	0,03913	0,997	0,920	0,03833	0,995	0,930	0,03875
3099	0,984	0,04100	0,996	0,998	0,04158	0,994	0,991	0,04129
5055	1,071	0,04463	0,996	1,051	0,04379	0,996	1,061	0,04421
7414	0,914	0,03808	0,999	0,971	0,04046	0,999	0,942	0,03925
10069	0,926	0,03858	0,994	0,916	0,03817	0,997	0,921	0,03838
12575	0,952	0,03967	0,997	0,949	0,03954	0,997	0,950	0,03958
15418	1,064	0,04433	0,996	1,064	0,04433	0,996	1,064	0,04433
21264	1,081	0,04504	0,998	1,076	0,04483	0,998	1,079	0,04496

Çizelge 3.2. Farklı Reynolds Sayıları için boru başı ve boru sonu klor tüketim sabitleri ile bunların ortalamalarını birlikte veren çizelge (t=20-21 °C)

Re	k_{bb}			k_{bs}			$k_{bortı} [(k_{bb}+k_{bs})/2]$	
	1/Gün	1/Saat	R^2	1/Gün	1/Saat	R^2	1/Gün	1/Saat
222	0,513	0,02136	0,995	0,523	0,02178	0,993	0,518	0,02157
228	0,528	0,02202	0,995	0,572	0,02154	0,999	0,539	0,02246
469	0,570	0,02376	0,993	0,575	0,02394	0,998	0,573	0,02385
543	0,577	0,02406	0,996	0,564	0,02352	0,994	0,571	0,02379
747	0,635	0,02646	0,984	0,664	0,02766	0,981	0,650	0,02706
980	0,660	0,02748	0,972	0,665	0,02772	0,962	0,663	0,02760
1291	0,697	0,02904	0,974	0,713	0,02970	0,968	0,705	0,02937
1528	0,720	0,03000	0,986	0,755	0,03144	0,985	0,738	0,03072
1803	0,851	0,03546	0,980	0,796	0,03318	0,988	0,824	0,03432
2034	0,893	0,03720	0,977	0,887	0,03696	0,969	0,890	0,03708
2585	0,786	0,03276	0,987	0,816	0,03402	0,989	0,801	0,03339
3114	0,825	0,03438	0,996	0,815	0,03396	0,991	0,820	0,03417
5133	0,863	0,03594	0,986	0,907	0,03780	0,979	0,885	0,03687
7722	0,881	0,03672	0,995	0,932	0,03882	0,987	0,907	0,03777
10224	0,937	0,03906	0,992	0,976	0,04068	0,982	0,957	0,03987
12387	0,992	0,04134	0,977	1,018	0,04242	0,992	1,005	0,04188
15123	1,011	0,04212	0,993	1,070	0,04458	0,987	1,041	0,04335
20726	1,067	0,04446	0,979	1,083	0,04512	0,984	1,075	0,04479

EK-3 (Devam) Klor kayıp katsayılarının tespiti için yapılan deneyler sonucunda oluşturulan grafik ve çizelgeler



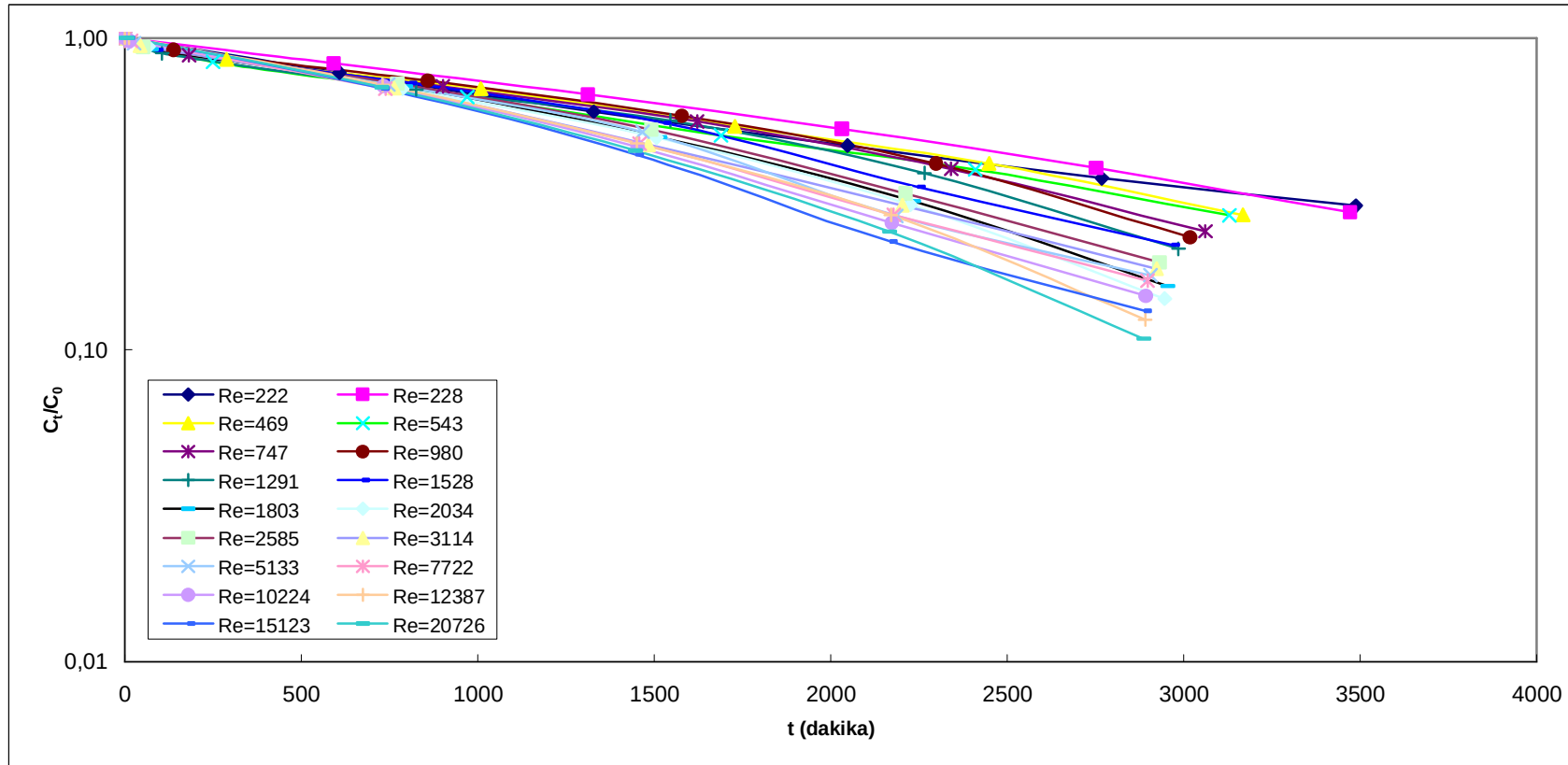
Şekil 3.36. Farklı Reynolds Sayıları için boru başından alınan numunelere ait $C_t/C_0 - t$ grafiği ($t=14-16^\circ\text{C}$)

C_t : Herhangi bir "t" zamanındaki klor miktarı (mg/lt)

C_0 : "t = 0" zamanındaki klor miktarı (mg/lt)

t : Zaman (dakika)

EK-3 (Devam) Klor kayıp katsayılarının tespiti için yapılan deneyler sonucunda oluşturulan grafik ve çizelgeler



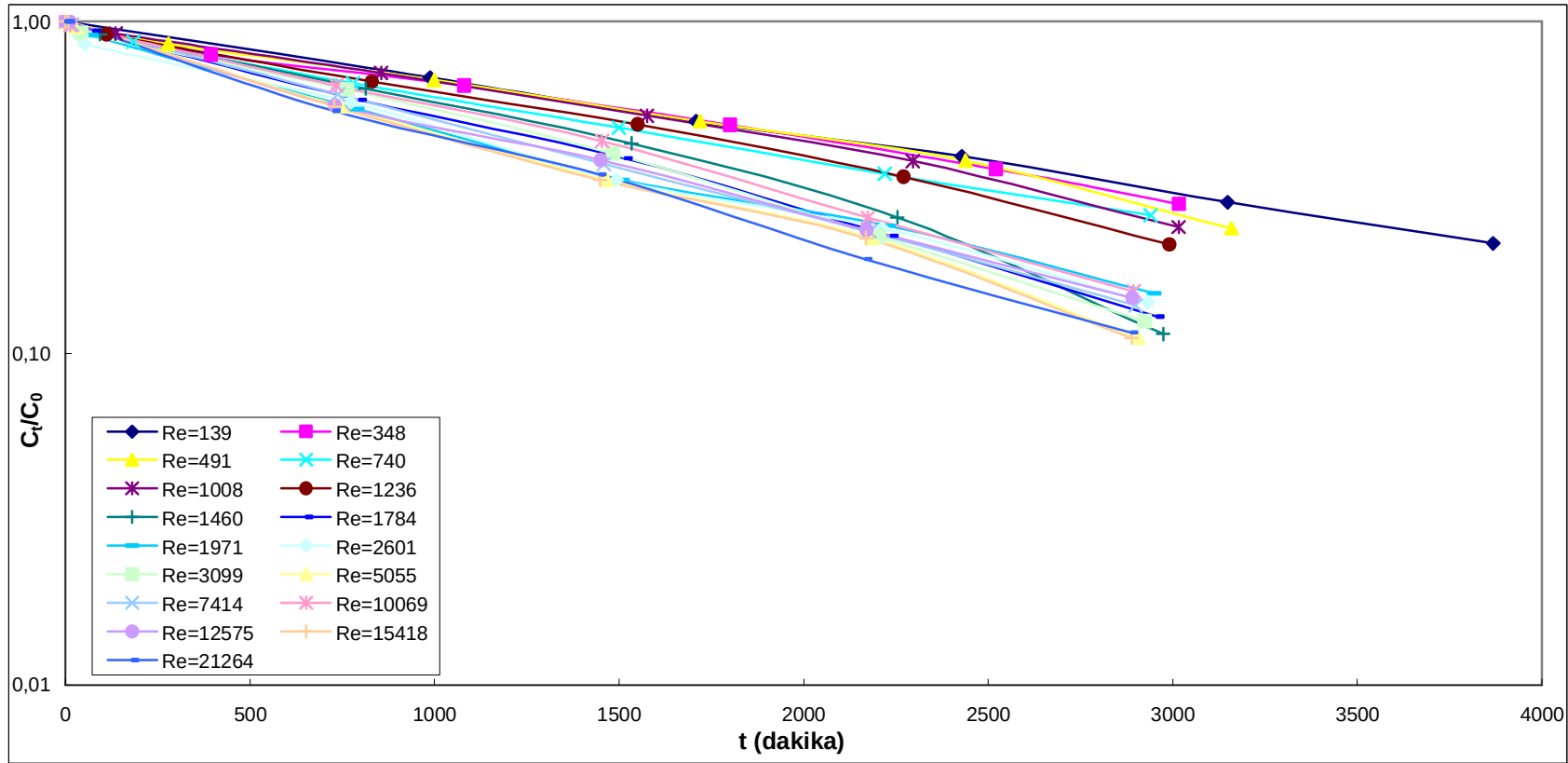
Şekil 3.37. Farklı Reynolds Sayıları için boru başından alınan numunelere ait $C_t/C_0 - t$ grafiği ($t=20-21$ °C)

C_t : Herhangi bir "t" zamanındaki klor miktarı (mg/lt)

C_0 : "t = 0" zamanındaki klor miktarı (mg/lt)

t : Zaman (dakika)

EK-3 (Devam) Klor kayıp katsayılarının tespiti için yapılan deneyler sonucunda oluşturulan grafik ve çizelgeler



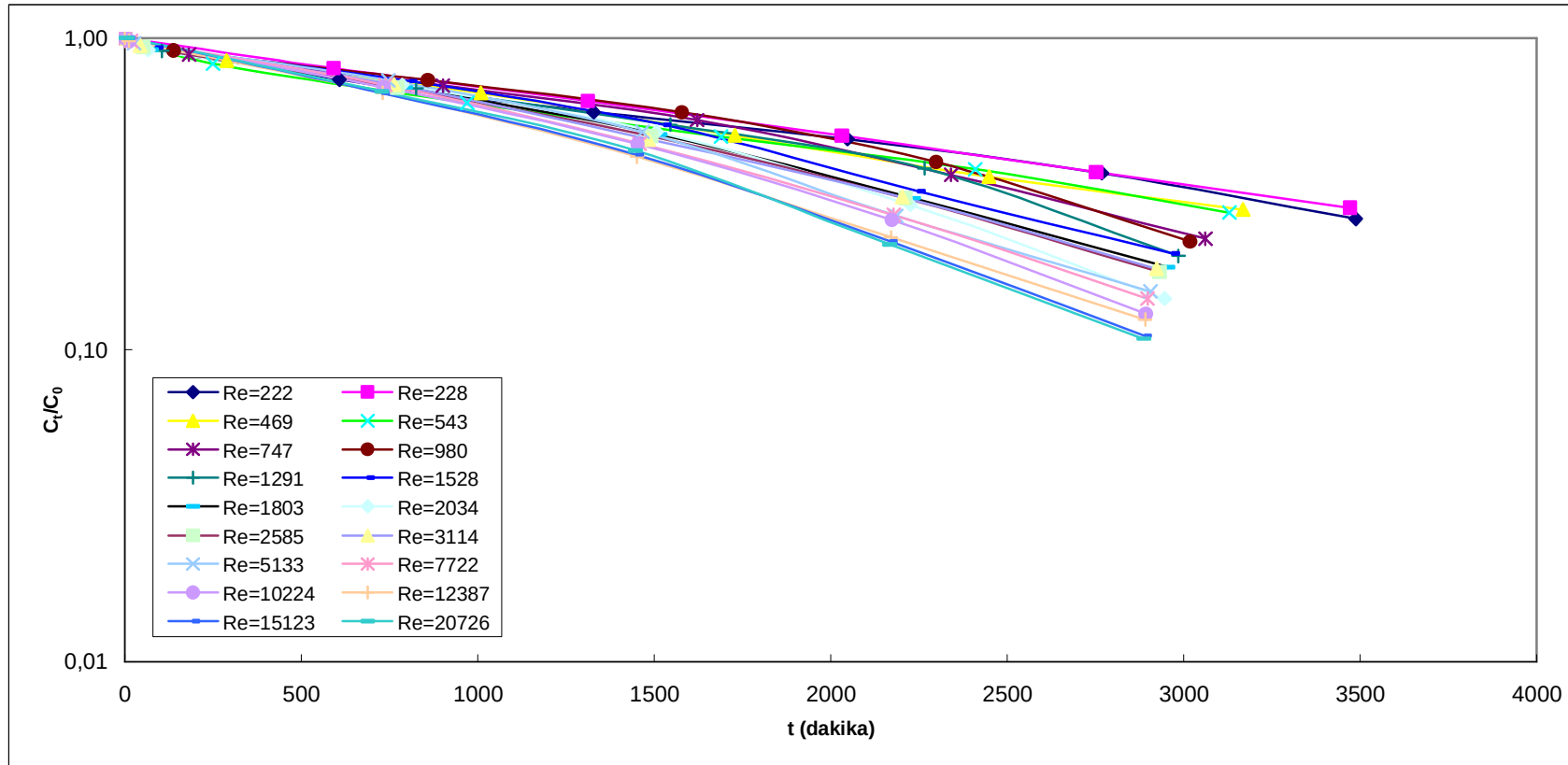
Şekil 3.38. Farklı Reynolds Sayıları için boru sonundan alınan numunelere ait $C_t/C_0 - t$ grafiği ($t=14-16$ °C)

C_t : Herhangi bir "t" zamanındaki klor miktarı (mg/l)

C_0 : "t = 0" zamanındaki klor miktarı (mg/l)

t : Zaman (dakika)

EK-3 (Devam) Klor kayıp katsayılarının tespiti için yapılan deneyler sonucunda oluşturulan grafik ve çizelgeler



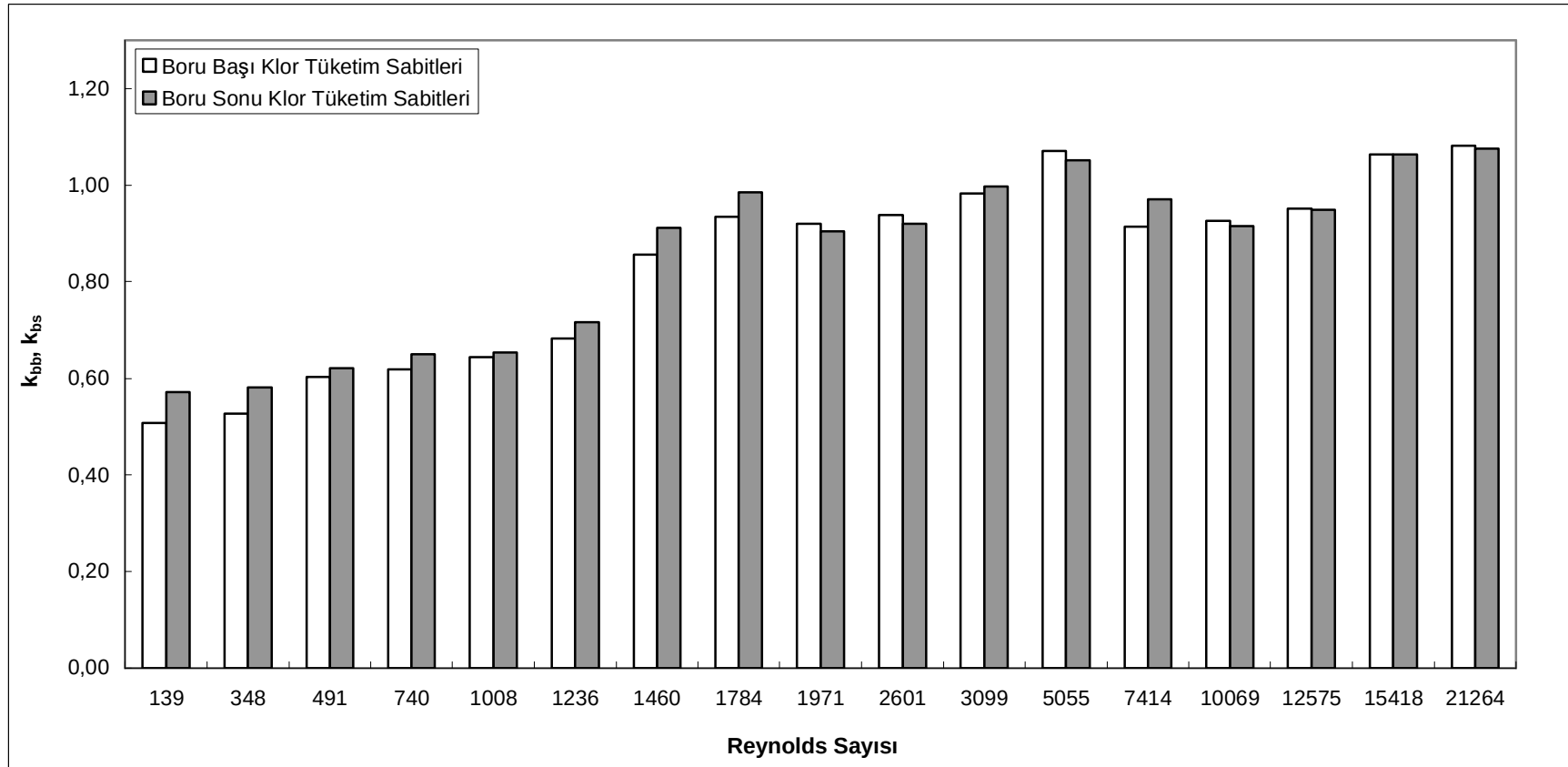
Şekil 3.39. Farklı Reynolds Sayıları için boru sonundan alınan numunelere ait $C_t/C_0 - t$ grafiği ($t=20-21$ °C)

C_t : Herhangi bir " t " zamanındaki klor miktarı (mg/lt)

C_0 : " $t = 0$ " zamanındaki klor miktarı (mg/lt)

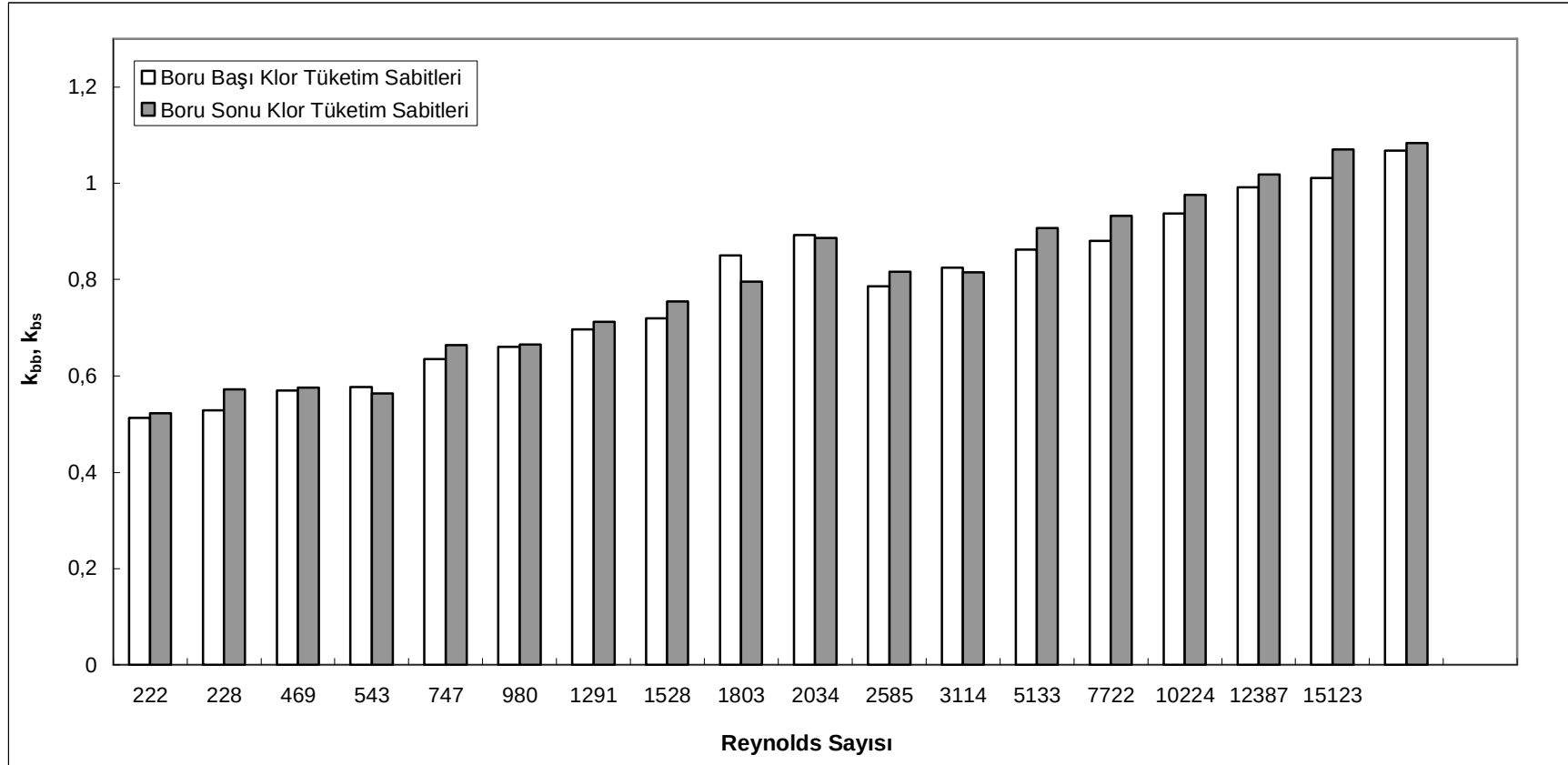
t : Zaman (dakika)

EK-3 (Devam) Klor kayıp katsayılarının tespiti için yapılan deneyler sonucunda oluşturulan grafik ve çizelgeler



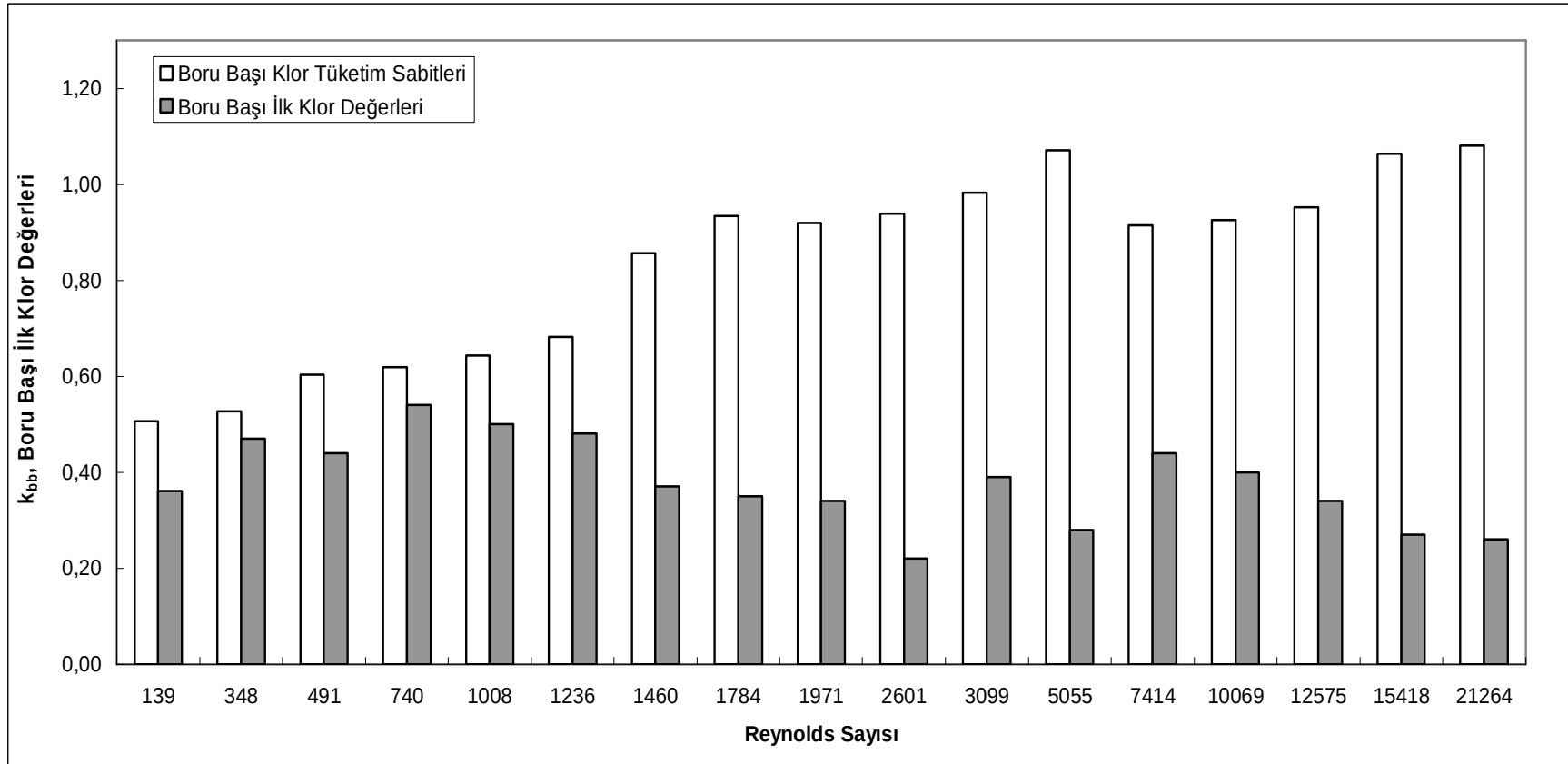
Şekil 3.40. Boru başından ve boru sonundan alınan numunelere ait k_{bb} , k_{bs} – Reynolds Sayısı grafiği ($t=14-16^{\circ}\text{C}$)

EK-3 (Devam) Klor kayıp katsayılarının tespiti için yapılan deneyler sonucunda oluşturulan grafik ve çizelgeler



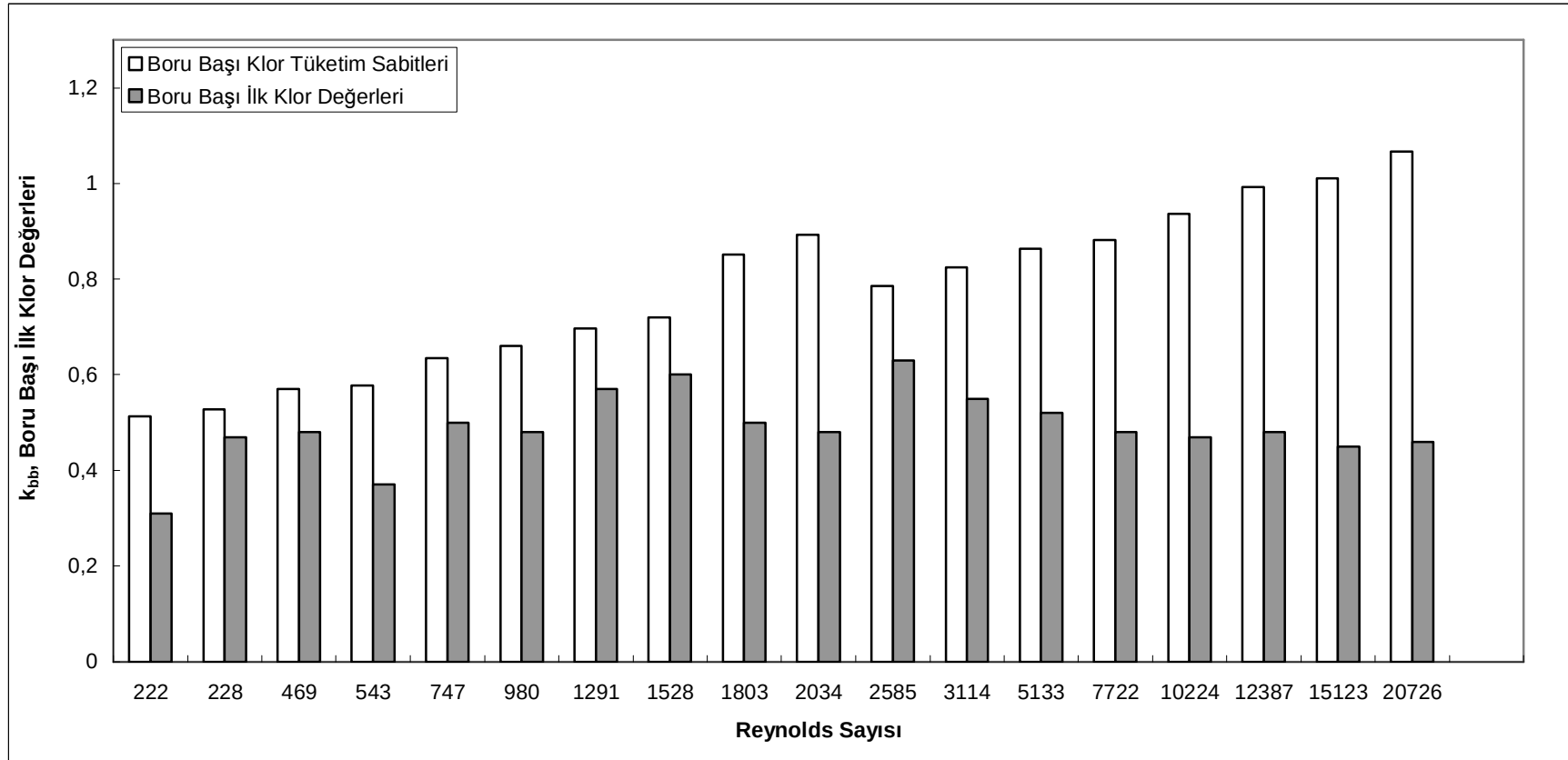
Şekil 3.41. Boru başından ve boru sonundan alınan numunelere ait k_{bb} , k_{bs} – Reynolds Sayısı grafiği ($t=20-21^{\circ}\text{C}$)

EK-3 (Devam) Klor kayıp katsayılarının tespiti için yapılan deneyler sonucunda oluşturulan grafik ve çizelgeler



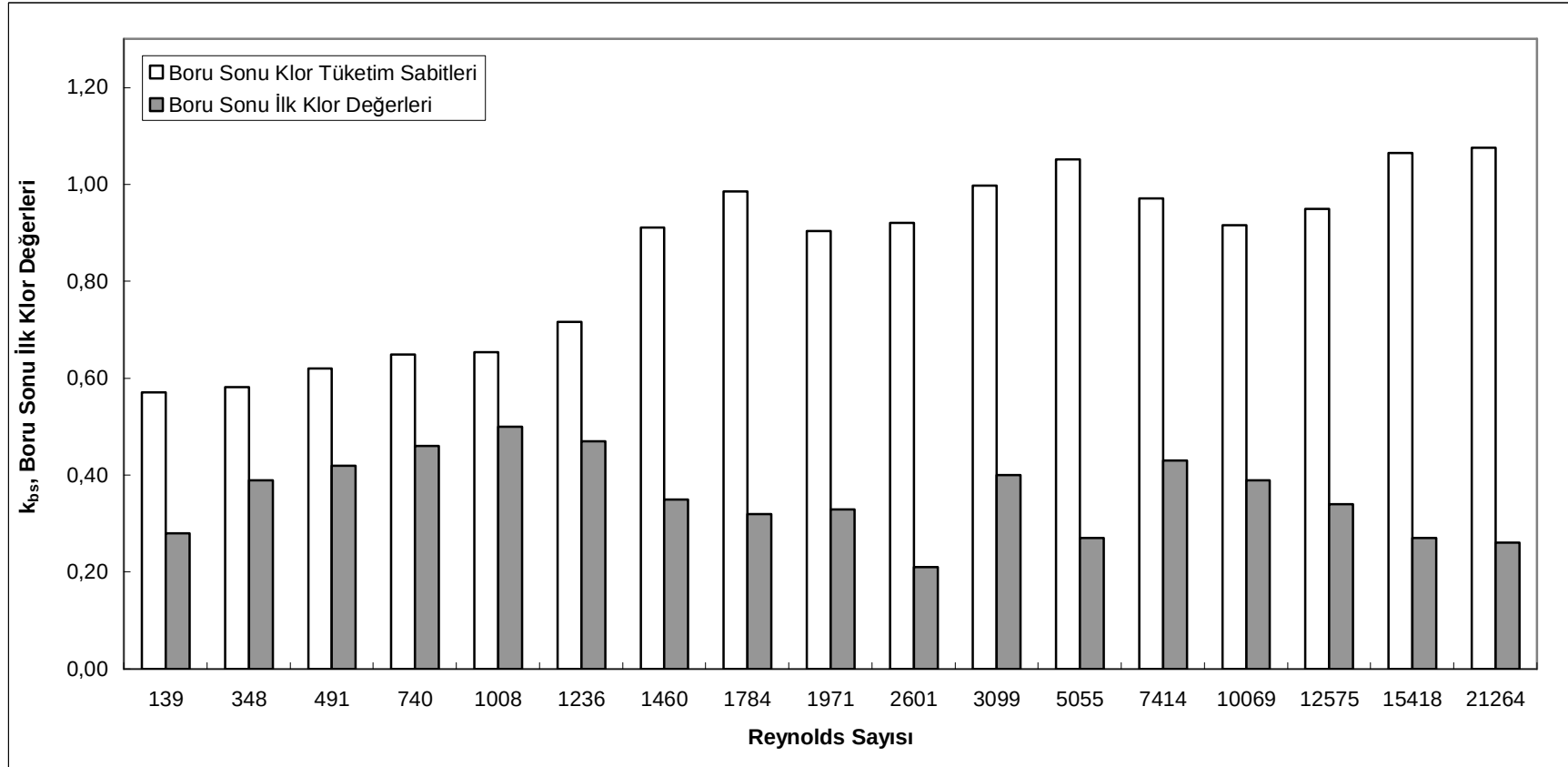
Şekil 3.42. Boru başından alınan numunelere ait k_{bb} ve Boru Başı İlk Klor Değerleri (C_0) – Reynolds Sayısı grafiği
($t=14-16^{\circ}\text{C}$)

EK-3 (Devam) Klor kayıp katsayılarının tespiti için yapılan deneyler sonucunda oluşturulan grafik ve çizelgeler



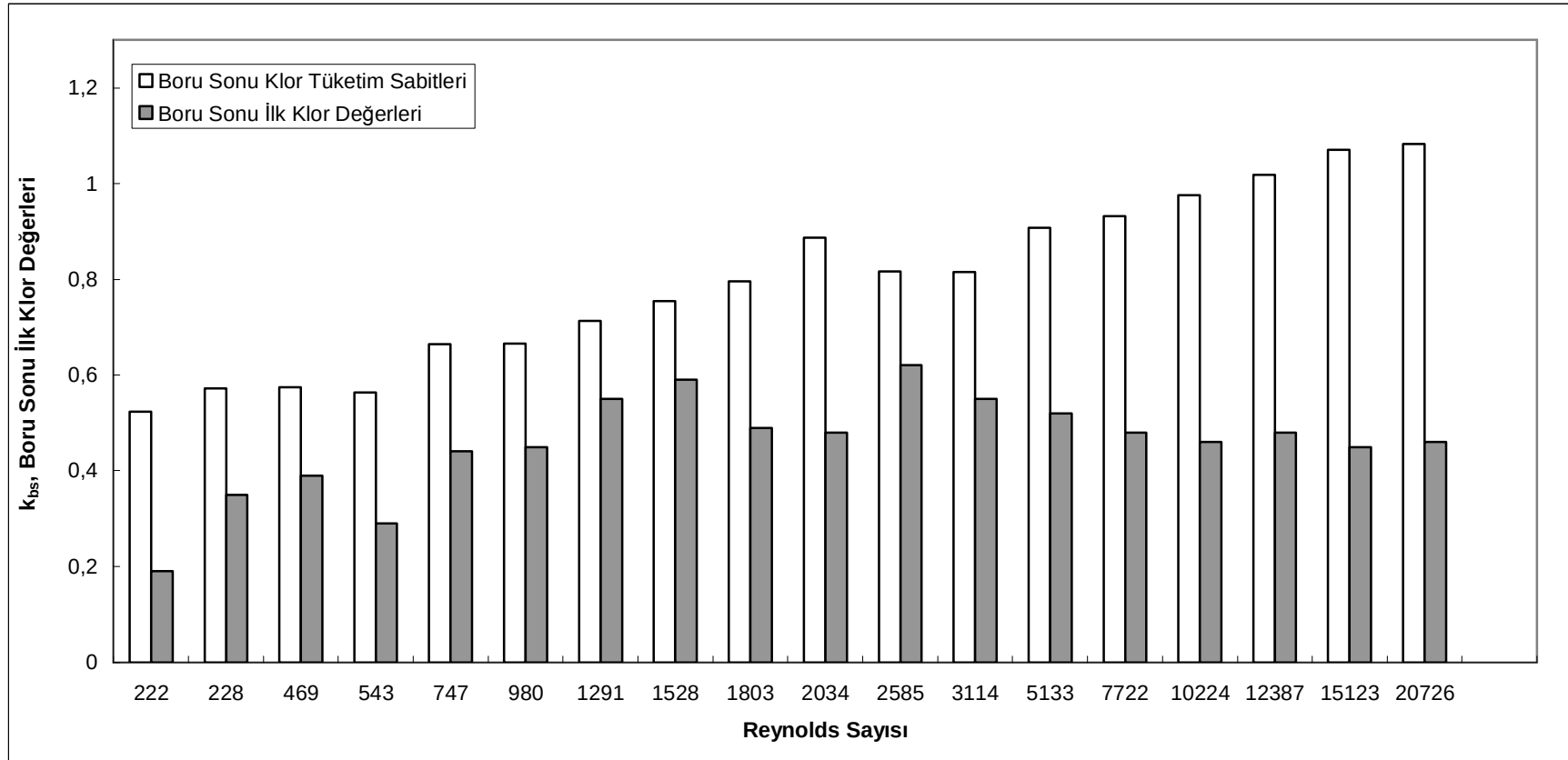
Şekil 3.43. Boru başından alınan numunelere ait k_{bb} ve Boru Başı İlk Klor Değerleri (C_0) – Reynolds Sayısı grafiği
($t=20-21$ °C)

EK-3 (Devam) Klor kayıp katsayılarının tespiti için yapılan deneyler sonucunda oluşturulan grafik ve çizelgeler



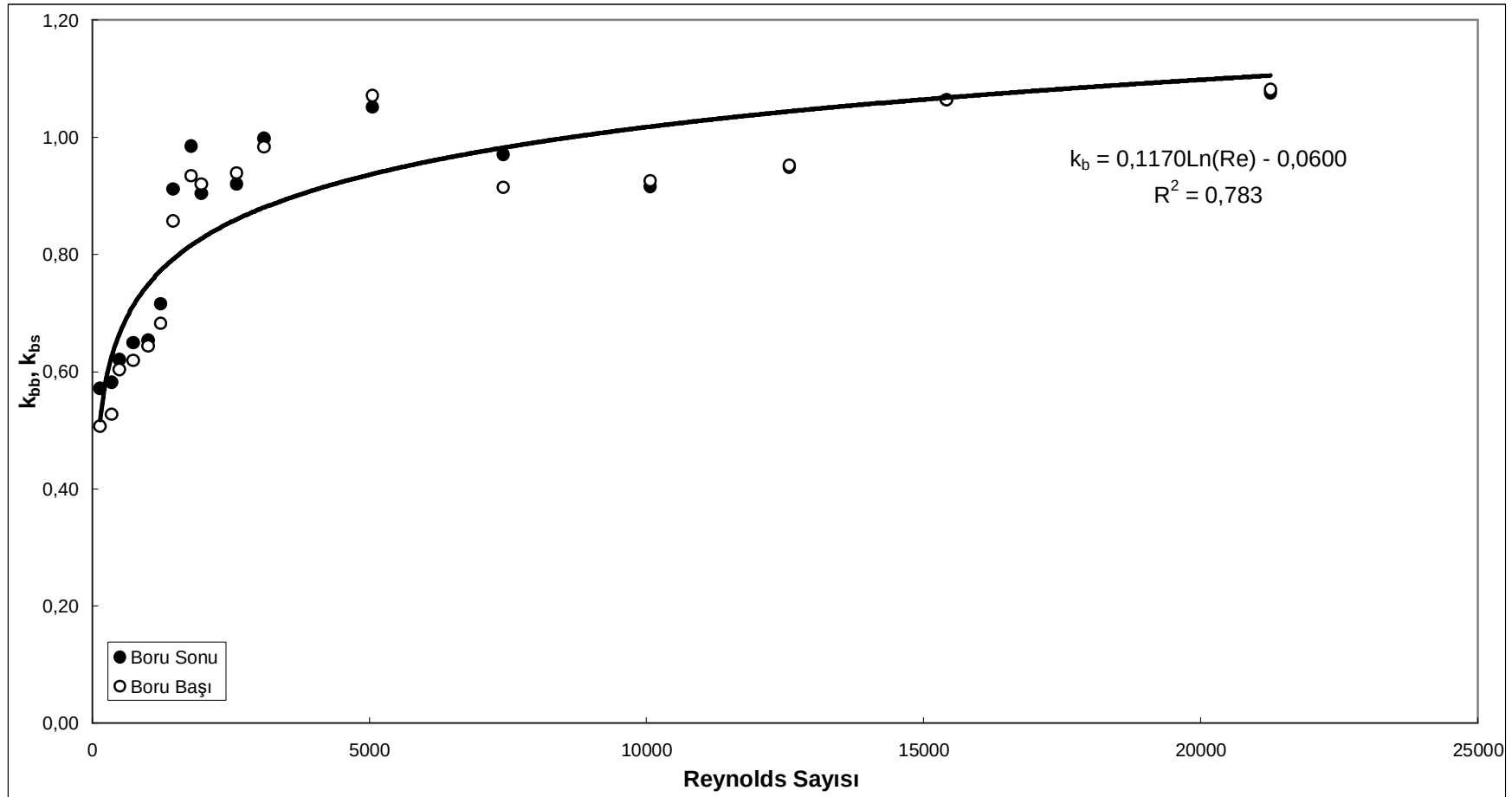
Şekil 3.44. Boru sonundan alınan numunelere ait k_{bs} ve Boru Sonu İlk Klor Değerleri (C_0) – Reynolds Sayısı grafiği ($t=14-16^{\circ}\text{C}$)

EK-3 (Devam) Klor kayıp katsayılarının tespiti için yapılan deneyler sonucunda oluşturulan grafik ve çizelgeler



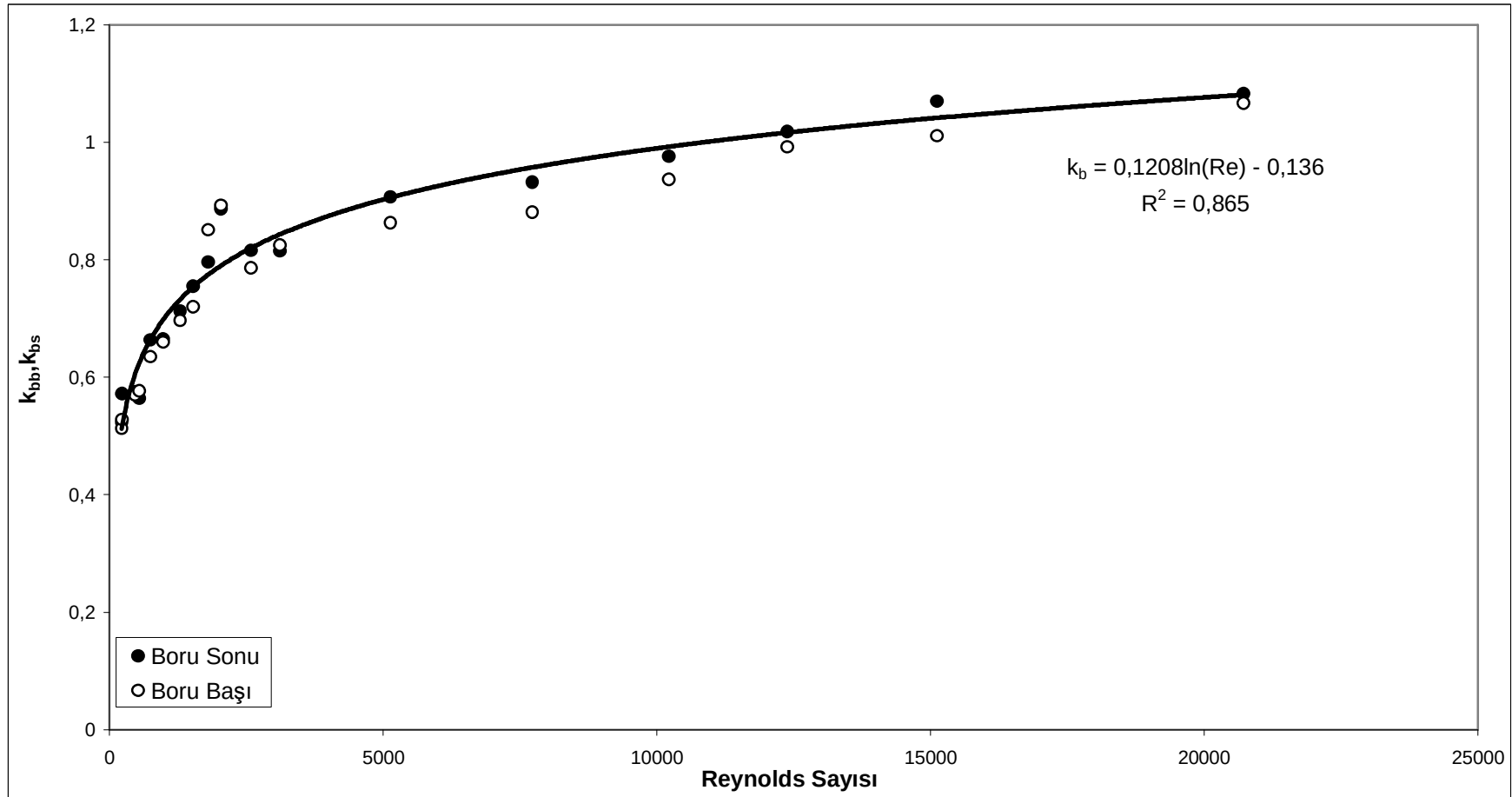
Şekil 3.45. Boru sonundan alınan numunelere ait k_{bs} ve Boru Sonu İlk Klor Değerleri (C_0) – Reynolds Sayısı grafiği
($t=20-21^{\circ}\text{C}$)

EK-3 (Devam) Klor kayıp katsayılarının tespiti için yapılan deneyler sonucunda oluşturulan grafik ve çizelgeler



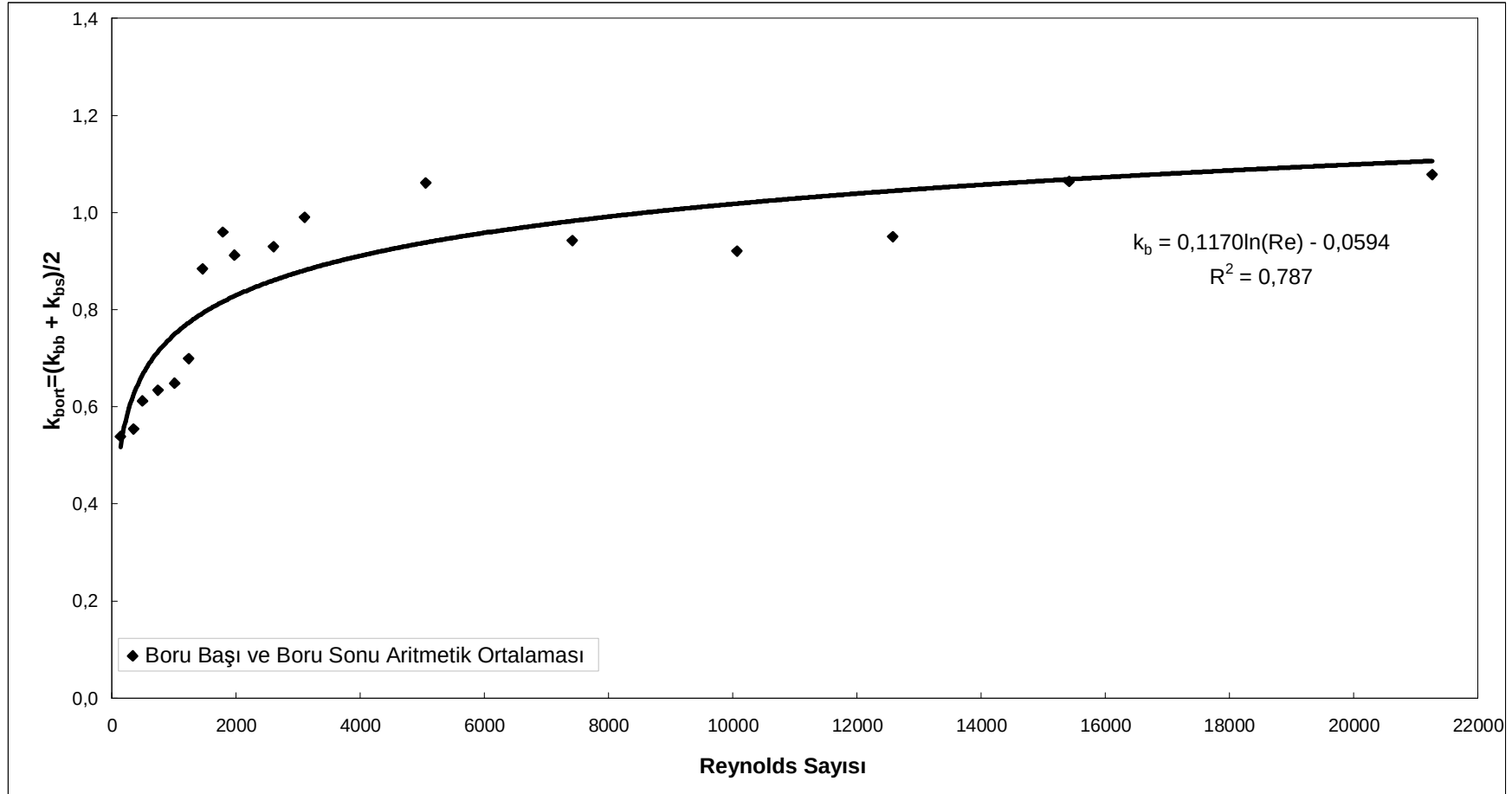
Şekil 3.46. Boru başı ve boru sonundan alınan numunelere ait k_{bb} , k_{bs} – Reynolds Sayısı grafiği ($t=14-16^{\circ}\text{C}$)

EK-3 (Devam) Klor kayıp katsayılarının tespiti için yapılan deneyler sonucunda oluşturulan grafik ve çizelgeler



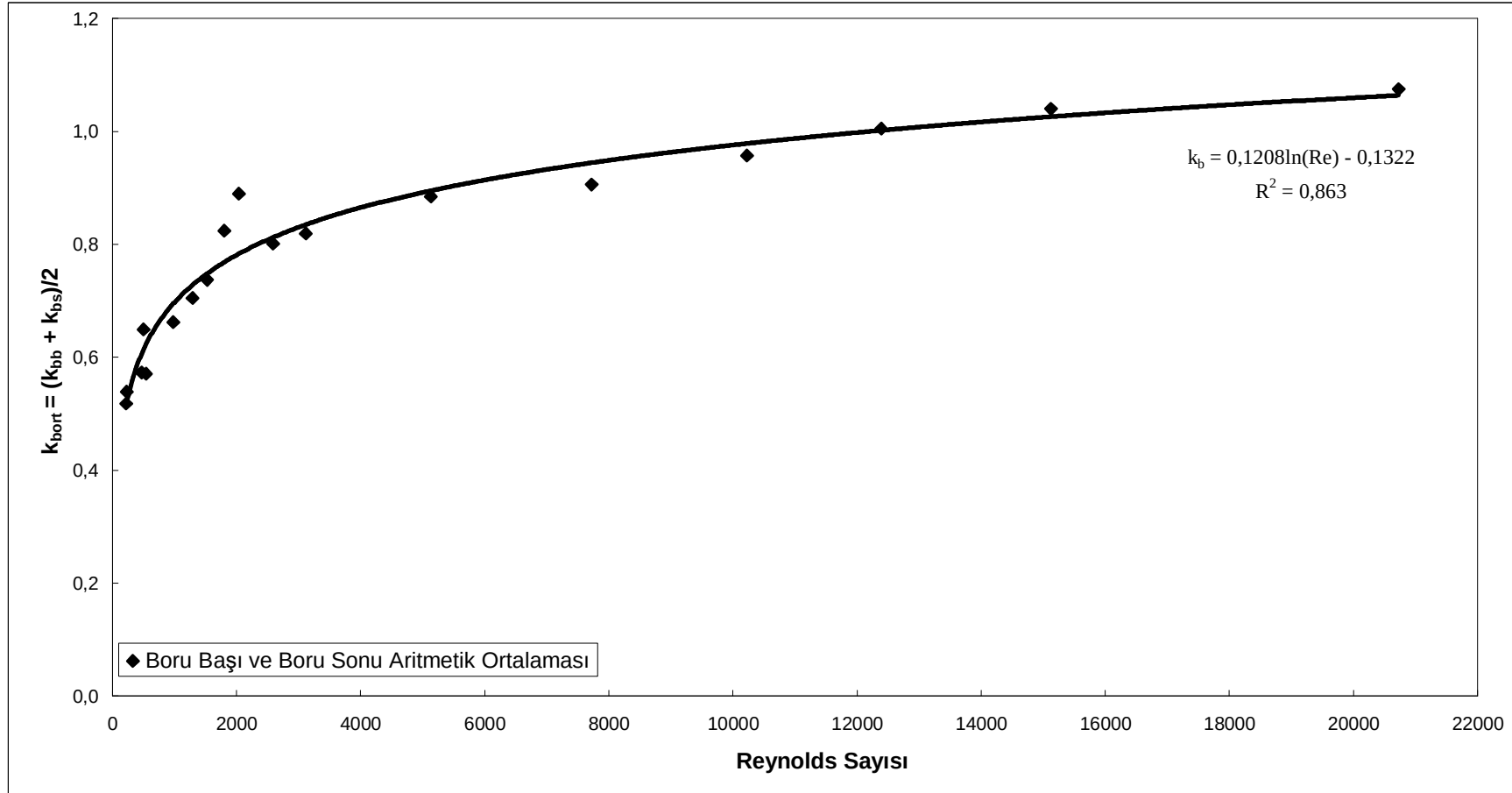
Şekil 3.47. Boru başı ve boru sonundan alınan numunelere ait k_{bb} , k_{bs} – Reynolds Sayısı grafiği ($t=20-21$ °C)

EK-3 (Devam) Klor kayıp katsayılarının tespiti için yapılan deneyler sonucunda oluşturulan grafik ve çizelgeler



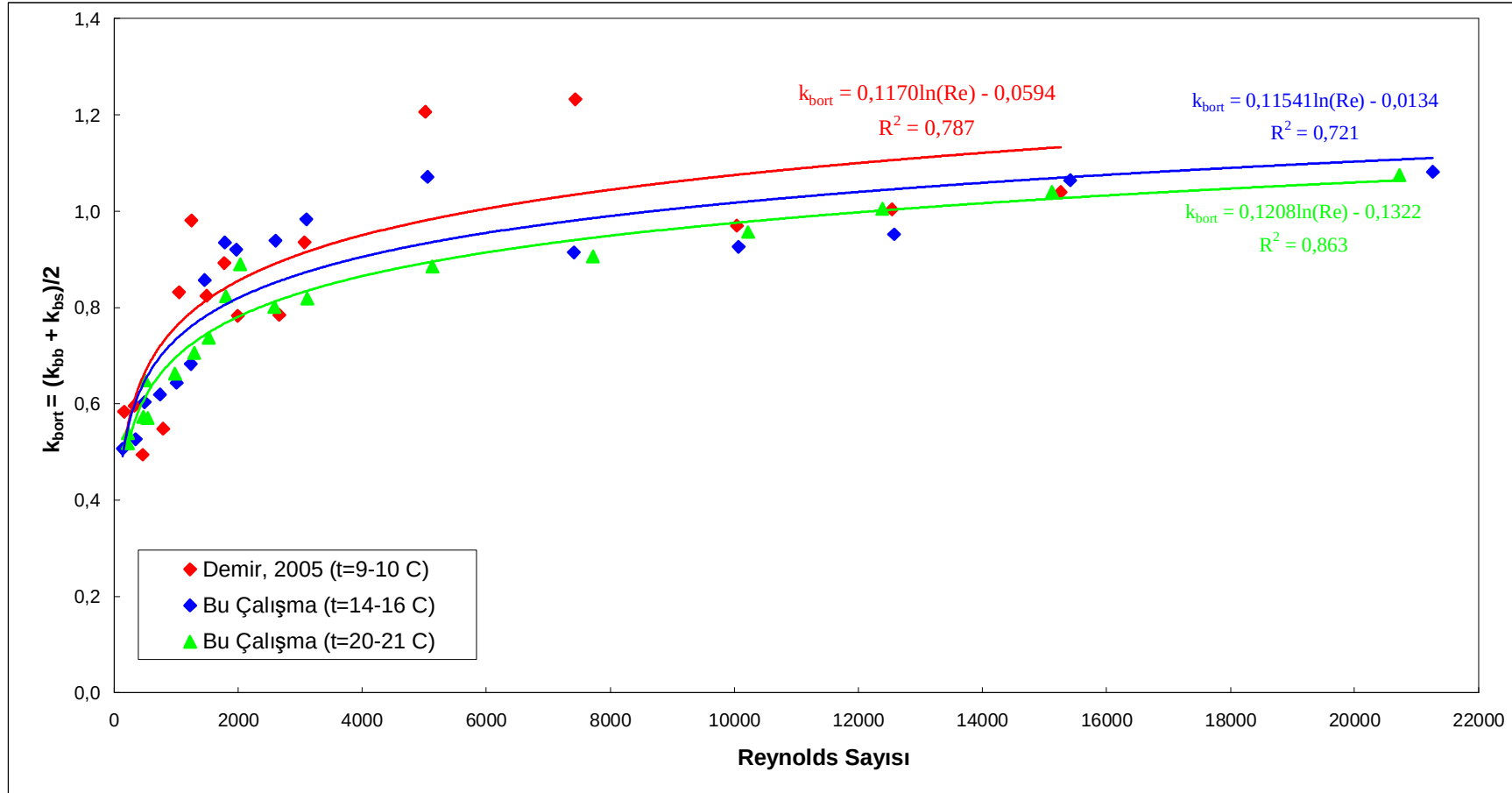
Şekil 3.48. Boru başı ve sonundan alınan numunelere ait k_{bort} – Reynolds Sayısı grafiği ($t=14-16$ °C)

EK-3 (Devam) Klor kayıp katsayılarının tespiti için yapılan deneyler sonucunda oluşturulan grafik ve çizelgeler



Şekil 3.49. Boru başı ve sonundan alınan numunelere ait k_{bort} – Reynolds Sayısı grafiği ($t=20-21$ °C)

EK-3 (Devam) Klor kayıp katsayılarının tespiti için yapılan deneyler sonucunda oluşturulan grafik ve çizelgeler



Şekil 3.50. Bu çalışma ve önceki çalışma (Demir, 2005) sonuçlarının karşılaştırıldığı k_{bort} – Reynolds Sayısı grafiği

EK-3 (Devam) Klor kayıp katsayılarının tespiti için yapılan deneyler
sonucunda oluşturulan grafik ve çizelgeler

Çizelge 3.3. Farklı Reynolds sayıları için B1-S1, B1-B2 ve S1-S2 değerleri
(t=14-16 °C)

Reynolds Sayısı (Re)	B1-S1 (mg/lt)	B1-B2 (mg/lt)	S1-S2 (mg/lt)
(1)	(2)	(3)	(4)
139	0,19	0,17	0,10
348	0,08	0,08	0,08
491	0,06	0,06	0,05
740	0,05	0,05	0,05
1008	0,04	0,03	0,03
1236	0,04	0,03	0,03
1460	0,04	0,03	0,03
1784	0,03	0,03	0,03
1971	0,02	0,03	0,03
2601	0,02	0,03	0,02
3099	0,02	0,03	0,02
5055	0,02	0,02	0,02
7414	0,01	0,01	0,01
10069	0,01	0,00	0,00
12575	0,00	0,01	0,01
15418	0,01	0,00	0,00
21264	0,00	0,00	0,00

B1 = Boru girişinden alınan ilk numune şişesindeki klor konsantrasyon değeri

B2 = Boru girişinden alınan ikinci numune şişesindeki klor konsantrasyon değeri

S1 = Boru çıkışından alınan ilk numune şişesindeki klor konsantrasyon değeri

S2 = Boru çıkışından alınan ikinci numune şişesindeki klor konsantrasyon değeri

EK-3 (Devam) Klor kayıp katsayılarının tespiti için yapılan deneyler
sonucunda oluşturulan grafik ve çizelgeler

Çizelge 3.4. Farklı Reynolds sayıları için B1-S1, B1-B2 ve S1-S2 değerleri
(t=20-21 °C)

Reynolds Sayısı (Re)	B1-S1 (mg/lt)	B1-B2 (mg/lt)	S1-S2 (mg/lt)
(1)	(2)	(3)	(4)
222	0,12	0,07	0,05
228	0,12	0,08	0,07
469	0,09	0,07	0,06
543	0,08	0,06	0,05
747	0,06	0,06	0,05
980	0,03	0,04	0,04
1291	0,02	0,06	0,05
1528	0,01	0,05	0,04
1803	0,01	0,04	0,04
2034	0,00	0,03	0,04
2585	0,01	0,04	0,04
3114	0,00	0,03	0,03
5133	0,00	0,02	0,02
7722	0,00	0,01	0,01
10224	0,01	0,01	0,01
12387	0,00	0,00	0,01
15123	0,00	0,00	0,00
20726	0,00	0,00	0,00

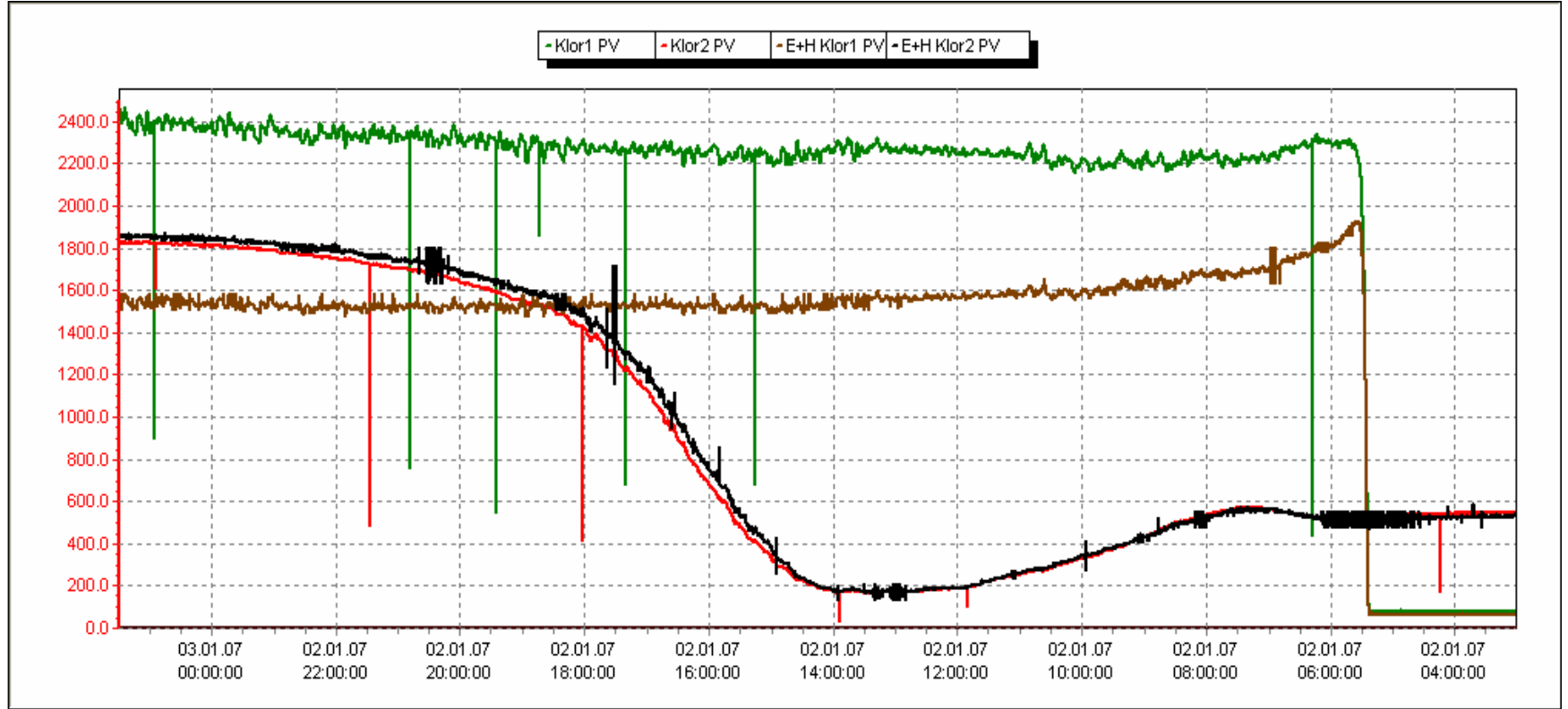
B1 = Boru girişinden alınan ilk numune şişesindeki klor konsantrasyon değeri

B2 = Boru girişinden alınan ikinci numune şişesindeki klor konsantrasyon değeri

S1 = Boru çıkışından alınan ilk numune şişesindeki klor konsantrasyon değeri

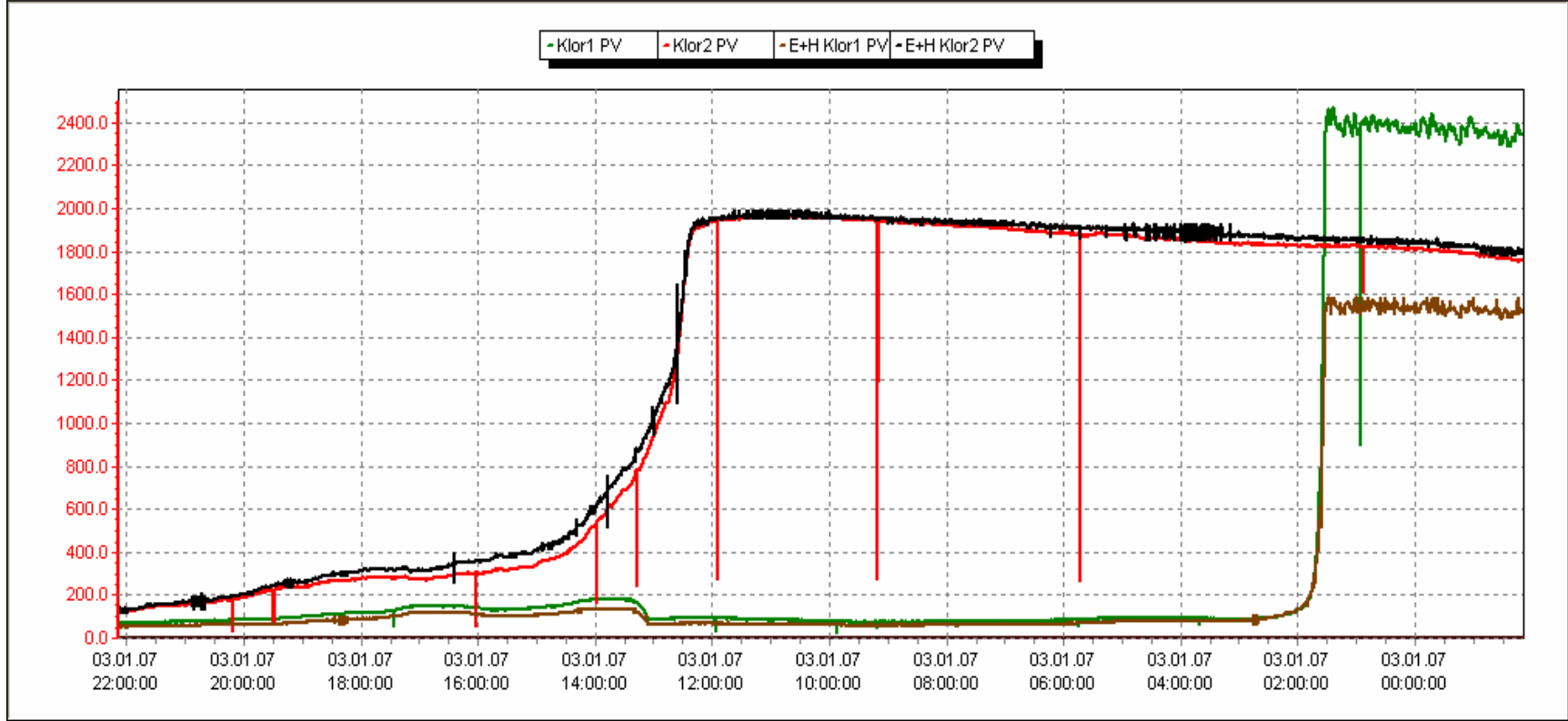
S2 = Boru çıkışından alınan ikinci numune şişesindeki klor konsantrasyon değeri

EK-4 Klor ve flor difüzyon katsayılarının tespiti için yapılan deney görüntüleri



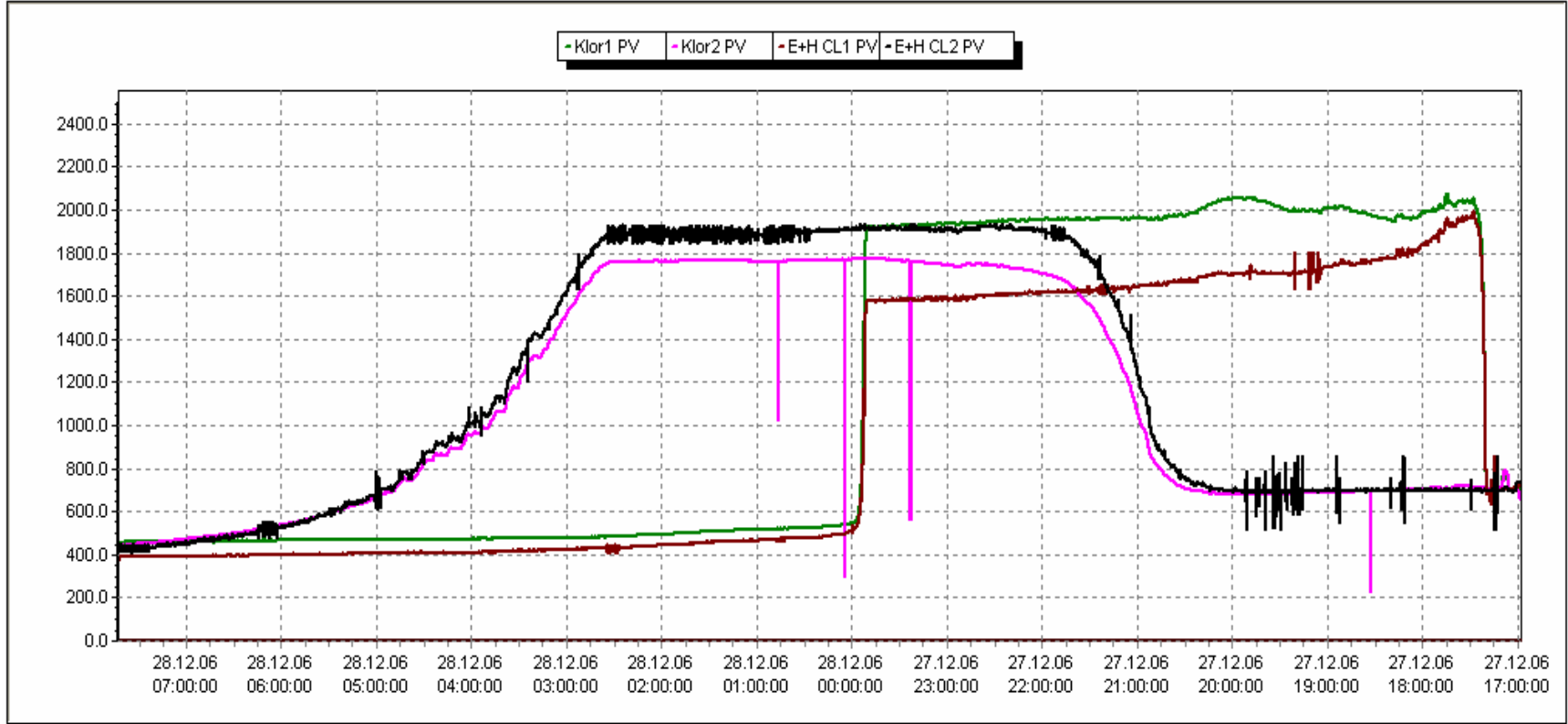
Şekil 4.1.a. $Re=198$ için klor enjeksiyonu sonucu boru başı ve boru sonu klor artışını veren grafik

EK-4 (Devam) Klor ve flor difüzyon katsayılarının tespiti için yapılan deney görüntüleri



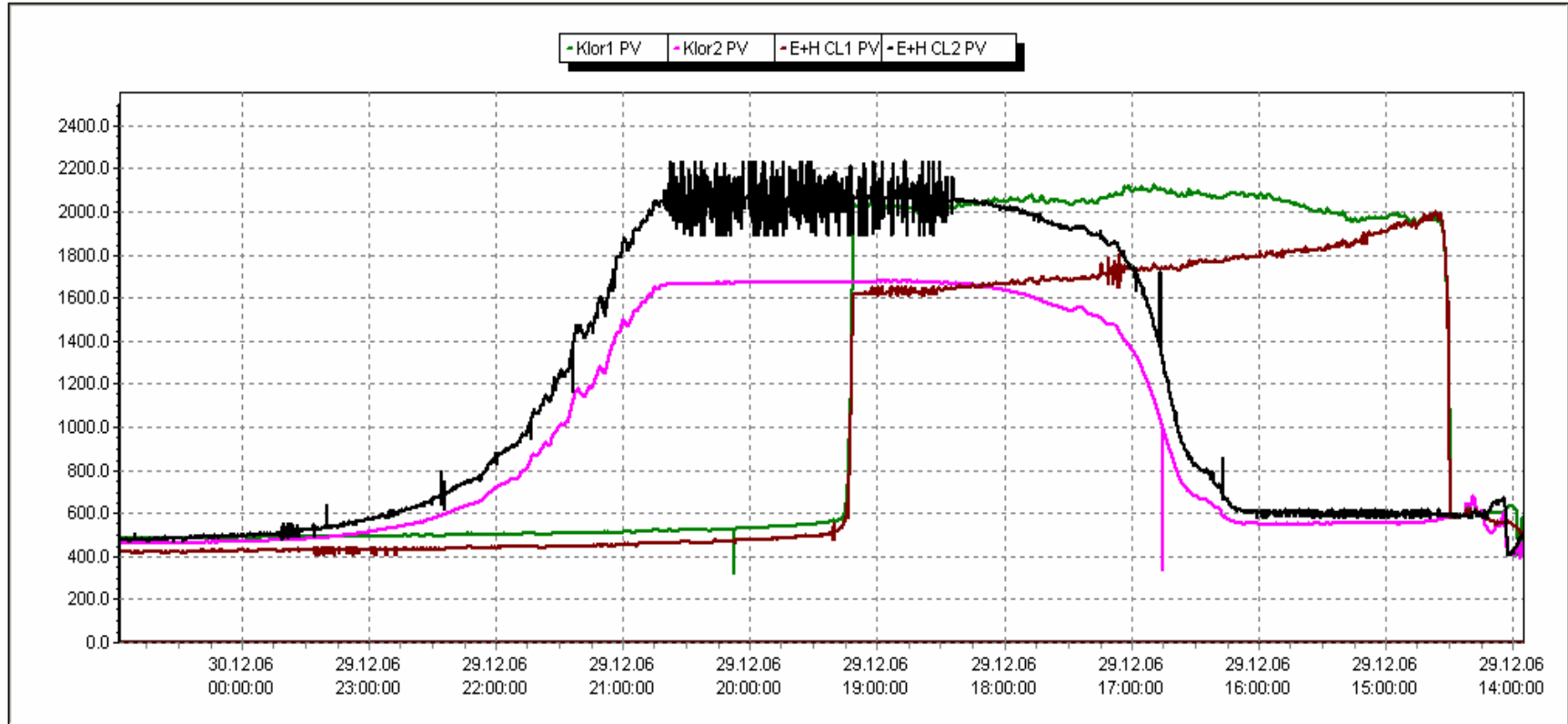
Şekil 4.1.b. Re=198 için klor enjeksiyonunun kesilmesi sonucu boru başı ve boru sonu klor azalışını veren grafik

EK-4 (Devam) Klor ve flor difüzyon katsayılarının tespiti için yapılan deney görüntüleri



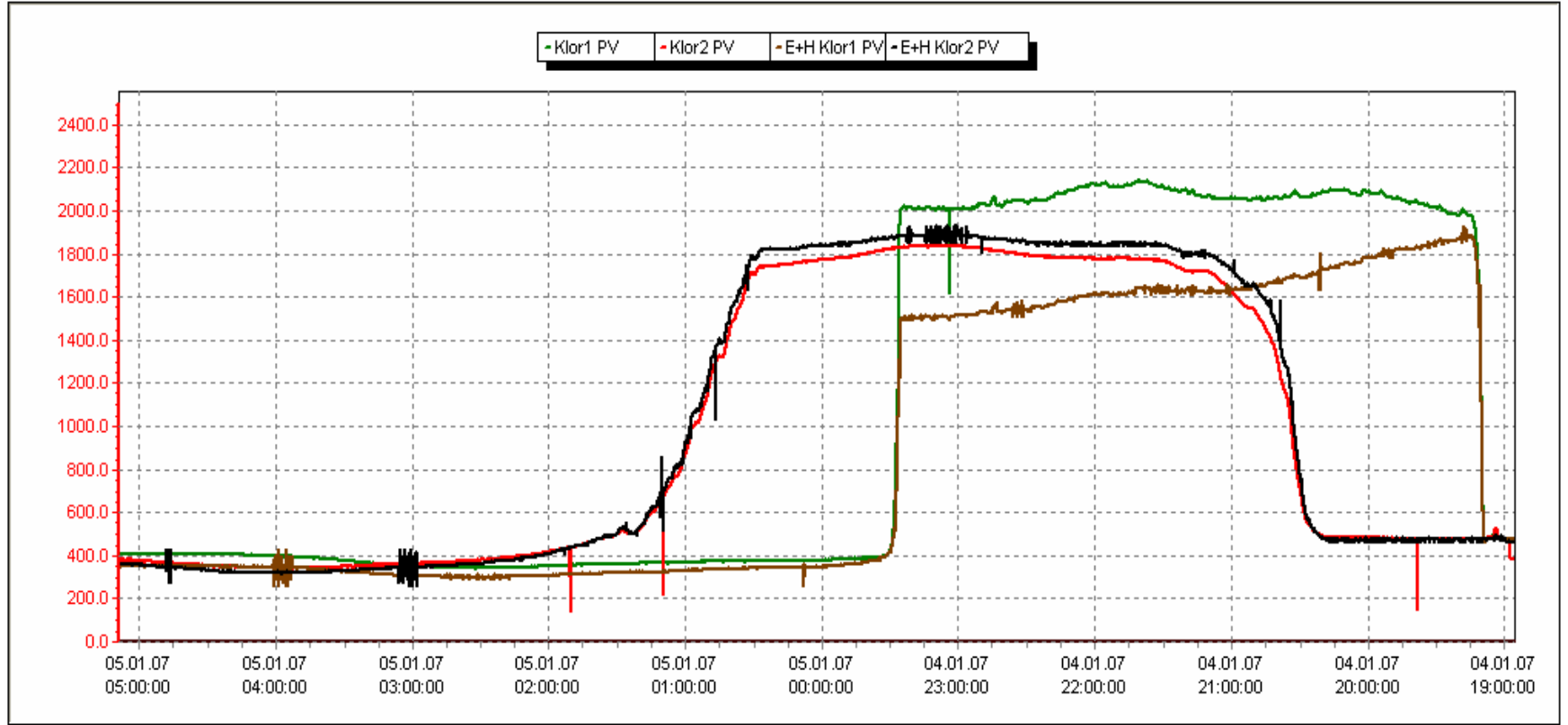
Şekil 4.2. Re=532 için klor enjeksiyonu sonucu boru başı ve boru sonu klor değişimini veren grafik

EK-4 (Devam) Klor ve flor difüzyon katsayılarının tespiti için yapılan deney görüntüleri



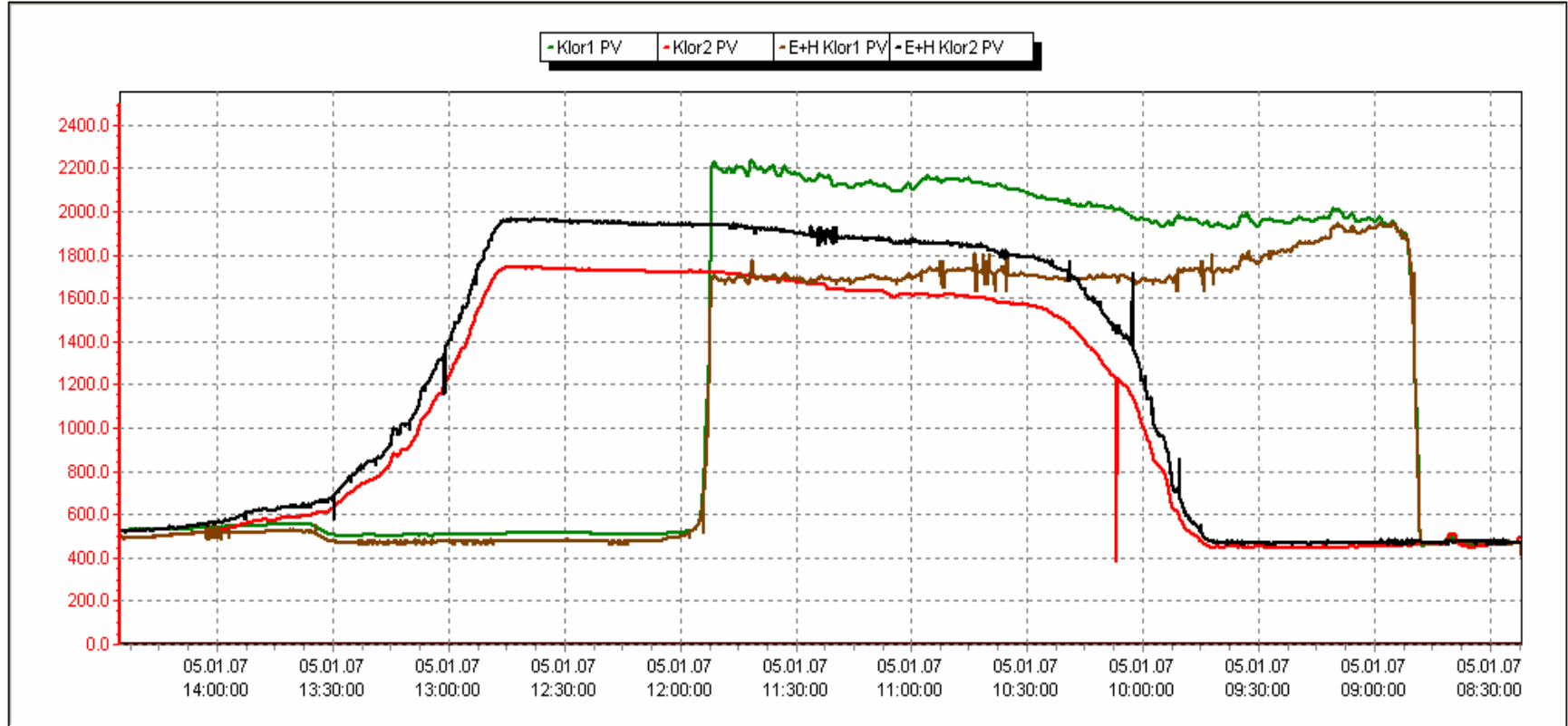
Şekil 4.3. Re=989 için klor enjeksiyonu sonucu boru başı ve boru sonu klor değişimini veren grafik

EK-4 (Devam) Klor ve flor difüzyon katsayılarının tespiti için yapılan deney görüntüleri



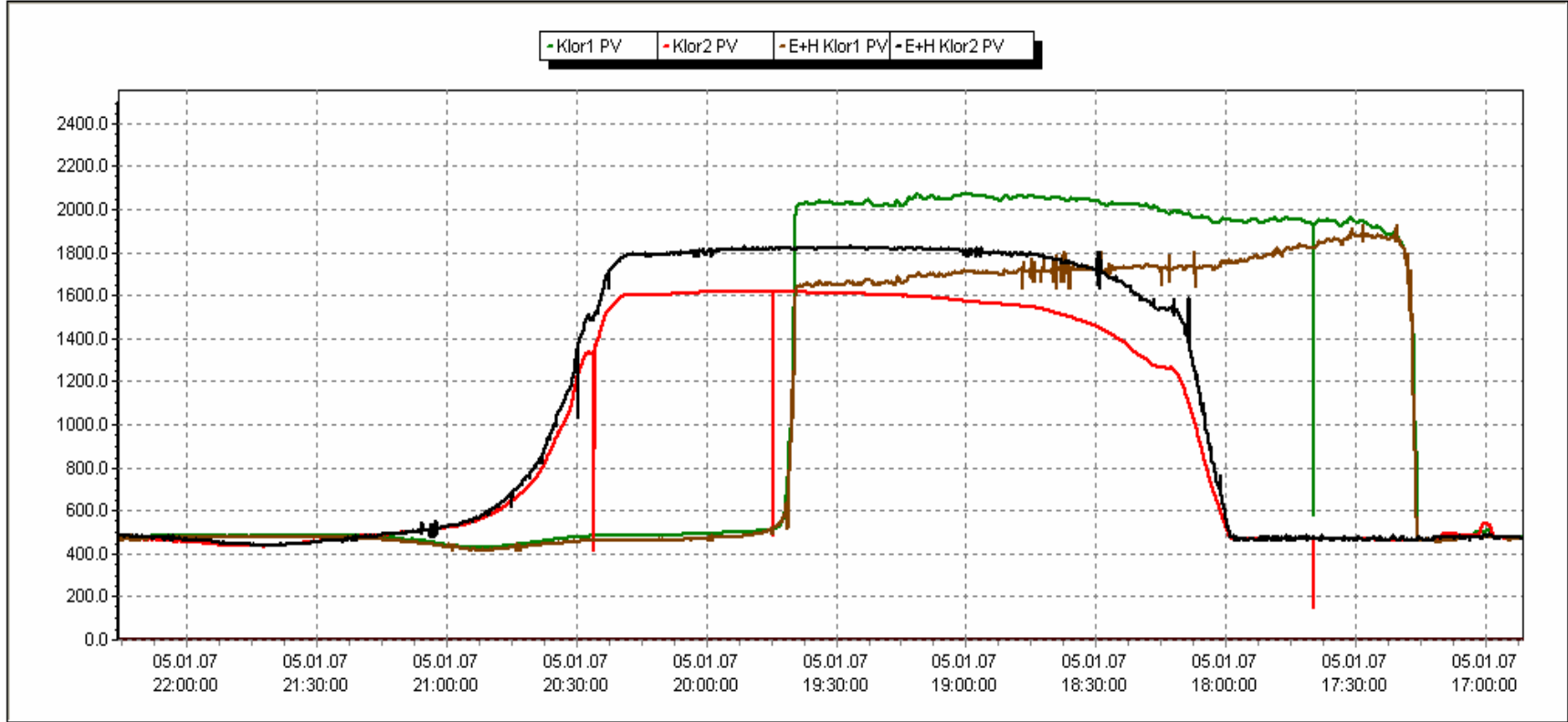
Şekil 4.4. Re=1513 için klor enjeksiyonu sonucu boru başı ve boru sonu klor değişimini veren grafik

EK-4 (Devam) Klor ve flor difüzyon katsayılarının tespiti için yapılan deney görüntüleri



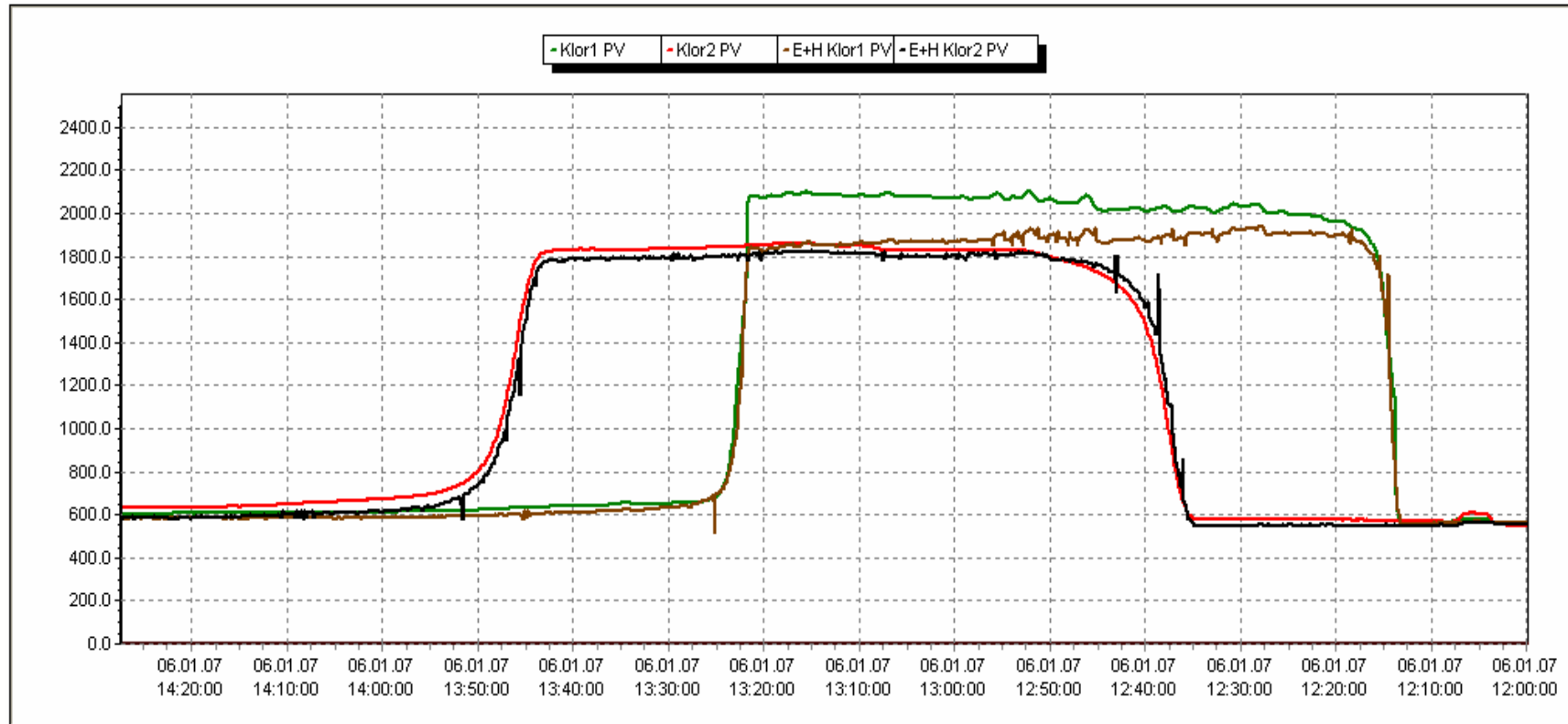
Şekil 4.5. Re=1960 için klor enjeksiyonu sonucu boru başı ve boru sonu klor değişimini veren grafik

EK-4 (Devam) Klor ve flor difüzyon katsayılarının tespiti için yapılan deney görüntüleri



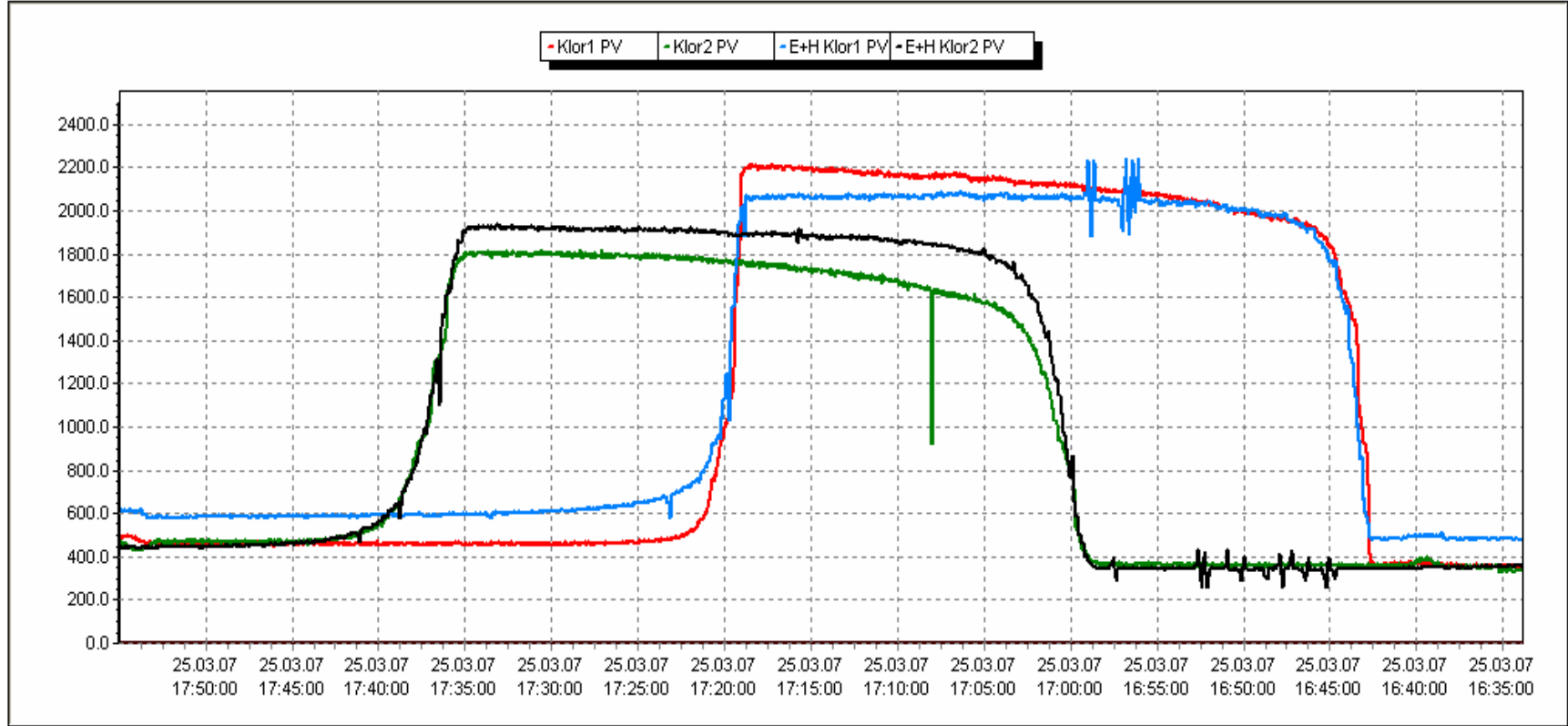
Şekil 4.6. $Re=2477$ için klor enjeksiyonu sonucu boru başı ve boru sonu klor değişimini veren grafik

EK-4 (Devam) Klor ve flor difüzyon katsayılarının tespiti için yapılan deney görüntüleri



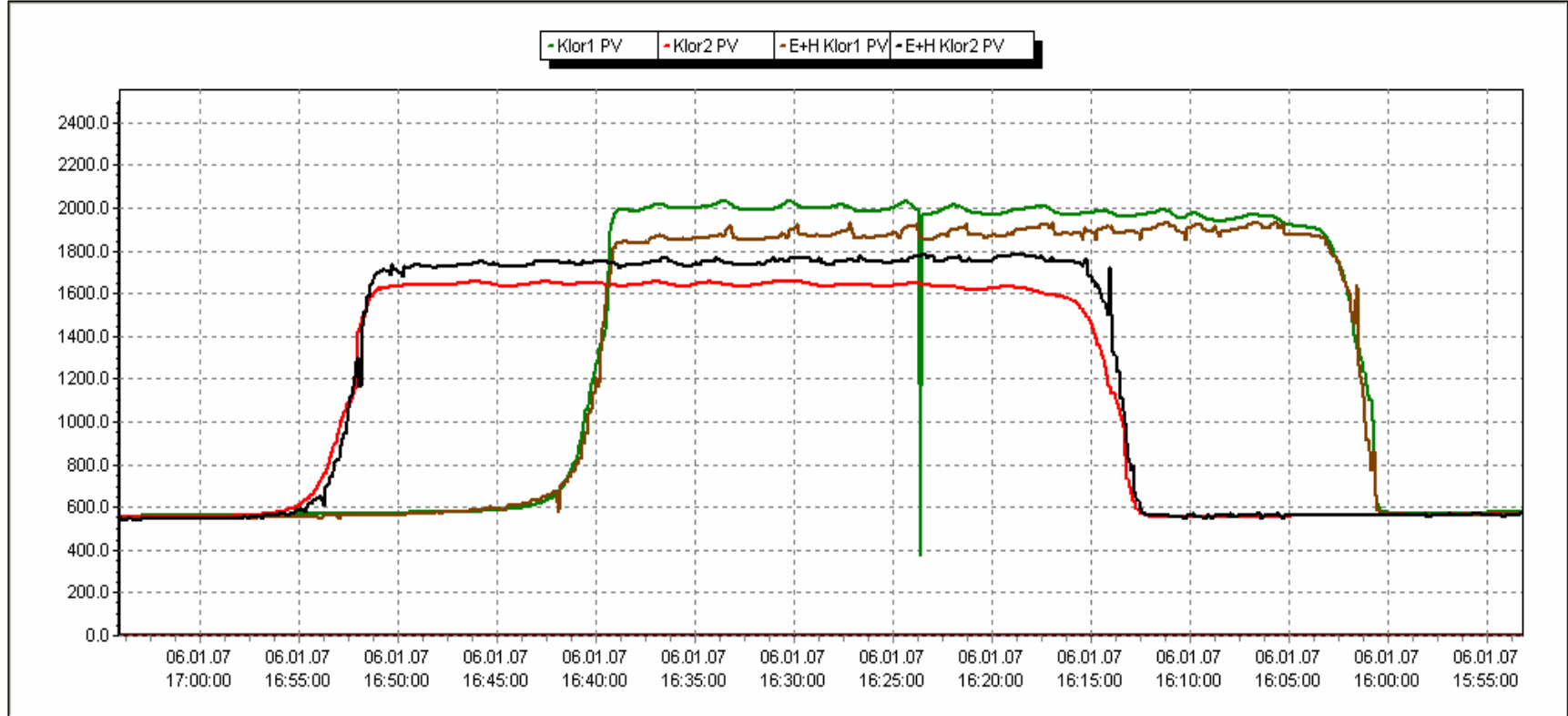
Şekil 4.7. Re=5241 için klor enjeksiyonu sonucu boru başı ve boru sonu klor değişimini veren grafik

EK-4 (Devam) Klor ve flor difüzyon katsayılarının tespiti için yapılan deney görüntüleri



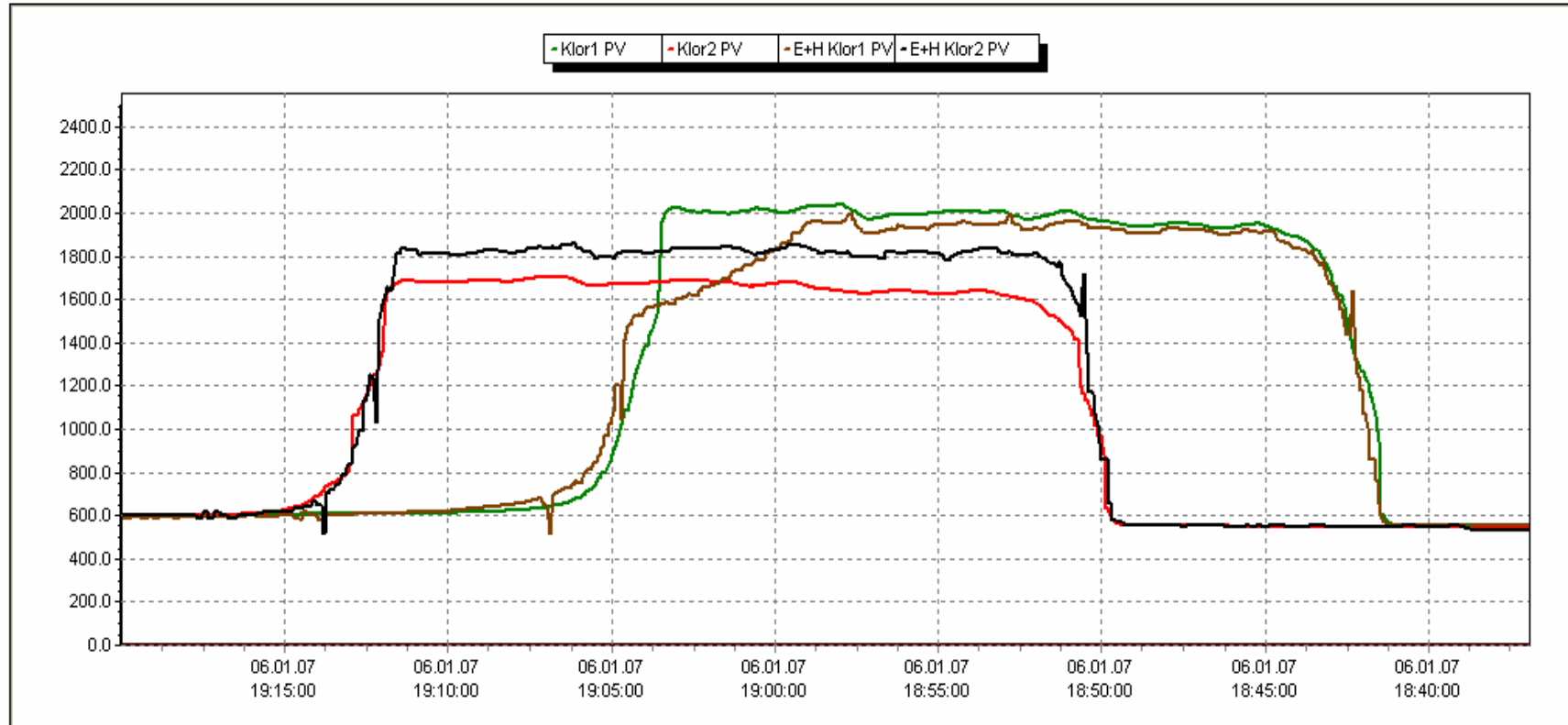
Şekil 4.8. Re=7688 için klor enjeksiyonu sonucu boru başı ve boru sonu klor değişimini veren grafik

EK-4 (Devam) Klor ve flor difüzyon katsayılarının tespiti için yapılan deney görüntüleri



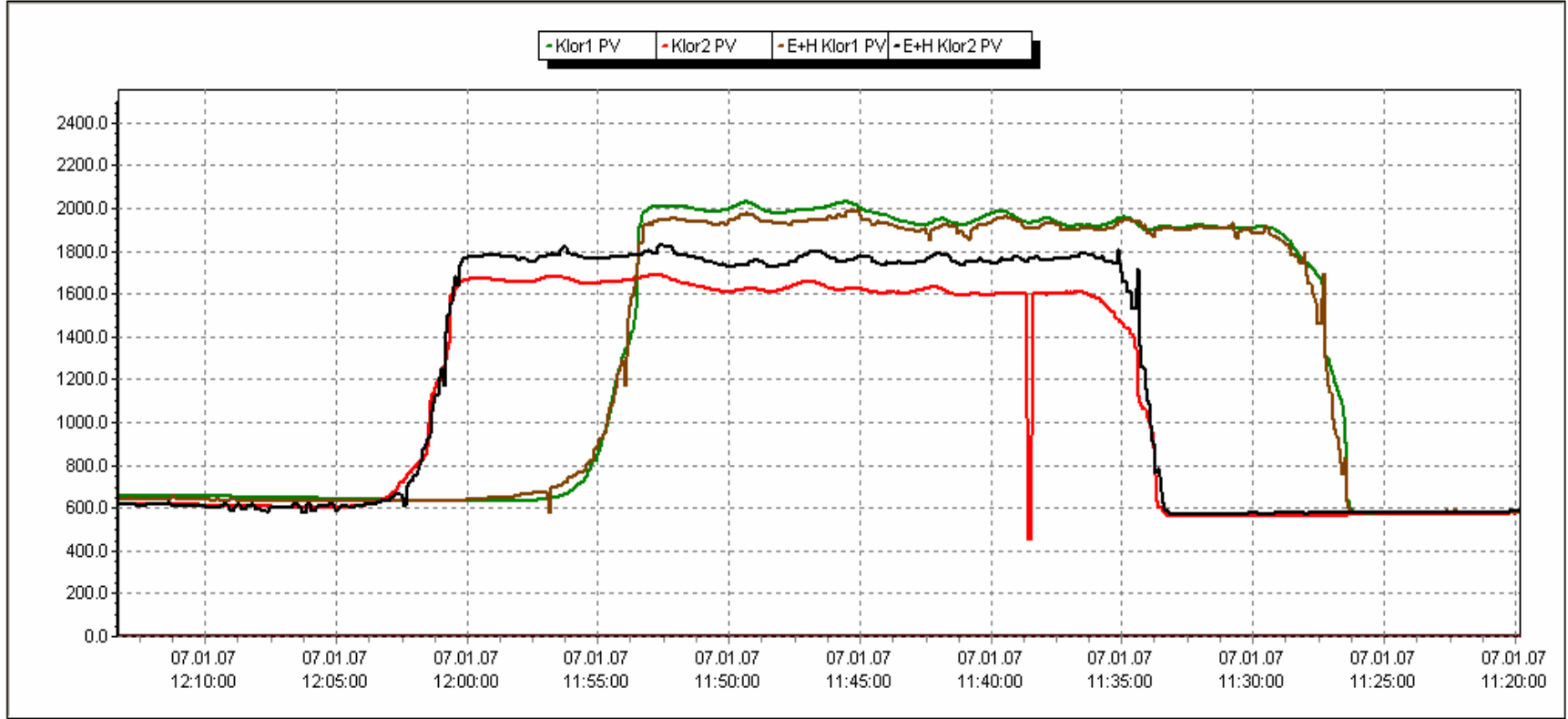
Şekil 4.9. $Re=10339$ için klor enjeksiyonu sonucu boru başı ve boru sonu klor değişimini veren grafik

EK-4 (Devam) Klor ve flor difüzyon katsayılarının tespiti için yapılan deney görüntüleri



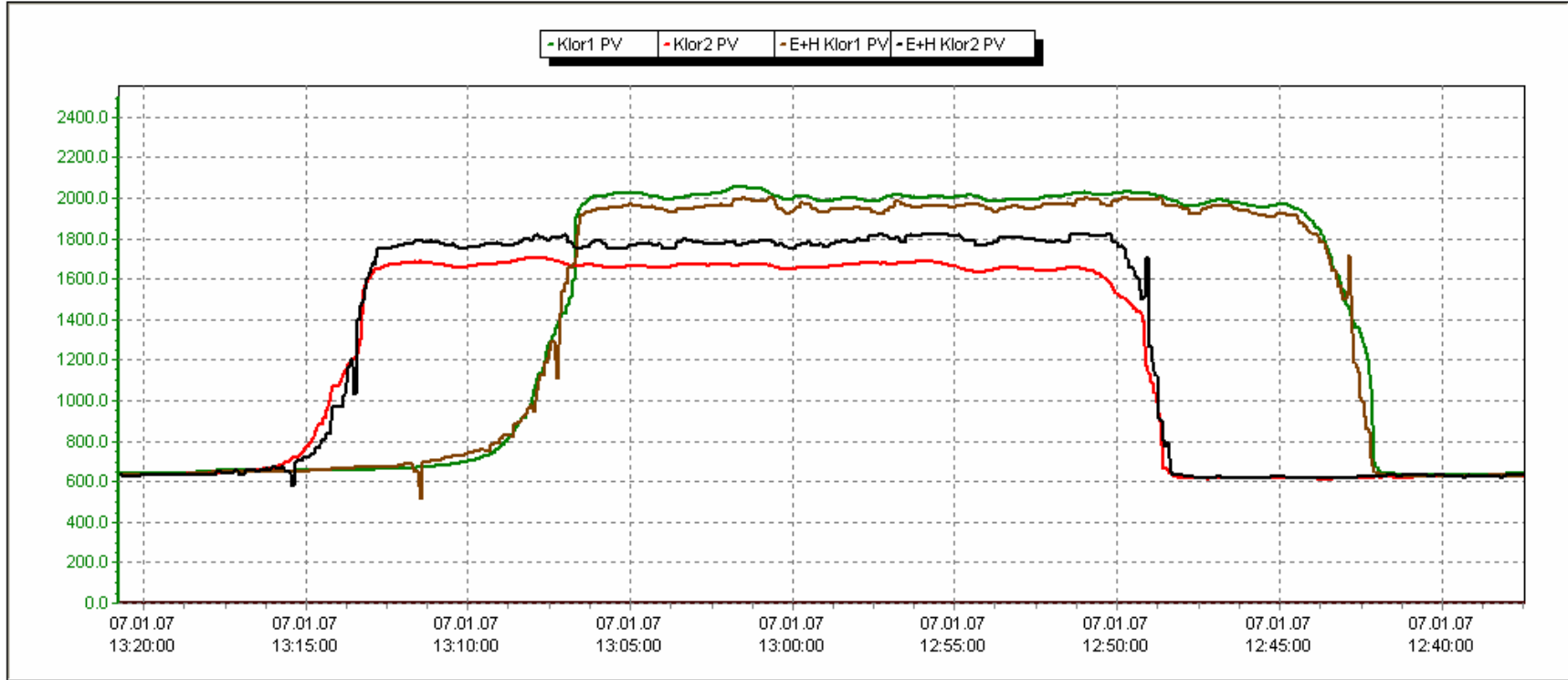
Şekil 4.10. Re=15095 için klor enjeksiyonu sonucu boru başı ve boru sonu klor değişimini veren grafik

EK-4 (Devam) Klor ve flor difüzyon katsayılarının tespiti için yapılan deney görüntüleri



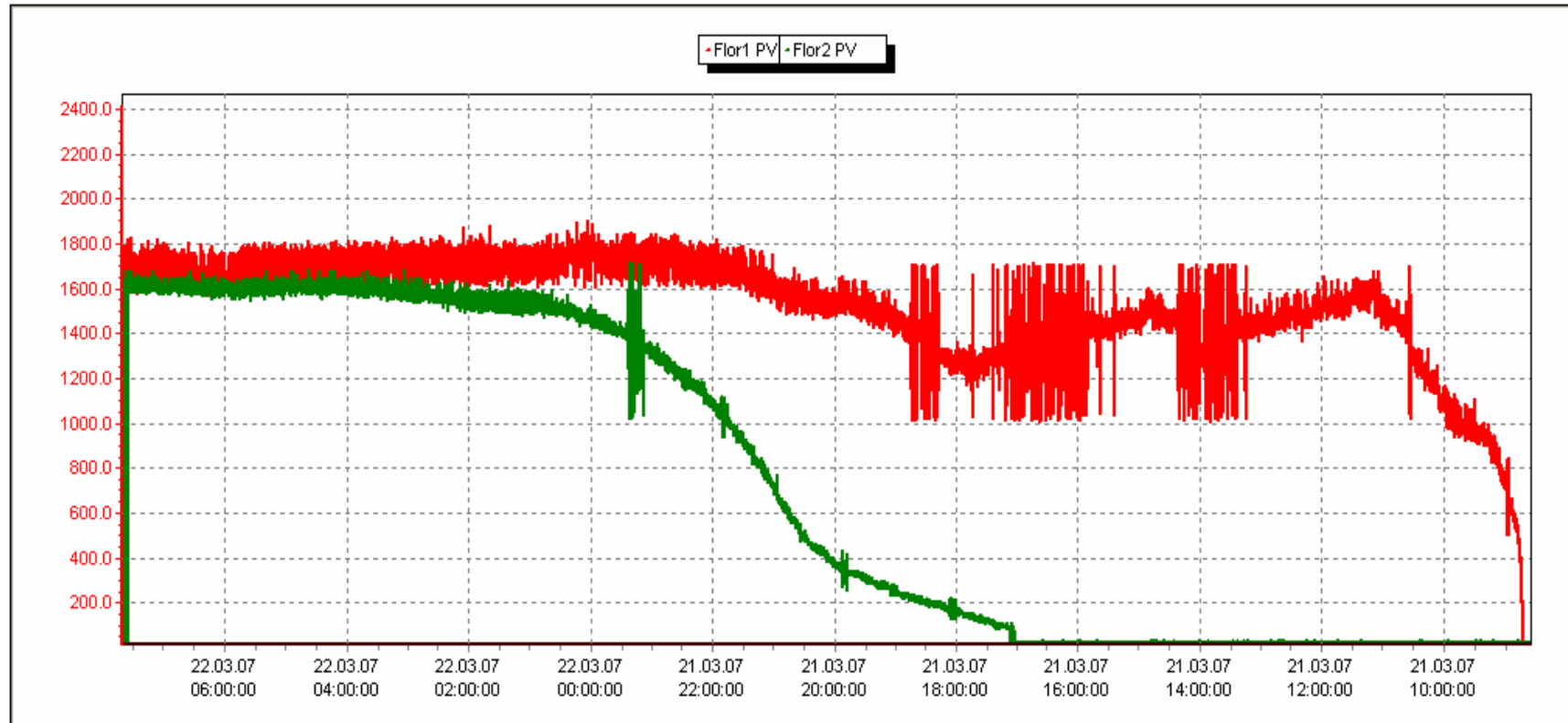
Şekil 4.11. $Re=17669$ için klor enjeksiyonu sonucu boru başı ve boru sonu klor değişimini veren grafik

EK-4 (Devam) Klor ve flor difüzyon katsayılarının tespiti için yapılan deney görüntüleri



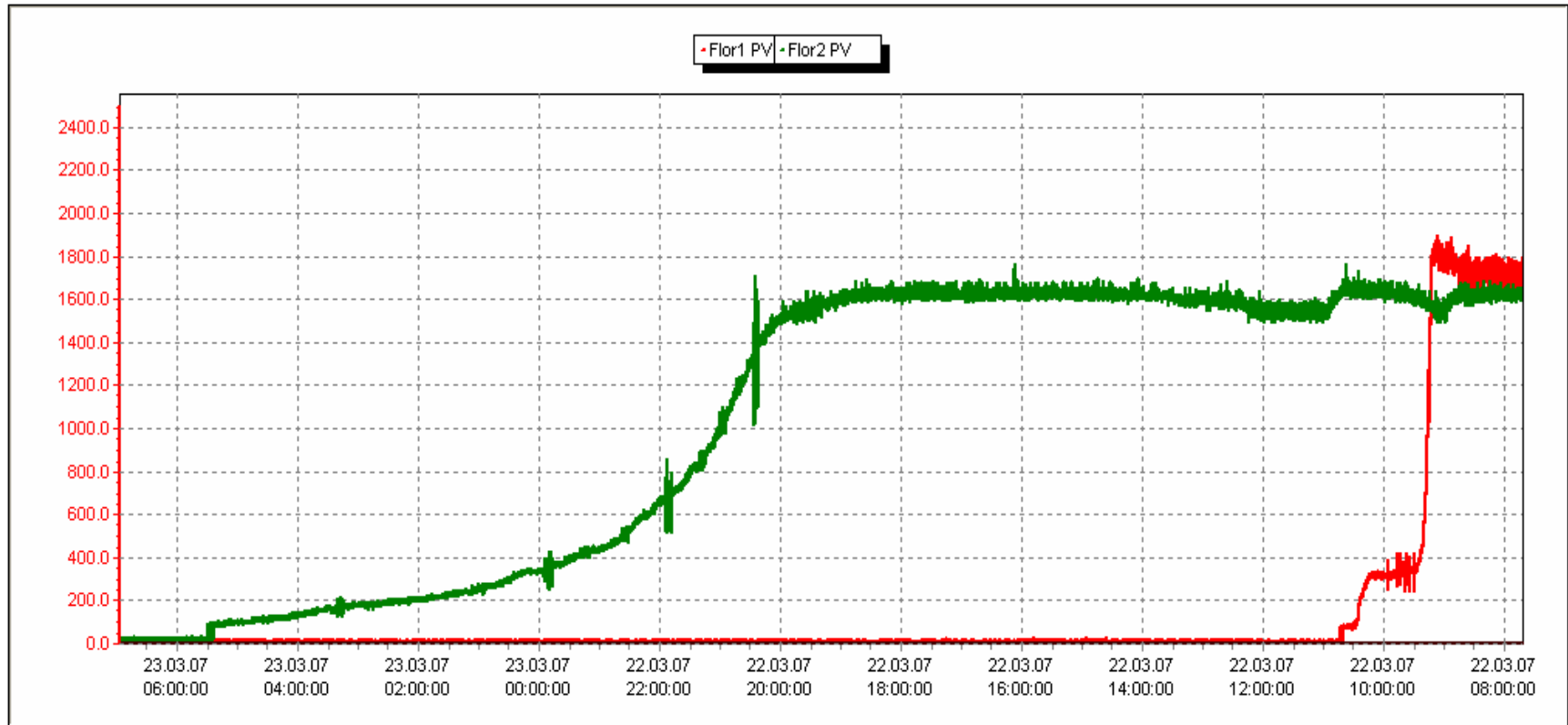
Şekil 4.12. Re=20254 için klor enjeksiyonu sonucu boru başı ve boru sonu klor değişimini veren grafik

EK-4 (Devam) Klor ve flor difüzyon katsayılarının tespiti için yapılan deney görüntüleri



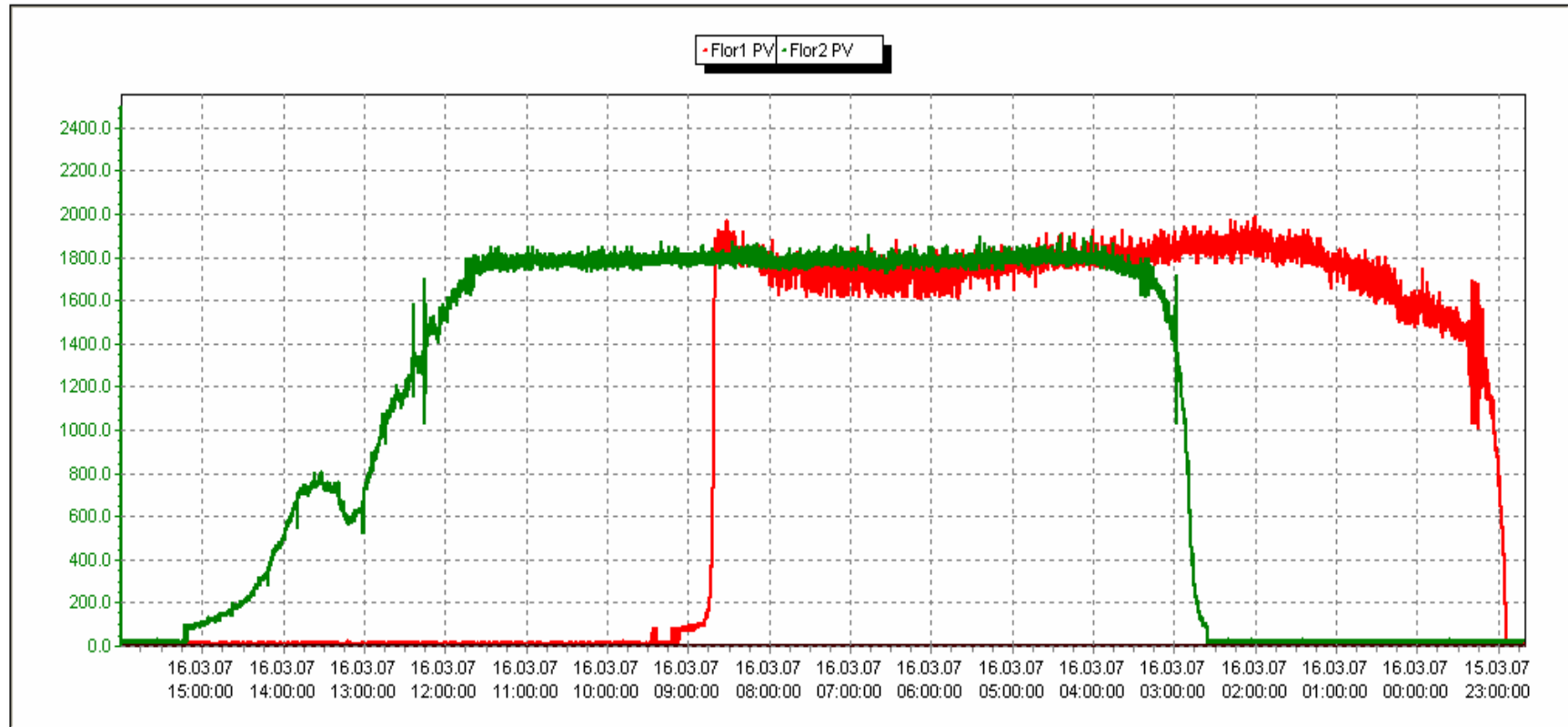
Şekil 4.13.a. Re=188 için flor enjeksiyonu sonucu boru başı ve boru sonu flor artışını veren grafik

EK-4 (Devam) Klor ve flor difüzyon katsayılarının tespiti için yapılan deney görüntüleri



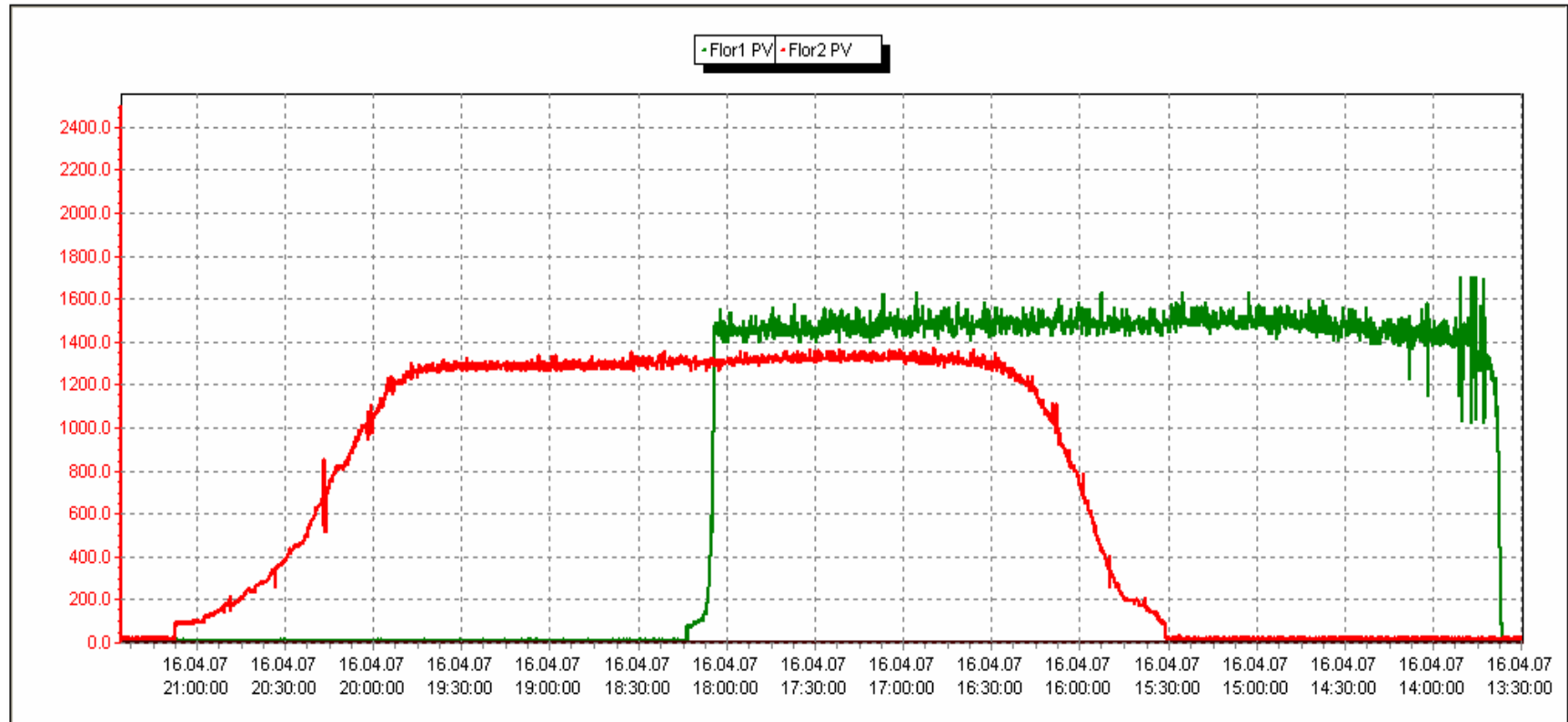
Şekil 4.13.b. Re=188 için flor enjeksiyonunun kesilmesi sonucu boru başı ve boru sonu flor azalışını veren grafik

EK-4 (Devam) Klor ve flor difüzyon katsayılarının tespiti için yapılan deney görüntüleri



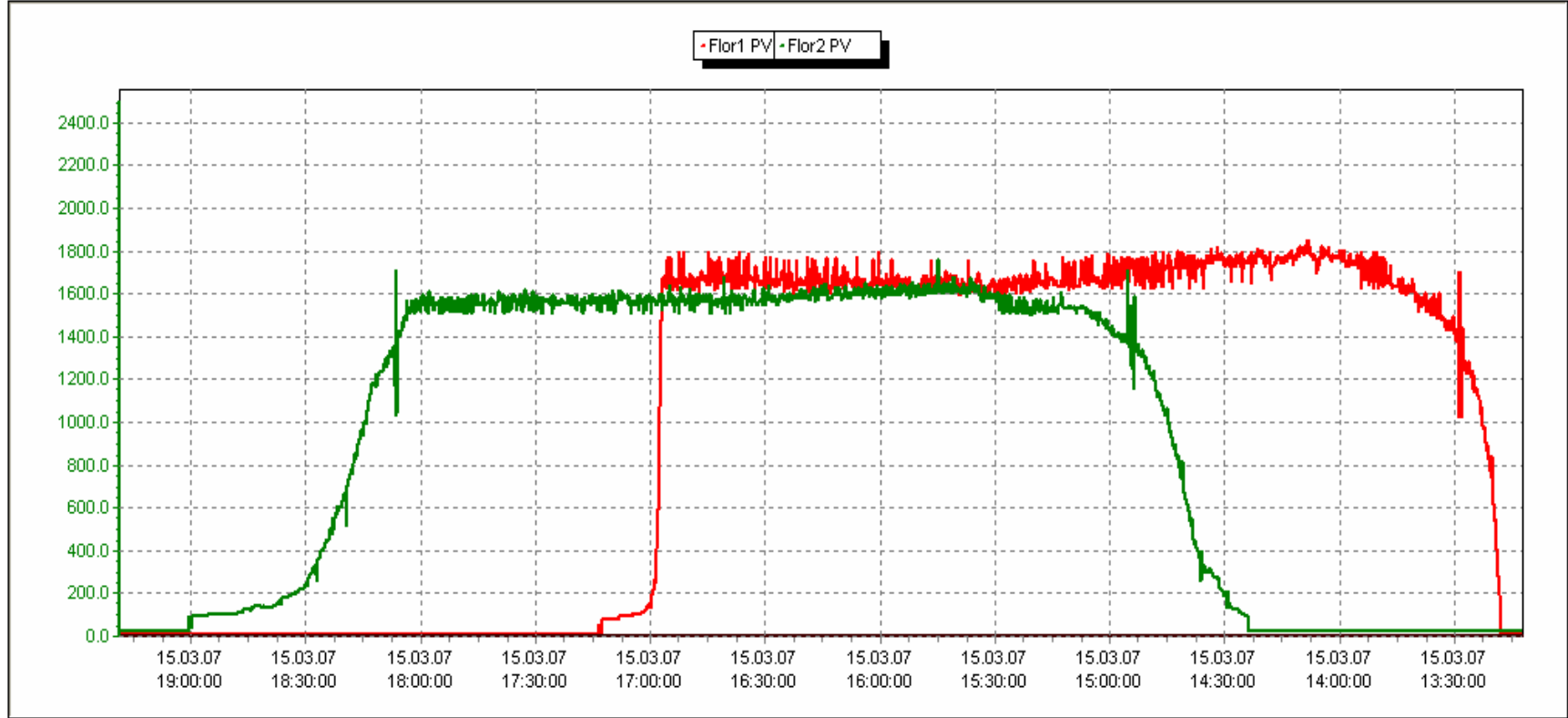
Şekil 4.14. $Re=583$ için flor enjeksiyonu sonucu boru başı ve boru sonu flor değişimini veren grafik

EK-4 (Devam) Klor ve flor difüzyon katsayılarının tespiti için yapılan deney görüntüleri



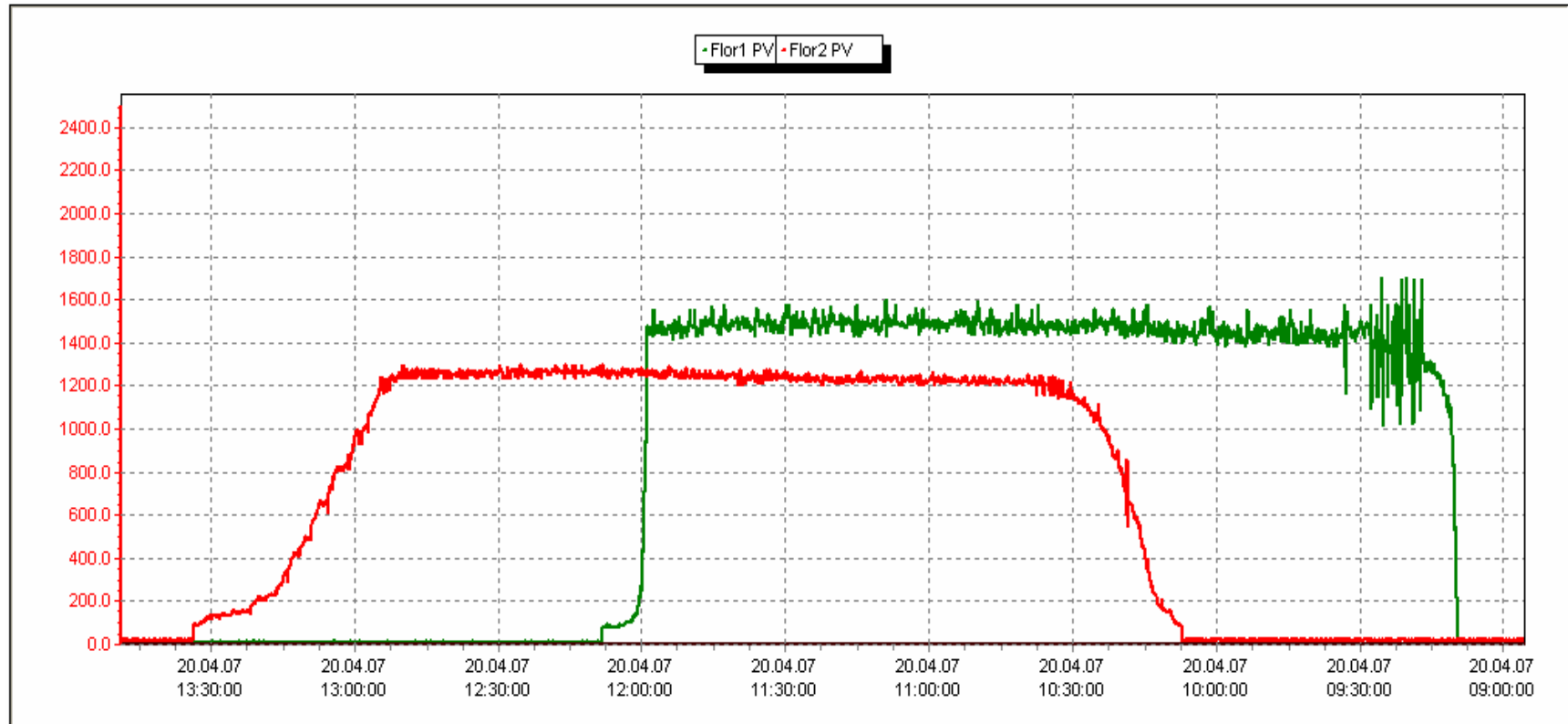
Şekil 4.15. $Re=984$ için flor enjeksiyonu sonucu boru başı ve boru sonu flor değişimini veren grafik

EK-4 (Devam) Klor ve flor difüzyon katsayılarının tespiti için yapılan deney görüntüleri



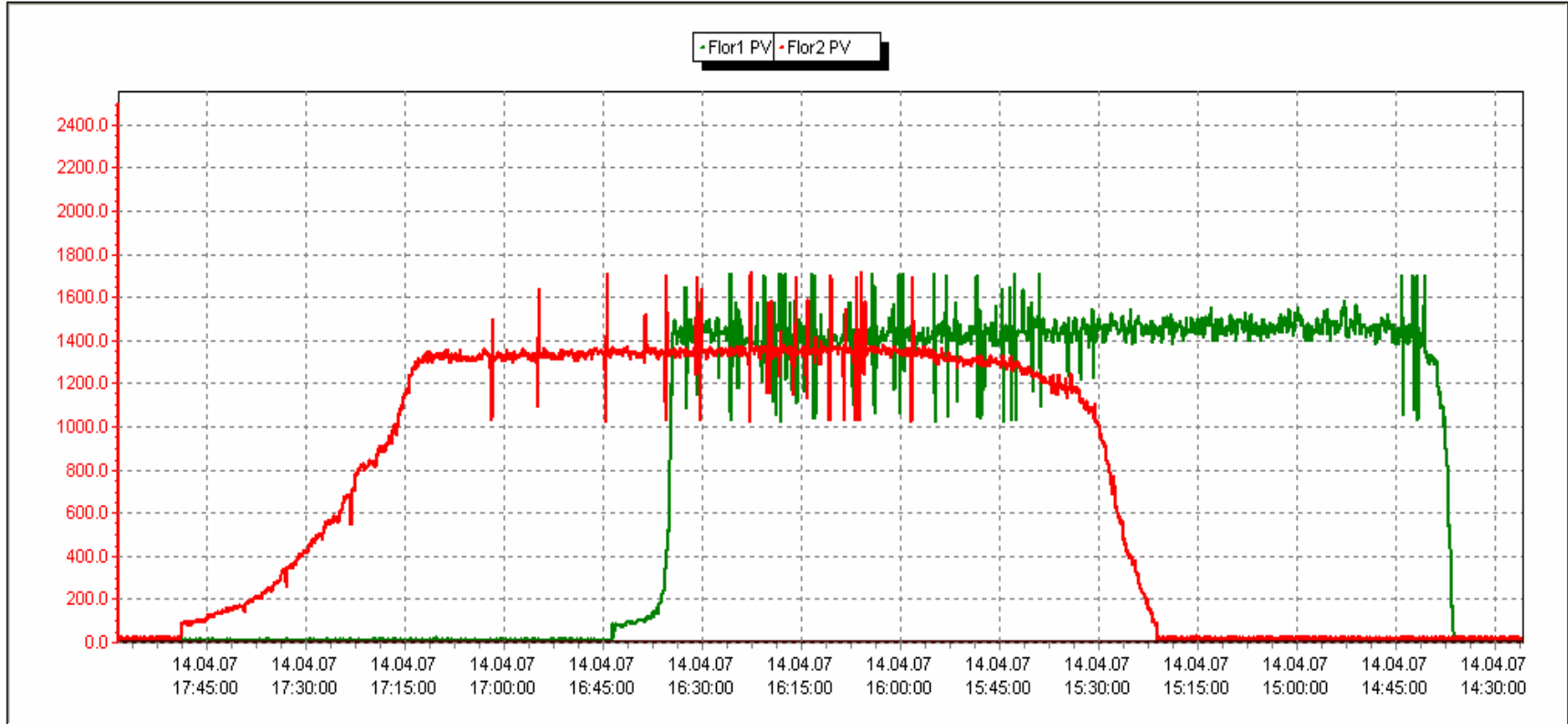
Şekil 4.16. $Re=1565$ için flor enjeksiyonu sonucu boru başı ve boru sonu flor değişimini veren grafik

EK-4 (Devam) Klor ve flor difüzyon katsayılarının tespiti için yapılan deney görüntüleri



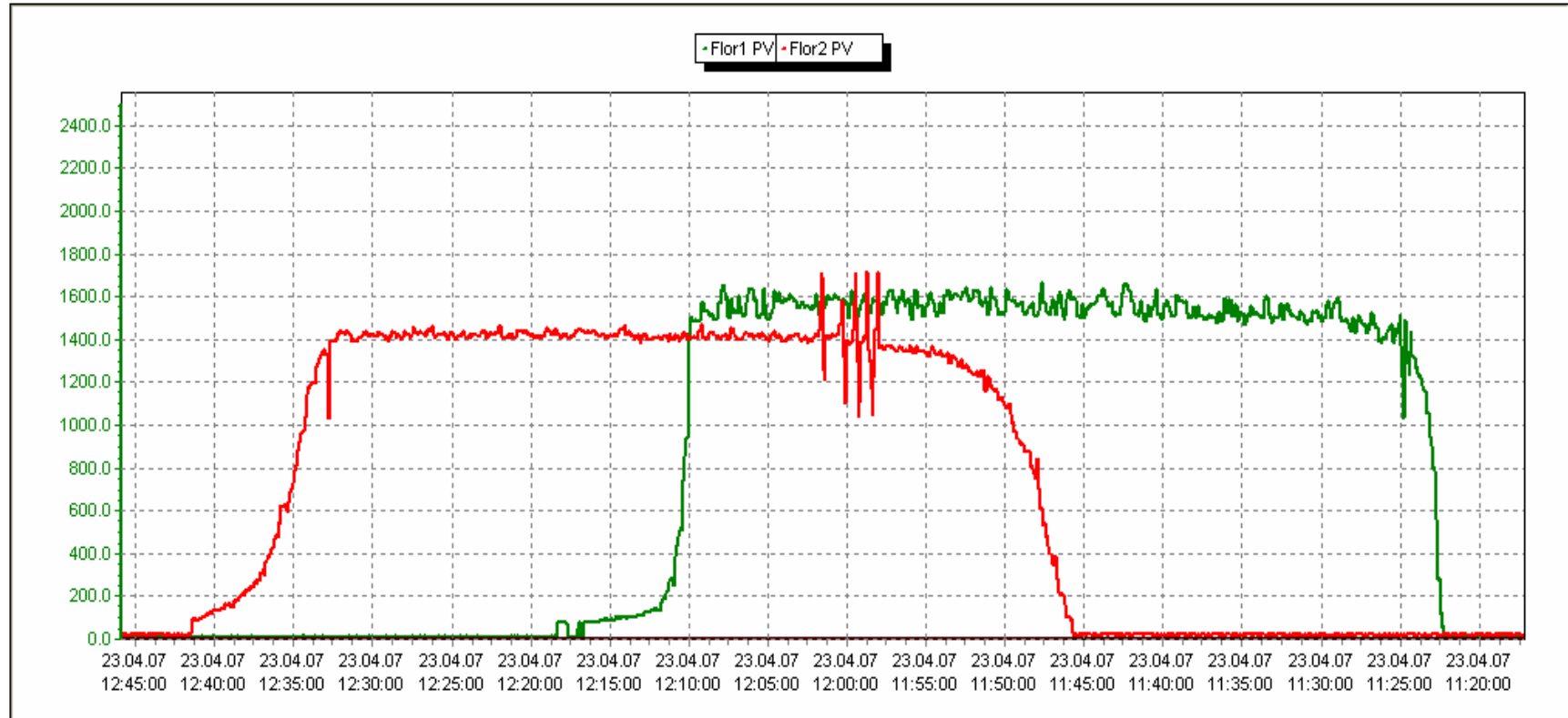
Şekil 4.17. $Re=2046$ için flor enjeksiyonu sonucu boru başı ve boru sonu flor değişimini veren grafik

EK-4 (Devam) Klor ve flor difüzyon katsayılarının tespiti için yapılan deney görüntüleri



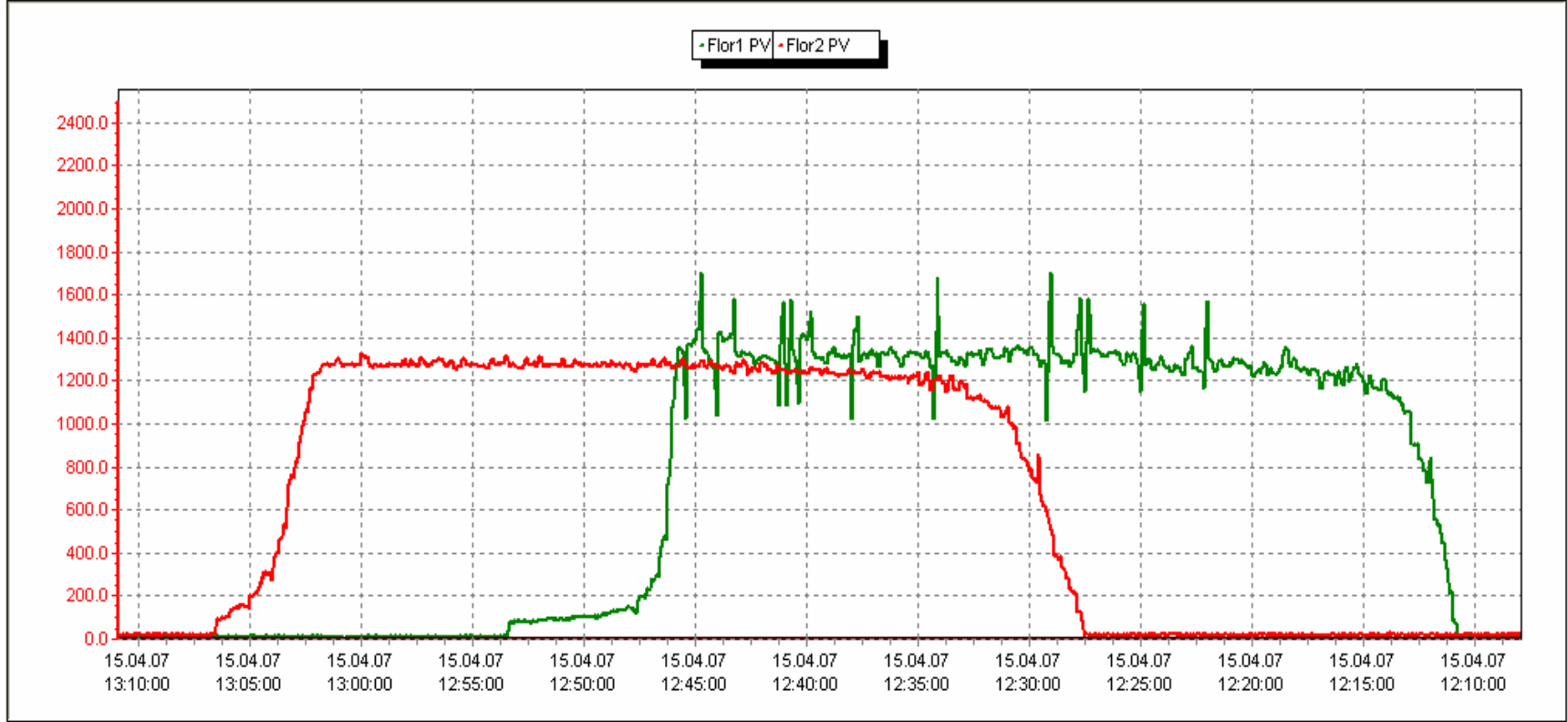
Şekil 4.18. $Re=2522$ için flor enjeksiyonu sonucu boru başı ve boru sonu flor değişimini veren grafik

EK-4 (Devam) Klor ve flor difüzyon katsayılarının tespiti için yapılan deney görüntüleri



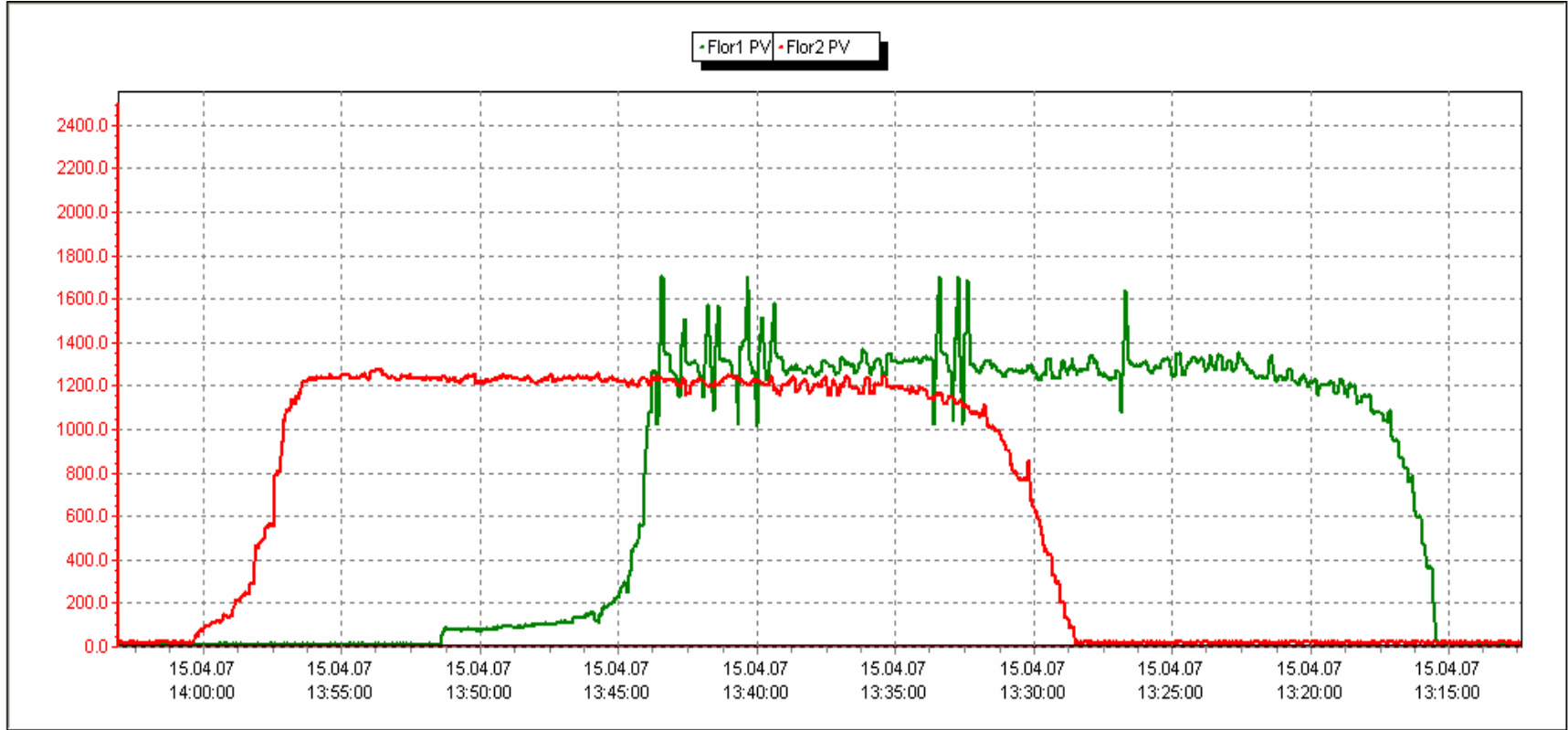
Şekil 4.19. $Re=5052$ için flor enjeksiyonu sonucu boru başı ve boru sonu flor değişimini veren grafik

EK-4 (Devam) Klor ve flor difüzyon katsayılarının tespiti için yapılan deney görüntüleri



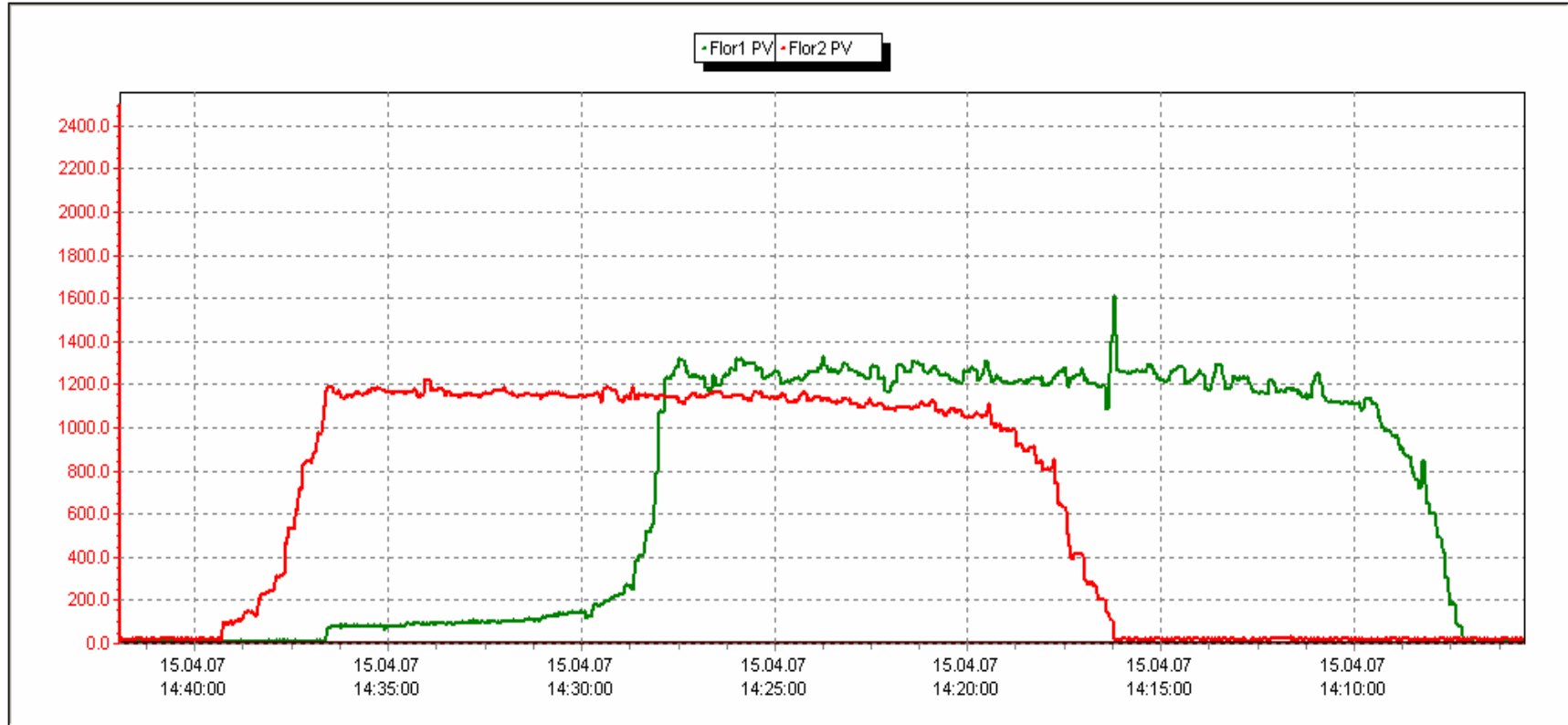
Şekil 4.20. $Re=7633$ için flor enjeksiyonu sonucu boru başı ve boru sonu flor değişimini veren grafik

EK-4 (Devam) Klor ve flor difüzyon katsayılarının tespiti için yapılan deney görüntüleri



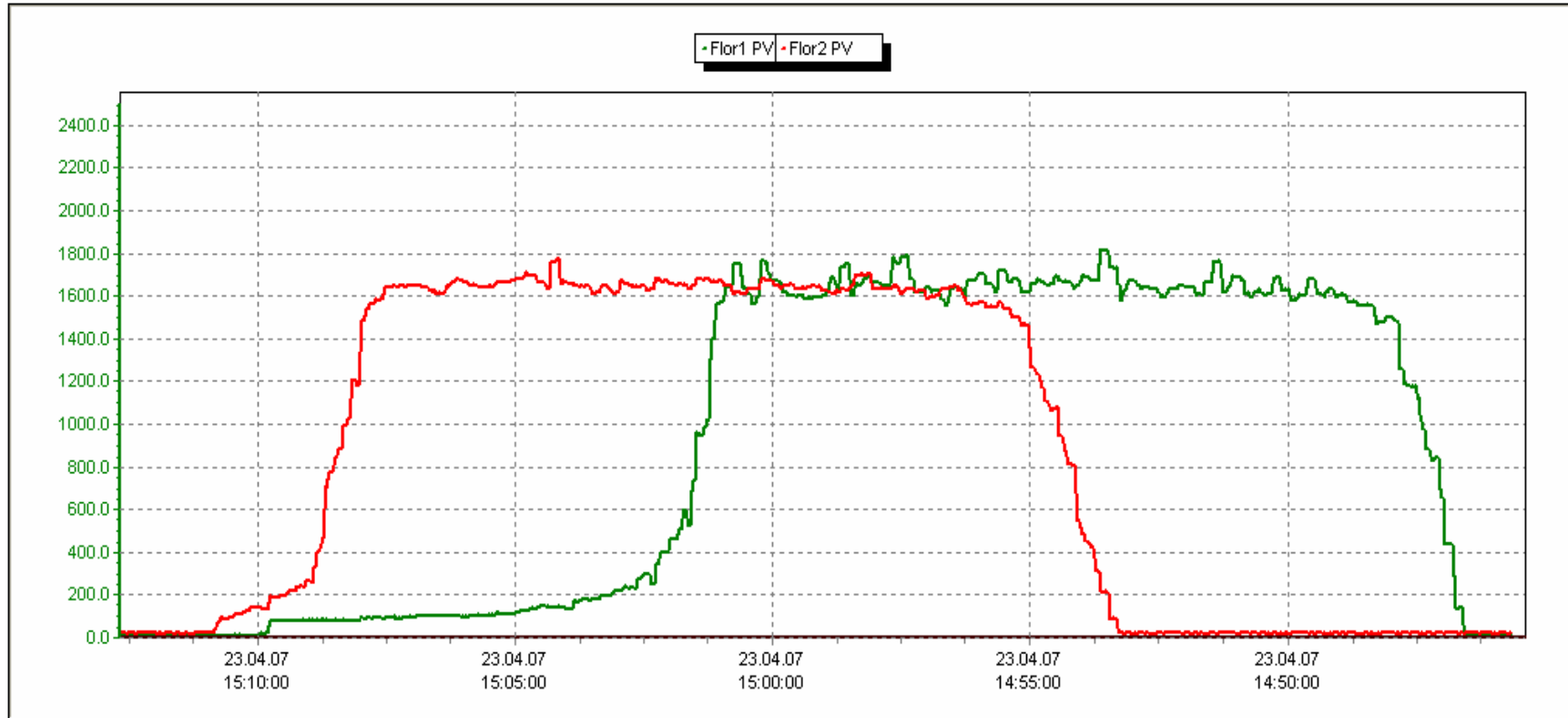
Şekil 4.21. $Re=10381$ için flor enjeksiyonu sonucu boru başı ve boru sonu flor değişimini veren grafik

EK-4 (Devam) Klor ve flor difüzyon katsayılarının tespiti için yapılan deney görüntüleri



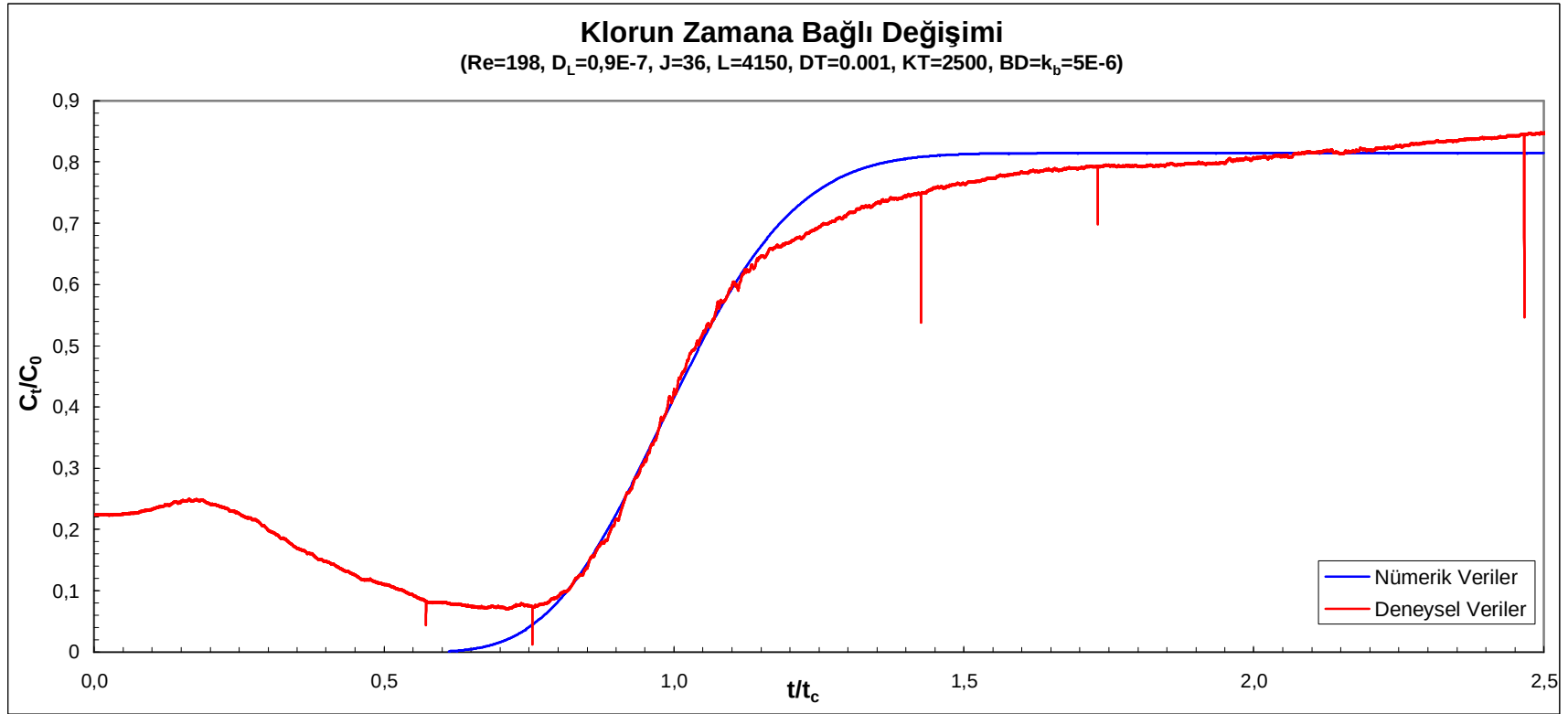
Şekil 4.22. $Re=15202$ için flor enjeksiyonu sonucu boru başı ve boru sonu flor değişimini veren grafik

EK-4 (Devam) Klor ve flor difüzyon katsayılarının tespiti için yapılan deney görüntüleri



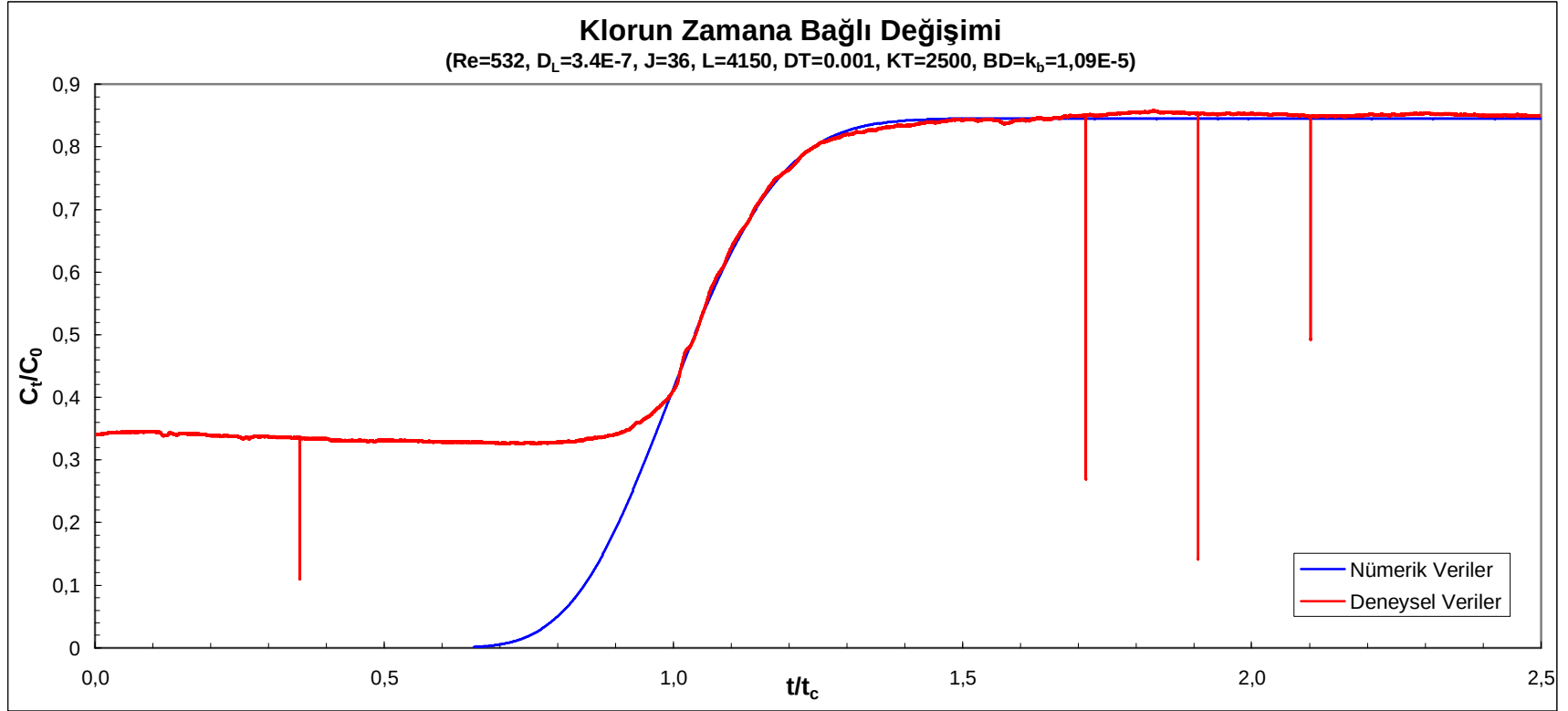
Şekil 4.23. Re=20104 için flor enjeksiyonu sonucu boru başı ve boru sonu flor değişimini veren grafik

EK-5 Deney ve nümerik verilerin karşılaştırılması sonucu elde edilen klor ve flor difüzyon katsayıları ile ilgili çizelge ve grafikler



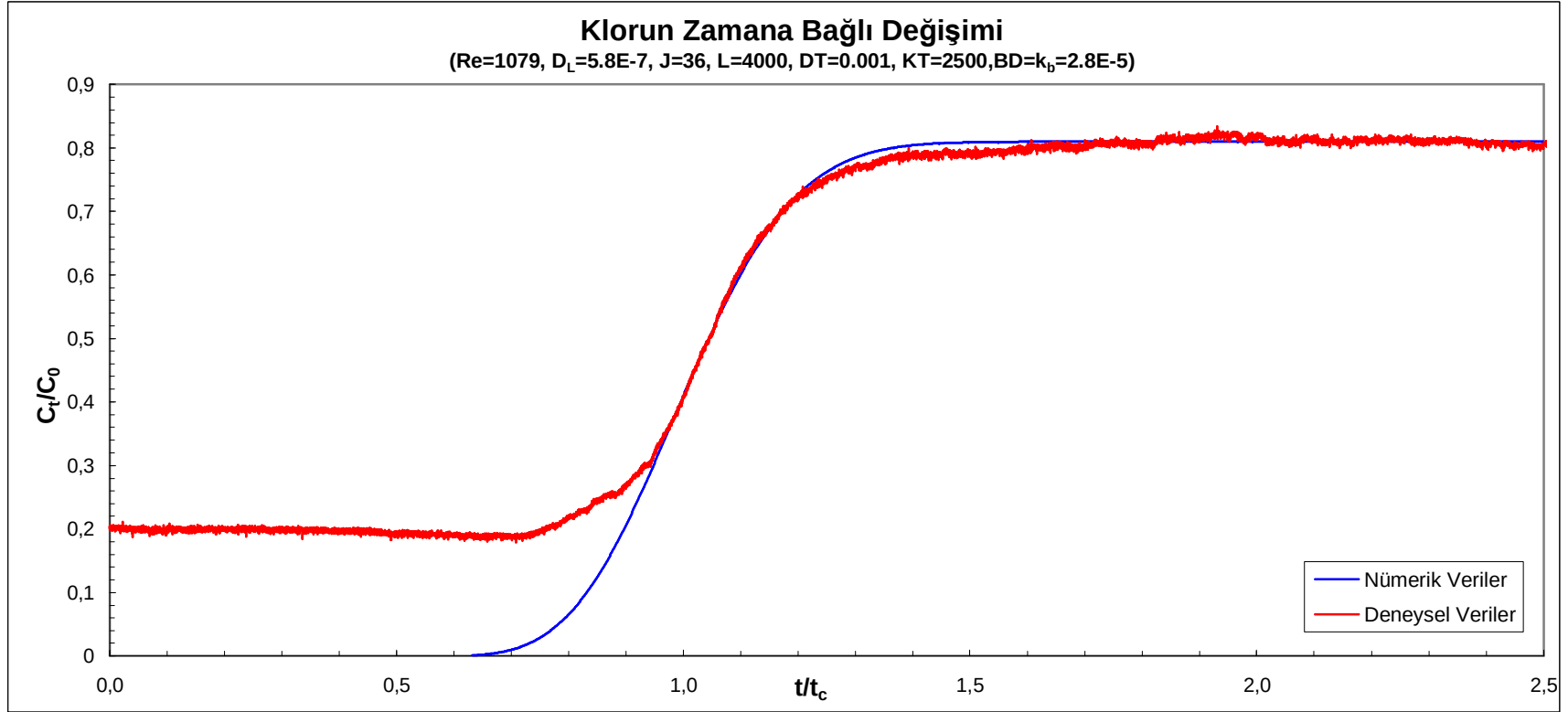
Şekil 5.1. $Re=198$ için klor enjeksiyonu sonucu boru sonu klor değişimini veren grafiğin nümerik veriler ile karşılaştırılması

EK-5 (Devam) Deney ve nümerik verilerin karşılaştırılması sonucu elde edilen klor ve flor difüzyon katsayıları ile ilgili çizelge ve grafikler



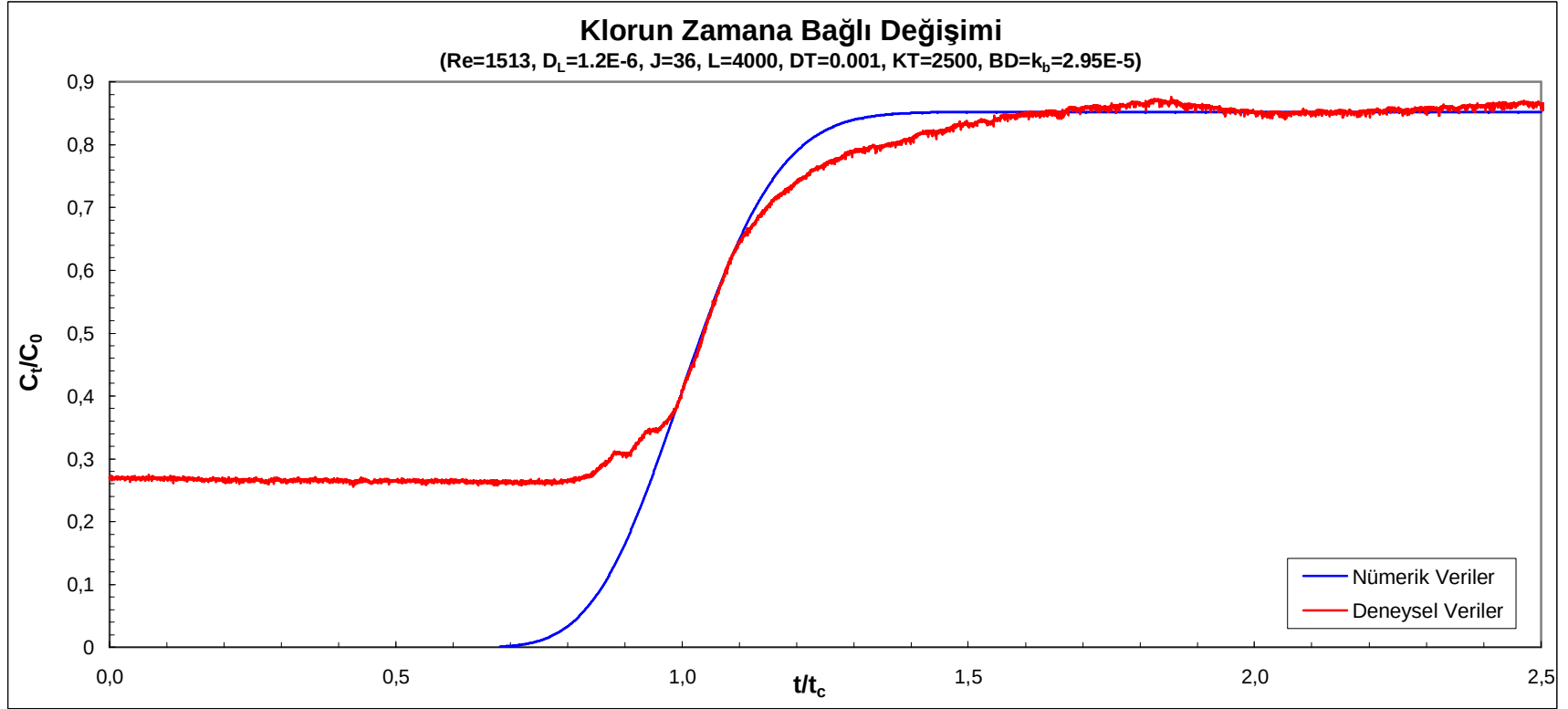
Şekil EK 5.2. Re=532 için klor enjeksiyonu sonucu boru sonu klor değişimini veren grafiğin nümerik veriler ile karşılaştırılması

EK-5 (Devam) Deney ve nümerik verilerin karşılaştırılması sonucu elde edilen klor ve flor difüzyon katsayıları ile ilgili çizelge ve grafikler



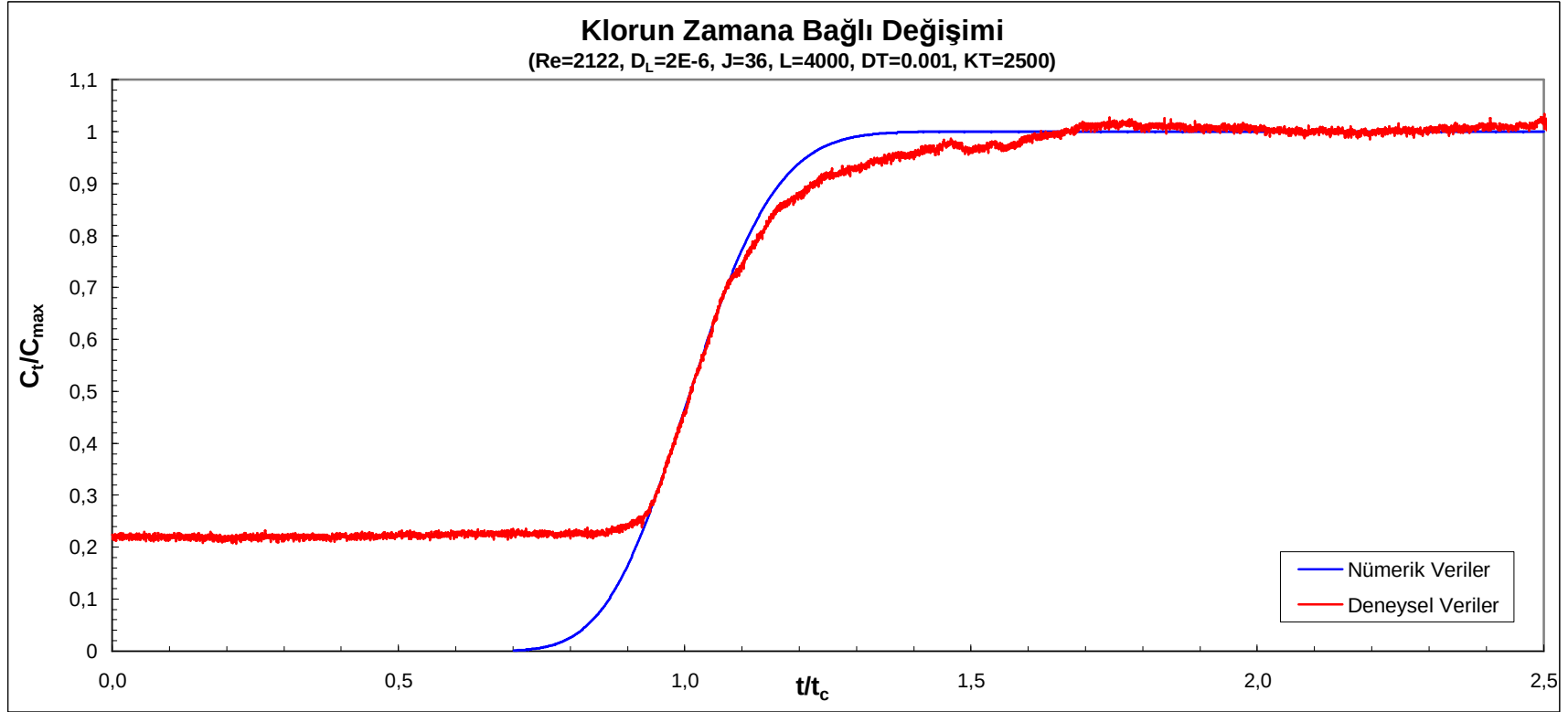
Şekil 5.3. Re=1079 için klor enjeksiyonu sonucu boru sonu klor değişimini veren grafiğin nümerik veriler ile karşılaştırılması

EK-5 (Devam) Deney ve nümerik verilerin karşılaştırılması sonucu elde edilen klor ve flor difüzyon katsayıları ile ilgili çizelge ve grafikler



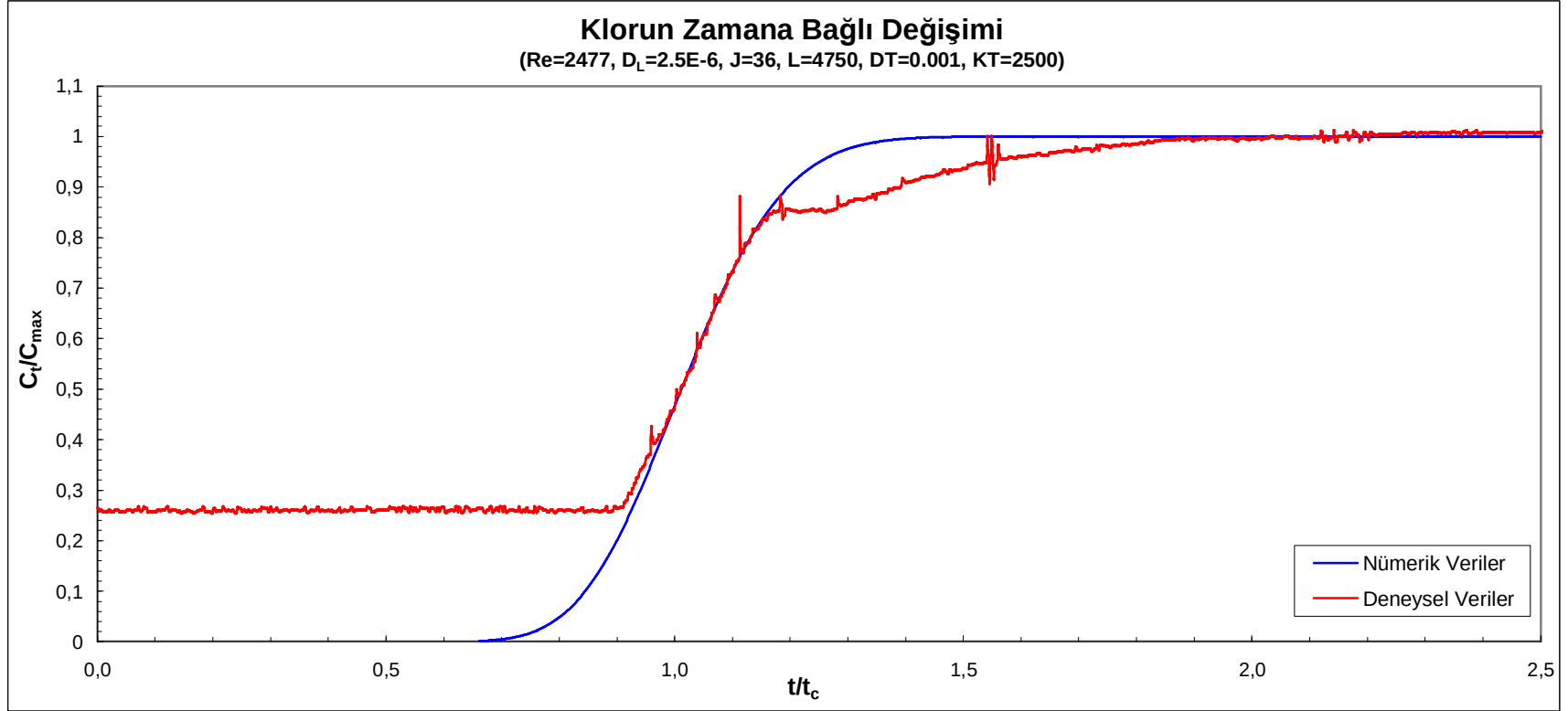
Şekil 5.4. $Re=1513$ için klor enjeksiyonu sonucu boru sonu klor değişimini veren grafiğin nümerik veriler ile karşılaştırılması

EK-5 (Devam) Deney ve nümerik verilerin karşılaştırılması sonucu elde edilen klor ve flor difüzyon katsayıları ile ilgili çizelge ve grafikler



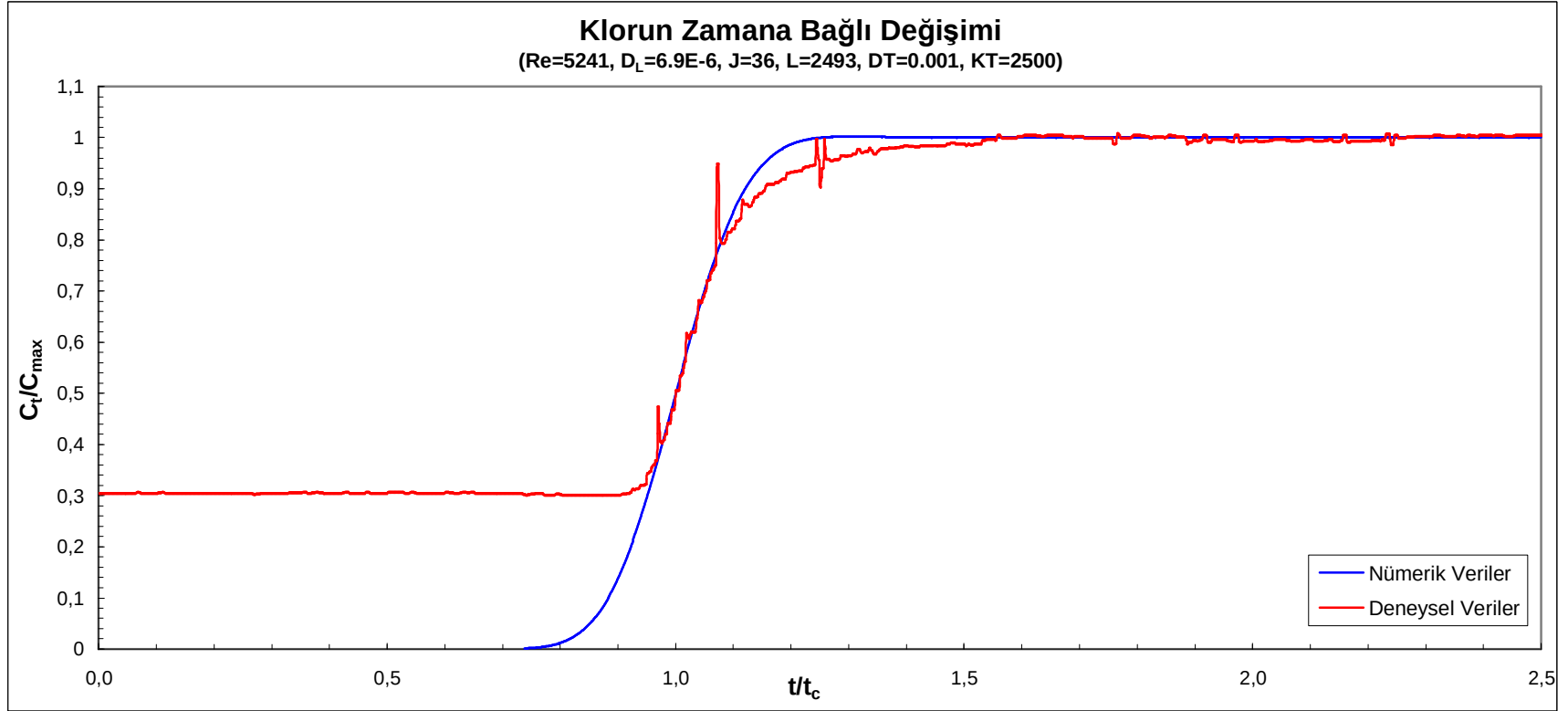
Şekil 5.5. $Re=2122$ için klor enjeksiyonu sonucu boru sonu klor değişimini veren grafiğin nümerik veriler ile karşılaştırılması

EK-5 (Devam) Deney ve nümerik verilerin karşılaştırılması sonucu elde edilen klor ve flor difüzyon katsayıları ile ilgili çizelge ve grafikler



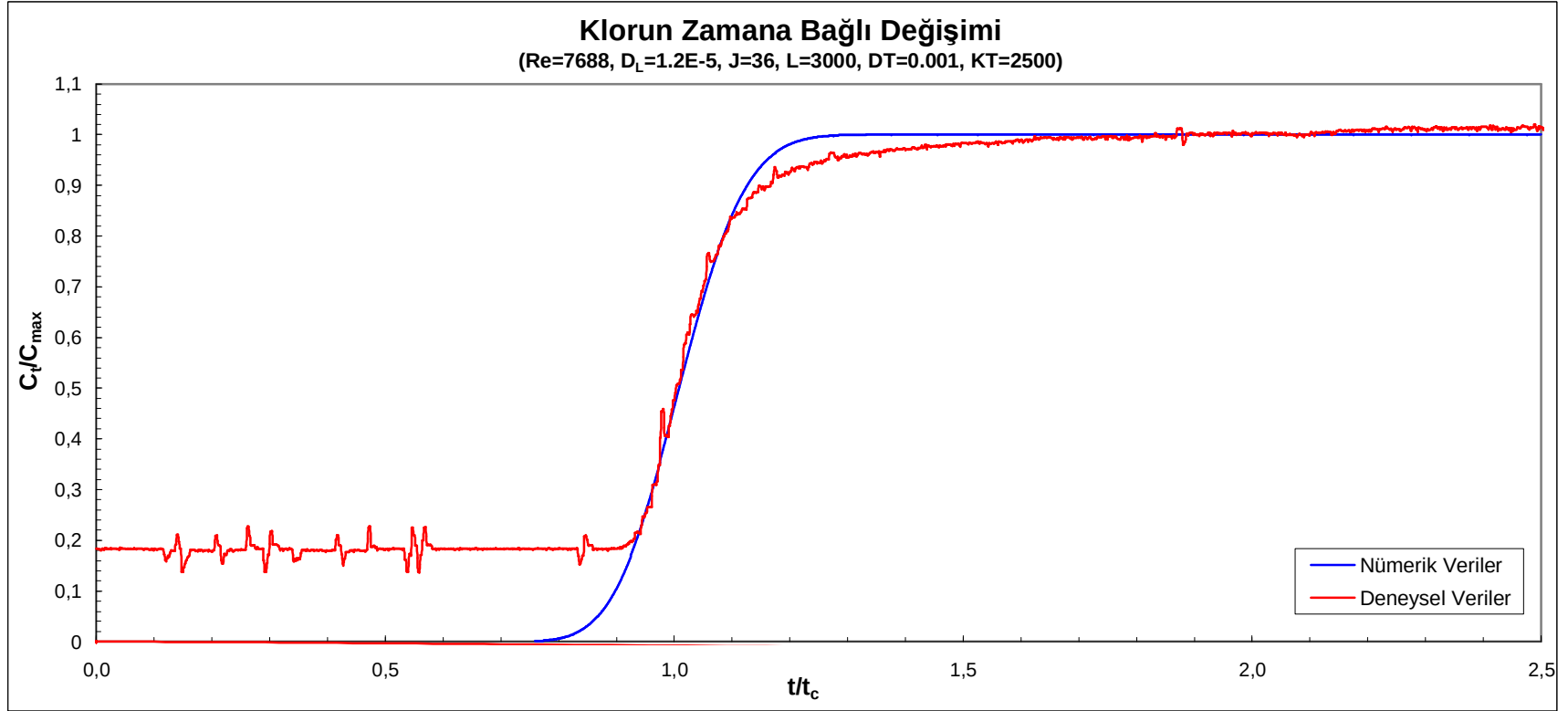
Şekil 5.6. $Re=2477$ için klor enjeksiyonu sonucu boru sonu klor değişimini veren grafiğin nümerik veriler ile karşılaştırılması

EK-5 (Devam) Deney ve nümerik verilerin karşılaştırılması sonucu elde edilen klor ve flor difüzyon katsayıları ile ilgili çizelge ve grafikler



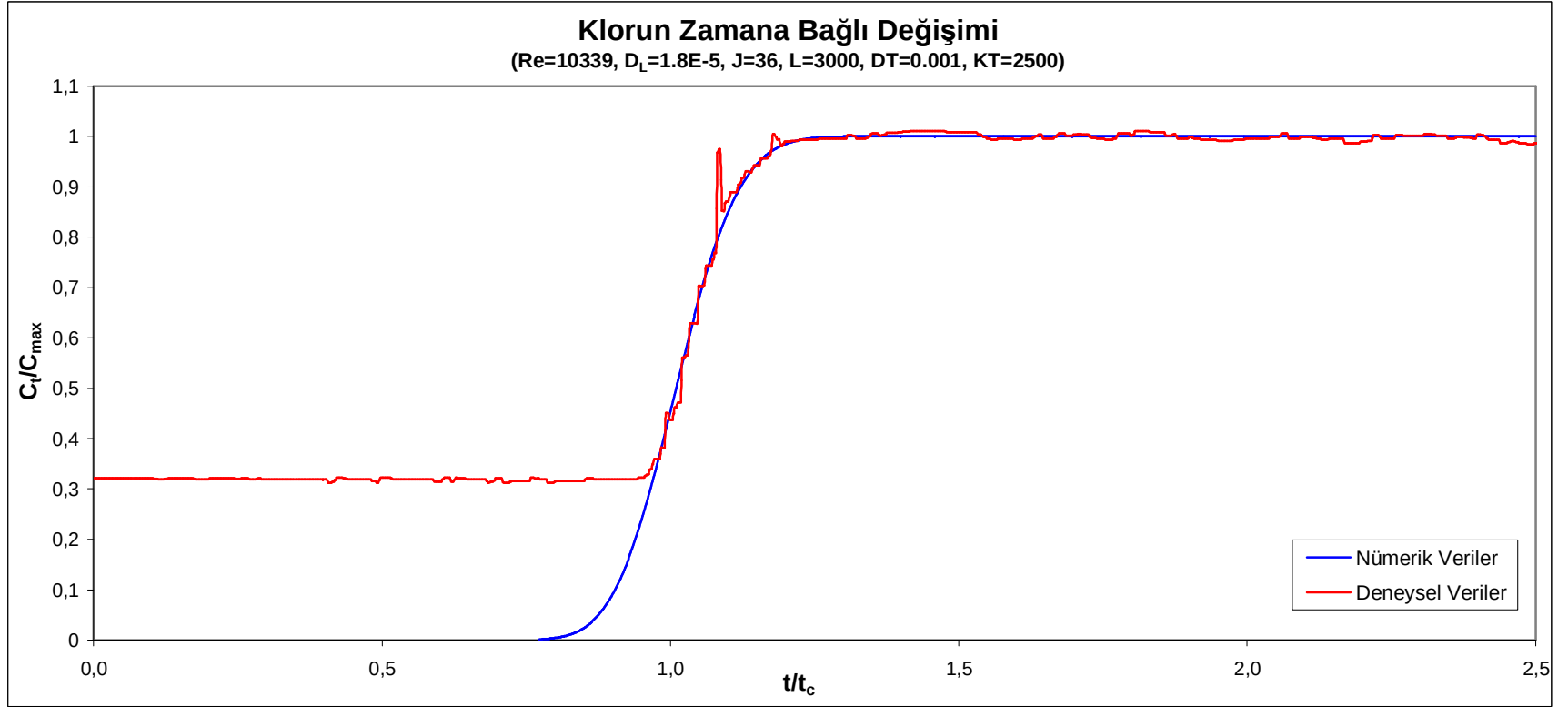
Şekil 5.7. $Re=5241$ için klor enjeksiyonu sonucu boru sonu klor değişimini veren grafiğin nümerik veriler ile karşılaştırılması

EK-5 (Devam) Deney ve nümerik verilerin karşılaştırılması sonucu elde edilen klor ve flor difüzyon katsayıları ile ilgili çizelge ve grafikler



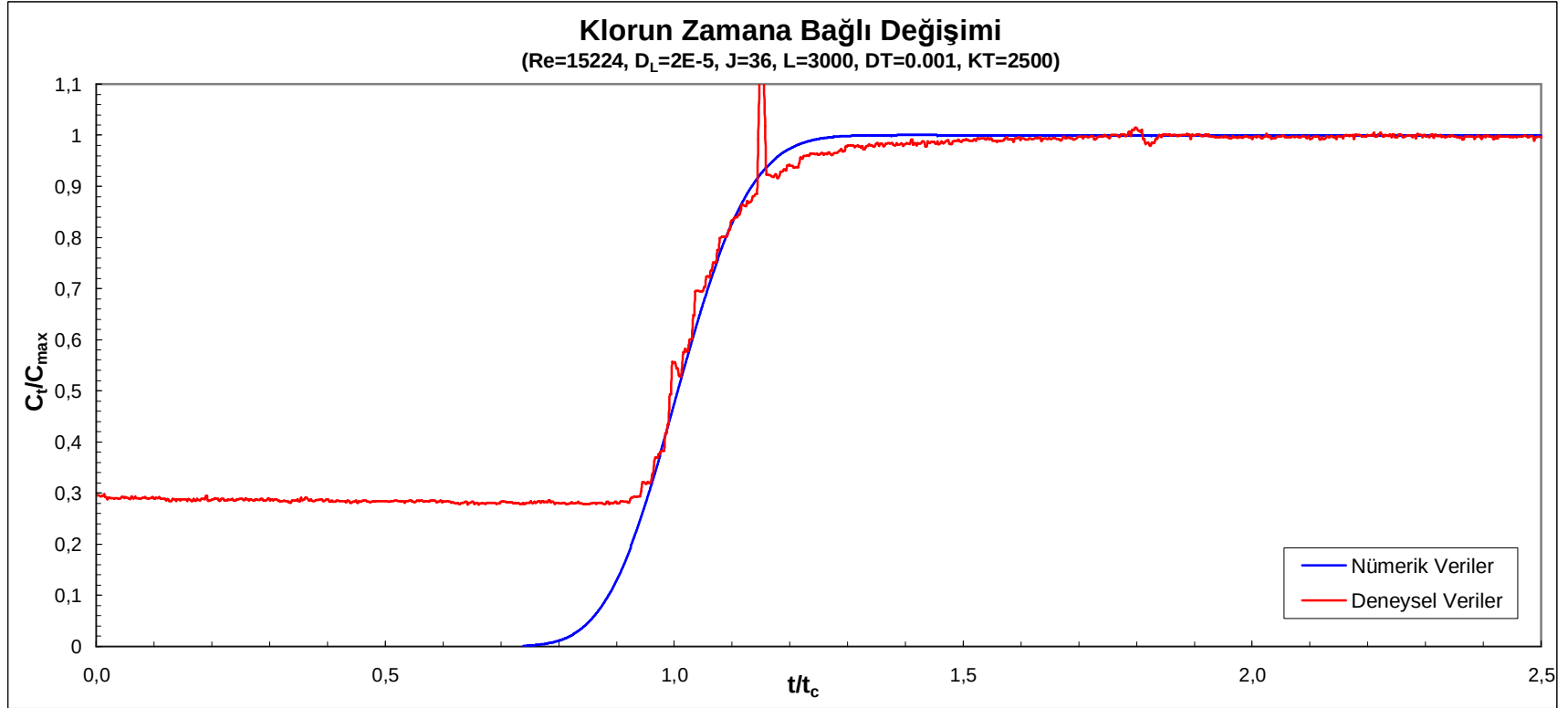
Şekil 5.8. $Re=7688$ için klor enjeksiyonu sonucu boru sonu klor değişimini veren grafiğin nümerik veriler ile karşılaştırılması

EK-5 (Devam) Deney ve nümerik verilerin karşılaştırılması sonucu elde edilen klor ve flor difüzyon katsayıları ile ilgili çizelge ve grafikler



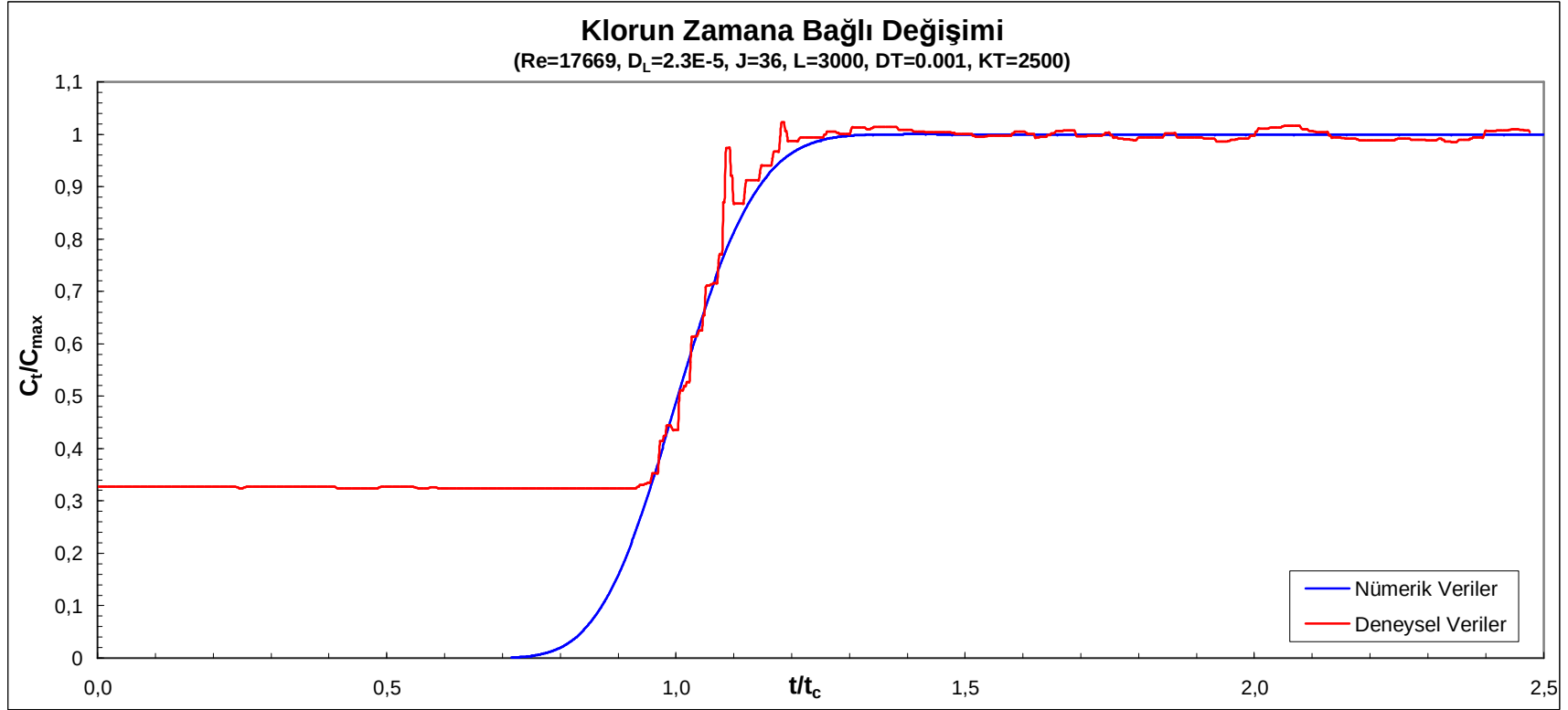
Şekil 5.9. $Re=10339$ için klor enjeksiyonu sonucu boru sonu klor değişimini veren grafiğin nümerik veriler ile karşılaştırılması

EK-5 (Devam) Deney ve nümerik verilerin karşılaştırılması sonucu elde edilen klor ve flor difüzyon katsayıları ile ilgili çizelge ve grafikler



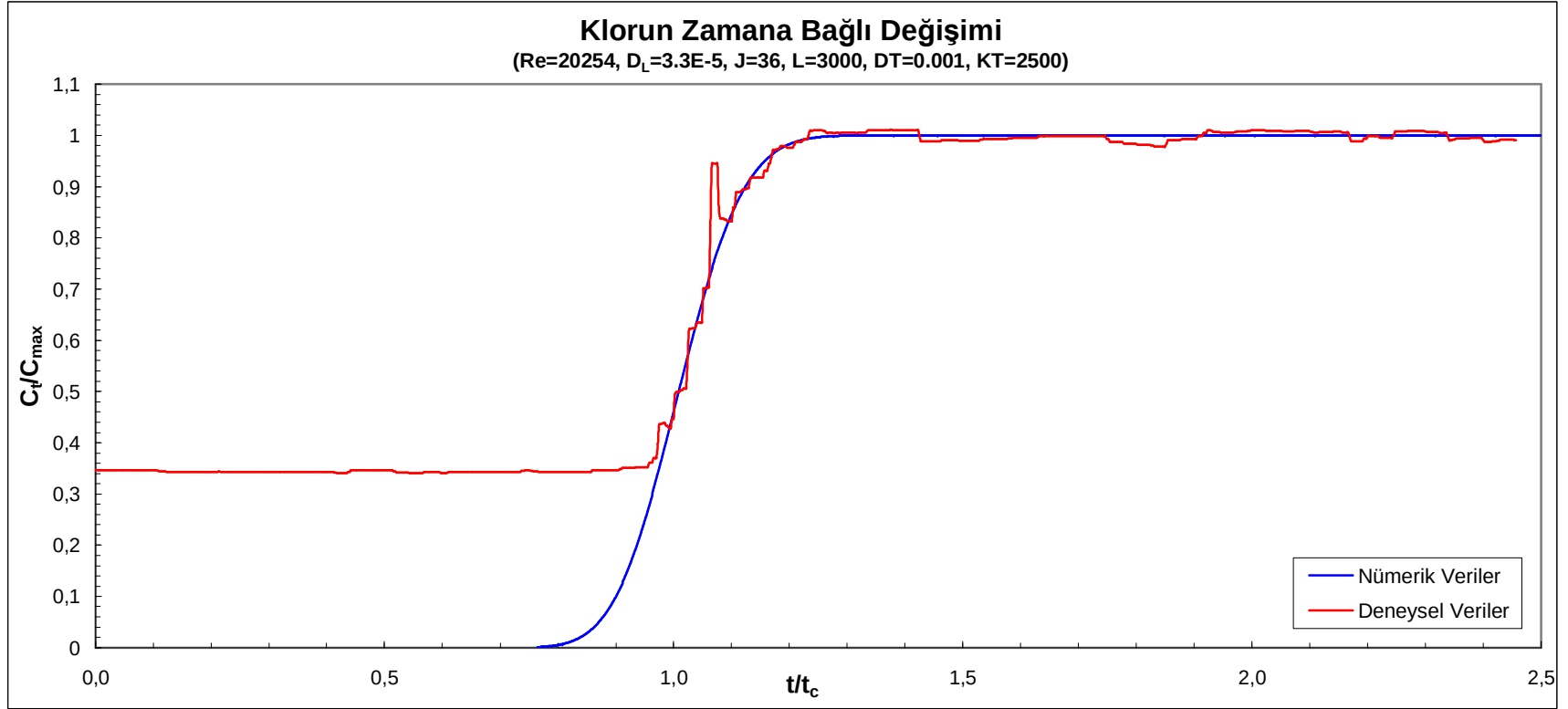
Şekil 5.10. $Re=15224$ için klor enjeksiyonu sonucu boru sonu klor değişimini veren grafiğin nümerik veriler ile karşılaştırılması

EK-5 (Devam) Deney ve nümerik verilerin karşılaştırılması sonucu elde edilen klor ve flor difüzyon katsayıları ile ilgili çizelge ve grafikler



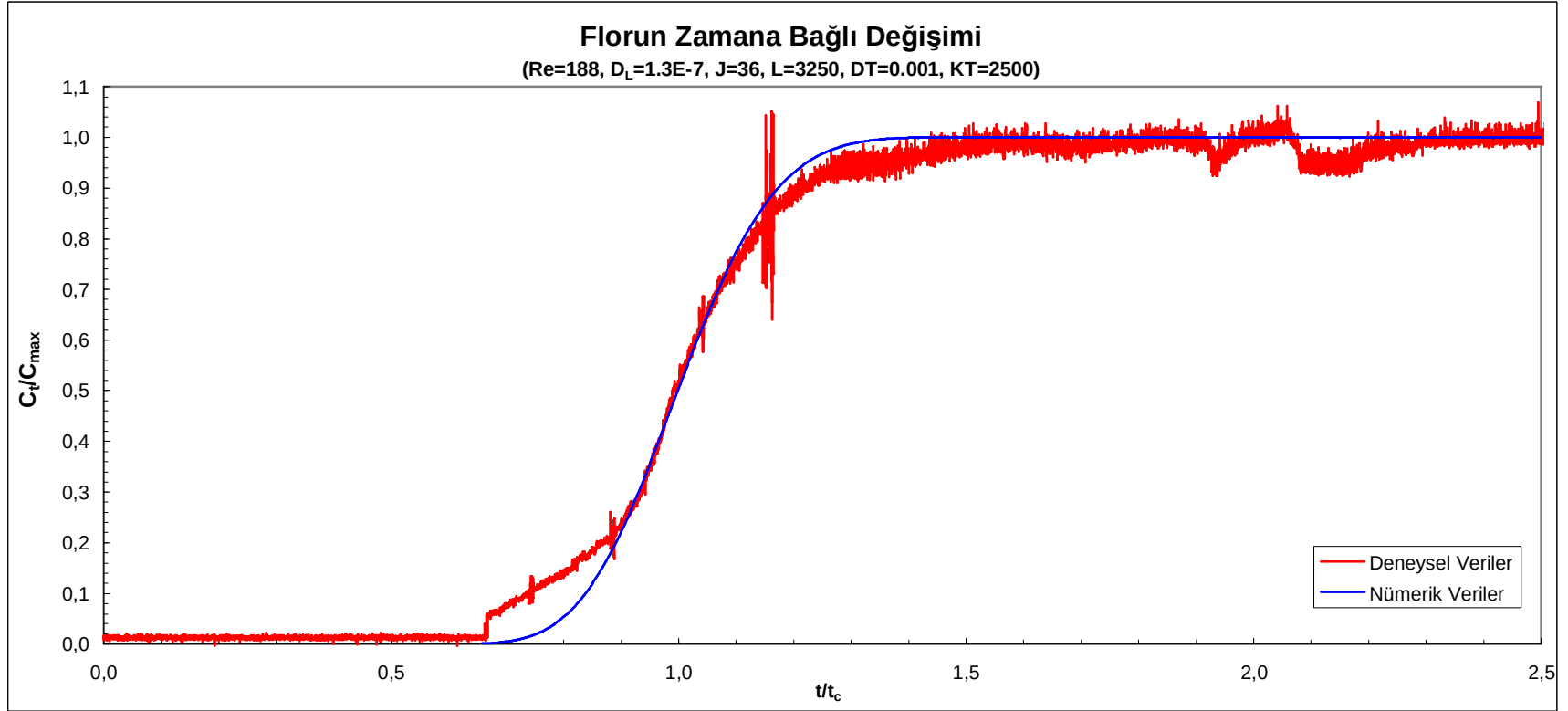
Şekil 5.11. $Re=17669$ için klor enjeksiyonu sonucu boru sonu klor değişimini veren grafiğin nümerik veriler ile karşılaştırılması

EK-5 (Devam) Deney ve nümerik verilerin karşılaştırılması sonucu elde edilen klor ve flor difüzyon katsayıları ile ilgili çizelge ve grafikler



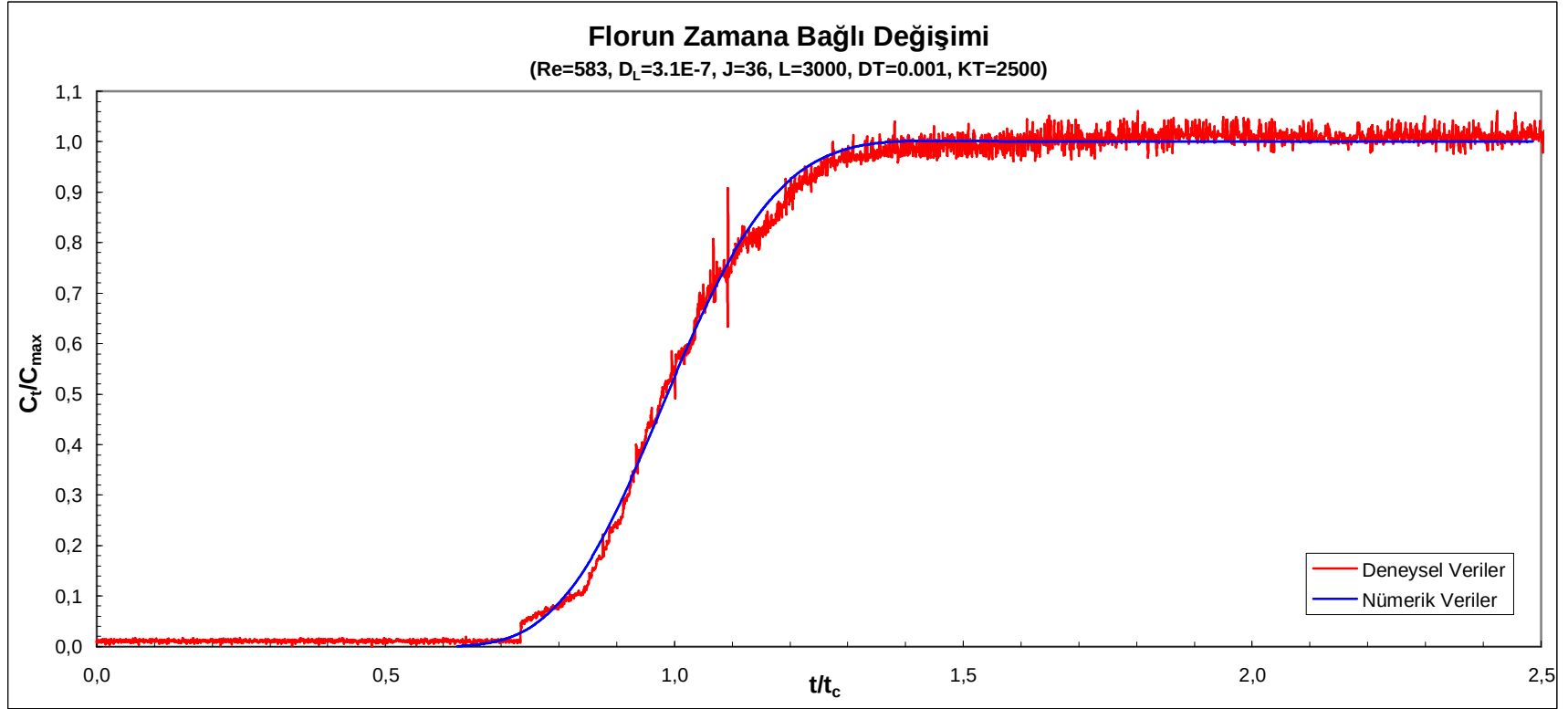
Şekil 5.12. $Re=20254$ için klor enjeksiyonu sonucu boru sonu klor değişimini veren grafiğin nümerik veriler ile karşılaştırılması

EK-5 (Devam) Deney ve nümerik verilerin karşılaştırılması sonucu elde edilen klor ve flor difüzyon katsayıları ile ilgili çizelge ve grafikler



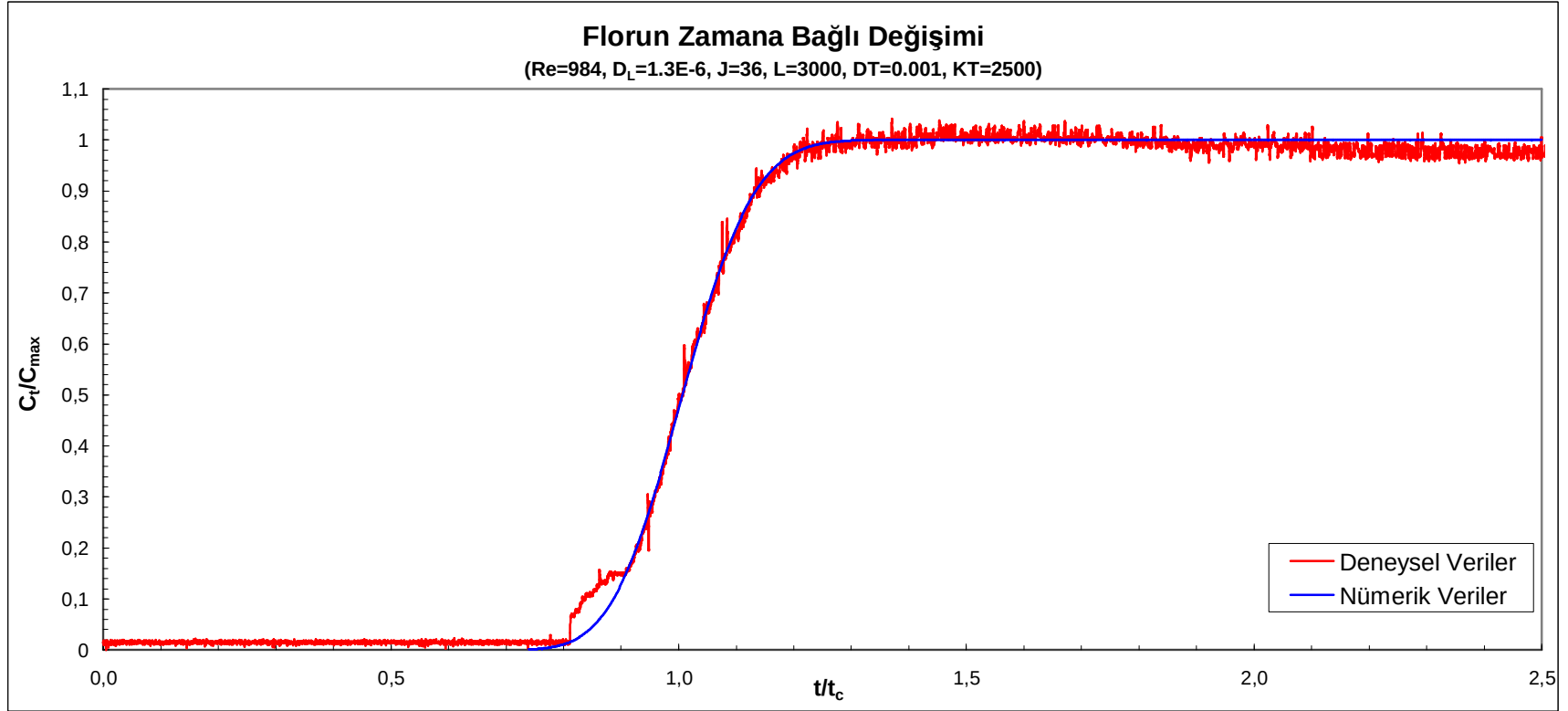
Şekil 5.13. $Re=188$ için flor enjeksiyonu sonucu boru sonu flor değişimini veren grafiğin nümerik veriler ile karşılaştırılması

EK-5 (Devam) Deney ve nümerik verilerin karşılaştırılması sonucu elde edilen klor ve flor difüzyon katsayıları ile ilgili çizelge ve grafikler



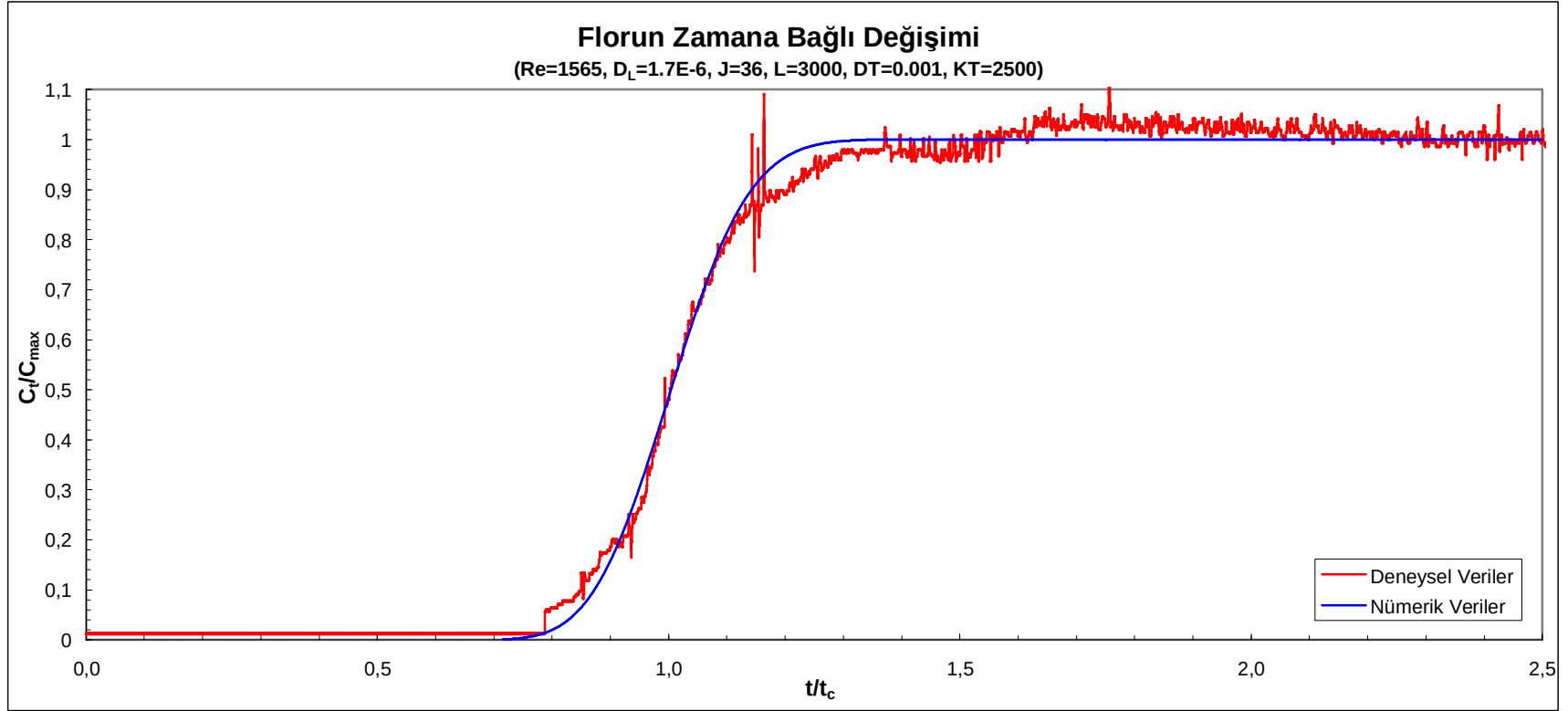
Şekil 5.14. $Re=583$ için flor enjeksiyonu sonucu boru sonu flor değişimini veren grafiğin nümerik veriler ile karşılaştırılması

EK-5 (Devam) Deney ve nümerik verilerin karşılaştırılması sonucu elde edilen klor ve flor difüzyon katsayıları ile ilgili çizelge ve grafikler



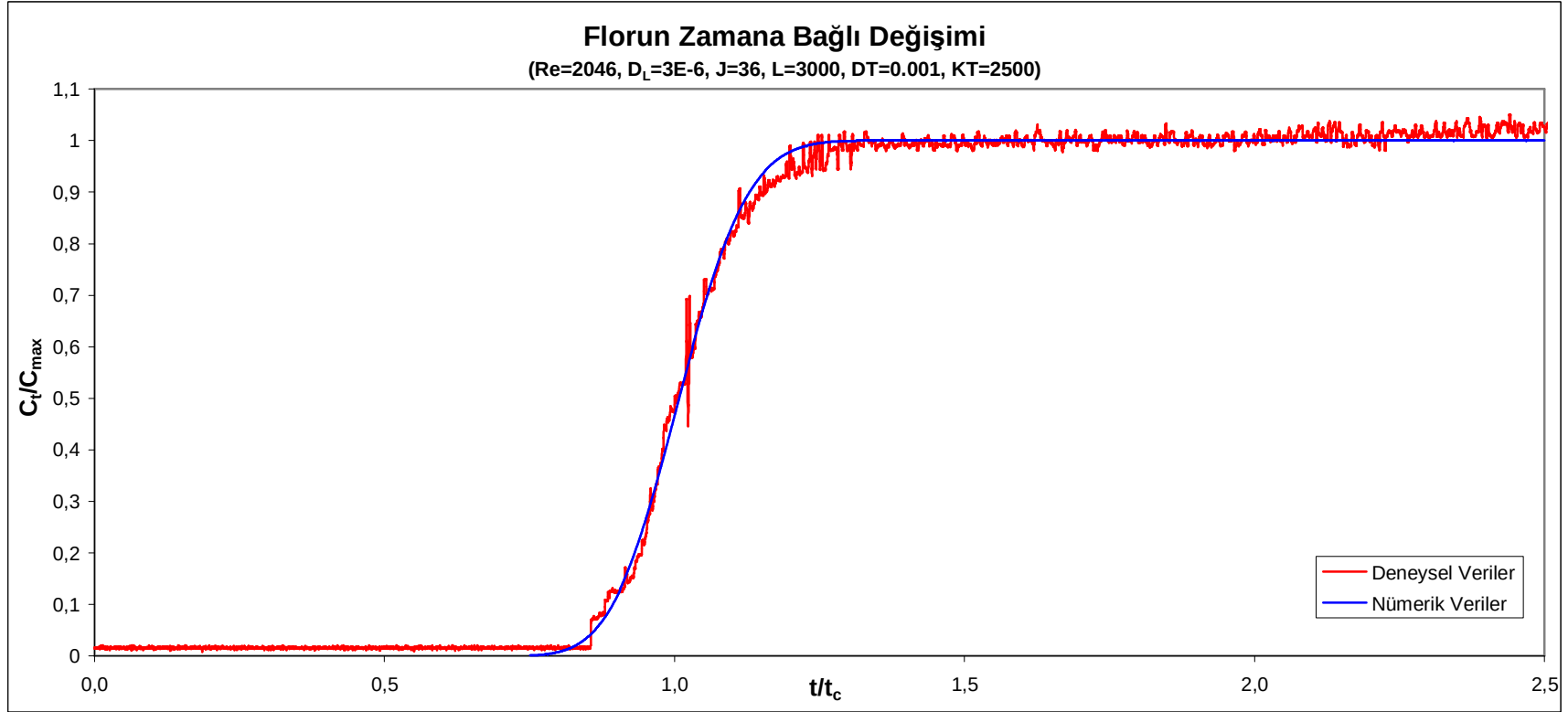
Şekil 5.15. $Re=984$ için flor enjeksiyonu sonucu boru sonu flor değişimini veren grafiğin nümerik veriler ile karşılaştırılması

EK-5 (Devam) Deney ve nümerik verilerin karşılaştırılması sonucu elde edilen klor ve flor difüzyon katsayıları ile ilgili çizelge ve grafikler



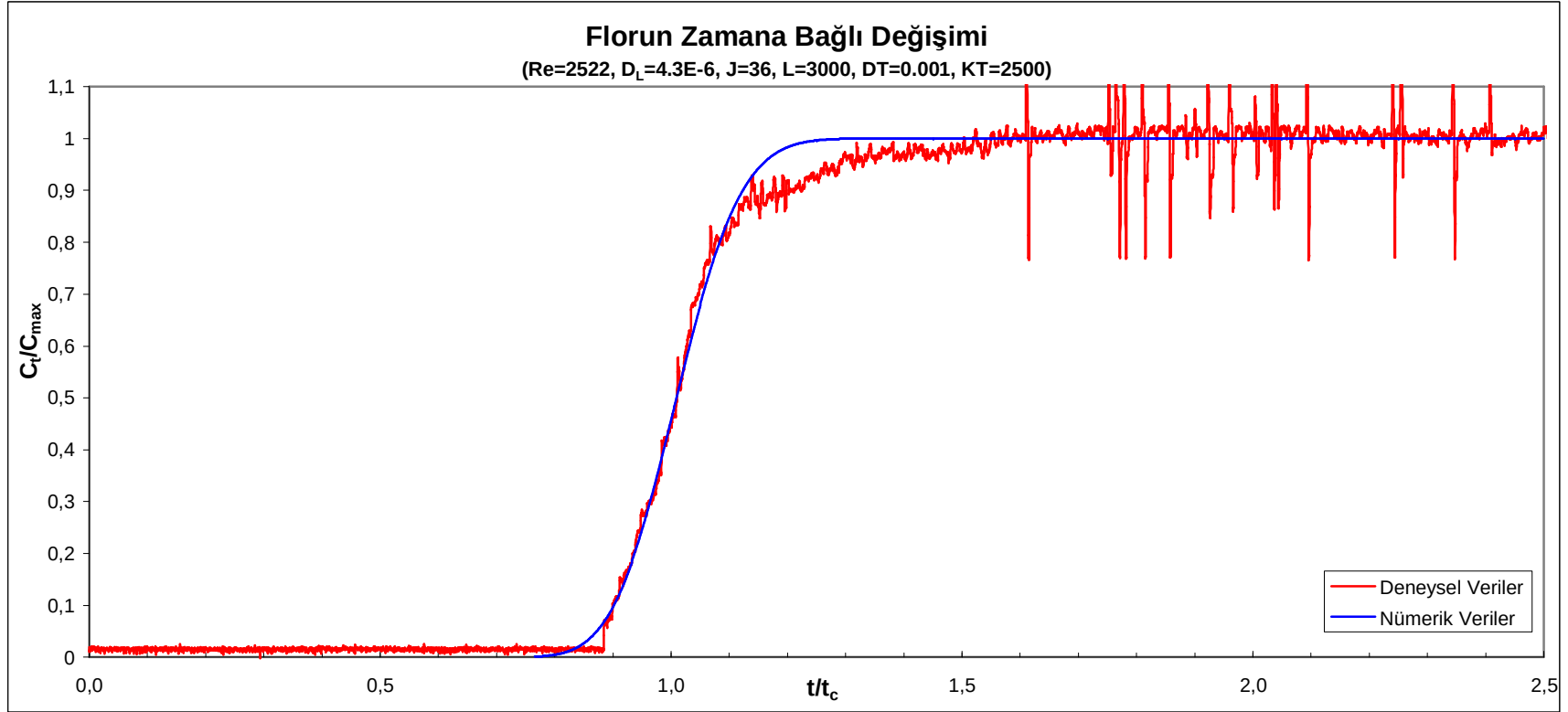
Şekil 5.16. $Re=1565$ için flor enjeksiyonu sonucu boru sonu flor değişimini veren grafiğin nümerik veriler ile karşılaştırılması

EK-5 (Devam) Deney ve nümerik verilerin karşılaştırılması sonucu elde edilen klor ve flor difüzyon katsayıları ile ilgili çizelge ve grafikler



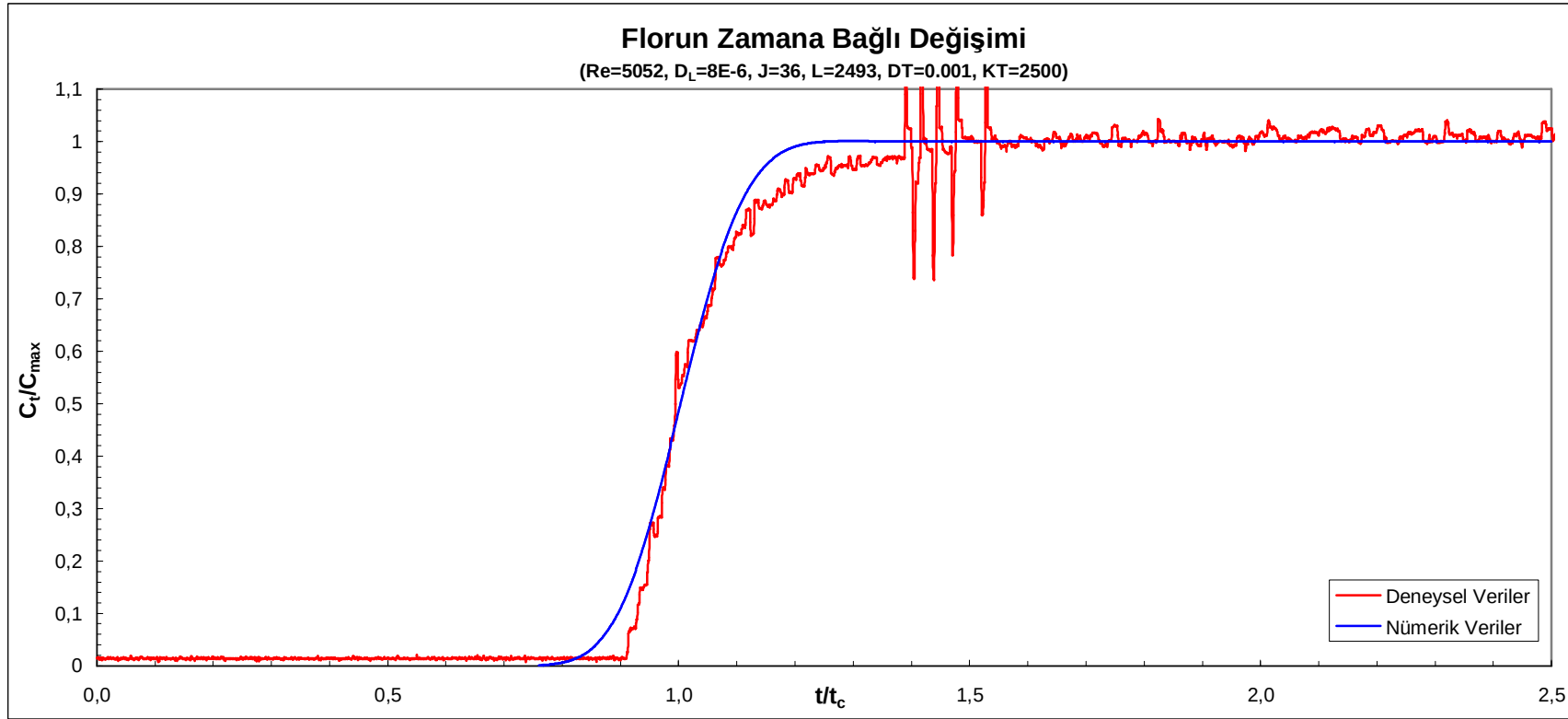
Şekil 5.17. Re=2046 için flor enjeksiyonu sonucu boru sonu flor değişimini veren grafiğin nümerik veriler ile karşılaştırılması

EK-5 (Devam) Deney ve nümerik verilerin karşılaştırılması sonucu elde edilen klor ve flor difüzyon katsayıları ile ilgili çizelge ve grafikler



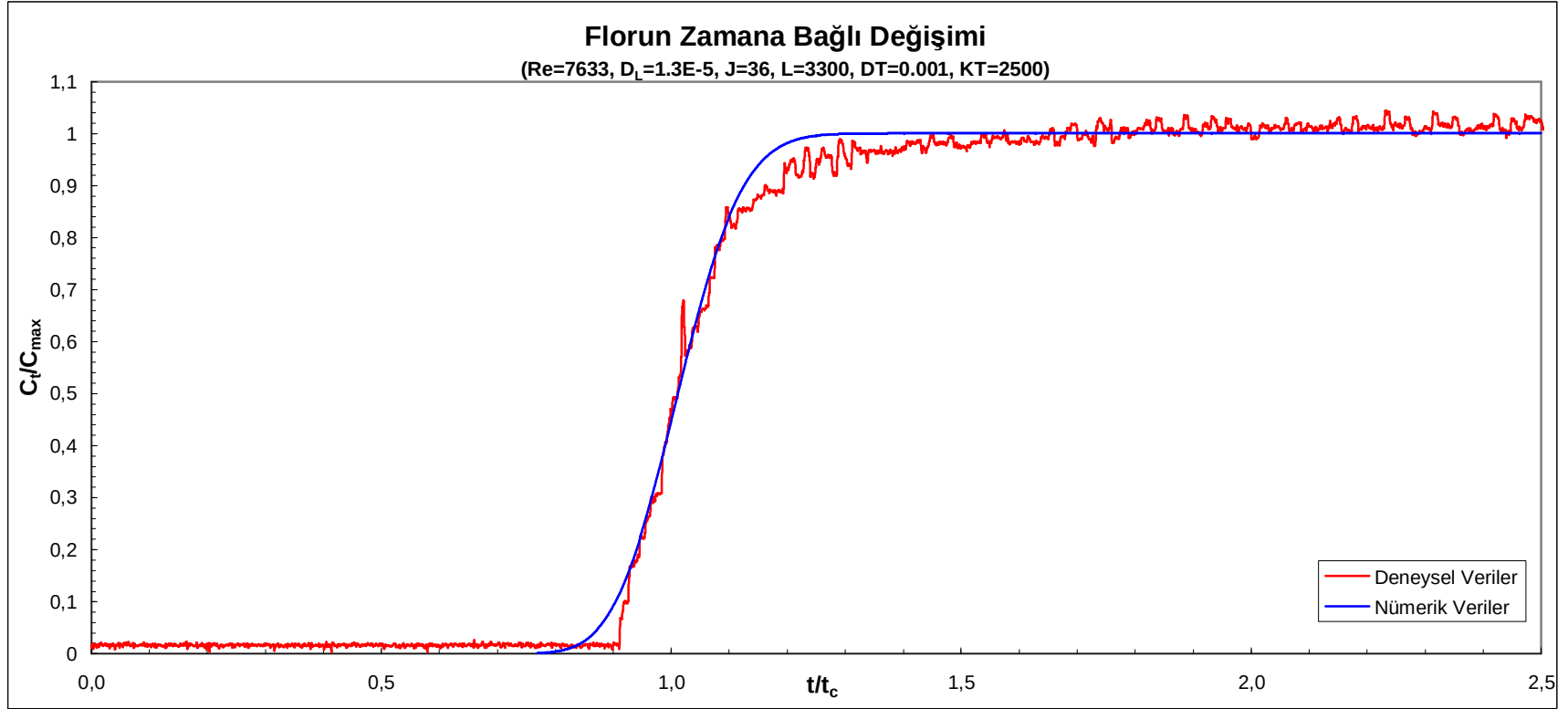
Şekil 5.18. $Re=2522$ için flor enjeksiyonu sonucu boru sonu flor değişimini veren grafiğin nümerik veriler ile karşılaştırılması

EK-5 (Devam) Deney ve nümerik verilerin karşılaştırılması sonucu elde edilen klor ve flor difüzyon katsayıları ile ilgili çizelge ve grafikler



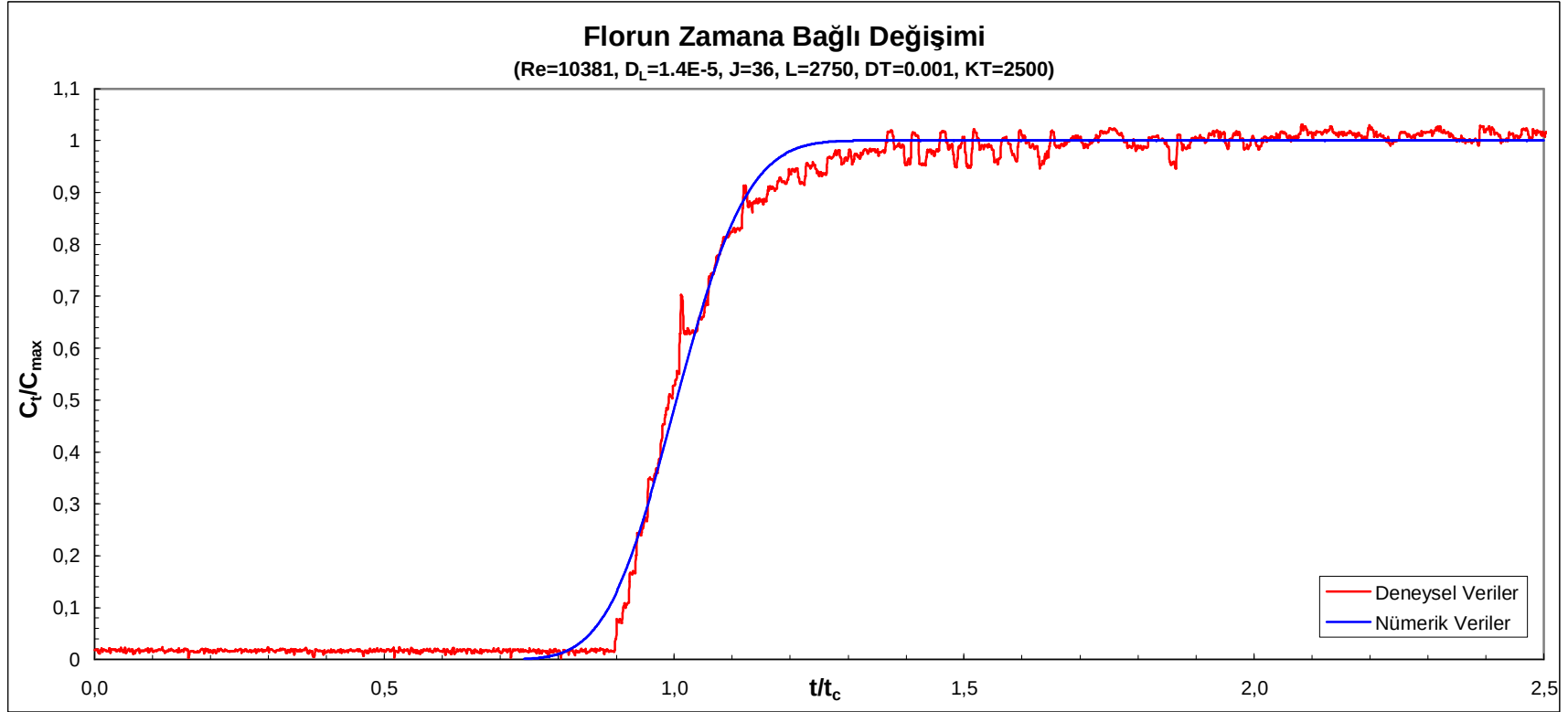
Şekil 5.19. Re=5052 için flor enjeksiyonu sonucu boru sonu flor değişimini veren grafiğin nümerik veriler ile karşılaştırılması

EK-5 (Devam) Deney ve nümerik verilerin karşılaştırılması sonucu elde edilen klor ve flor difüzyon katsayıları ile ilgili çizelge ve grafikler



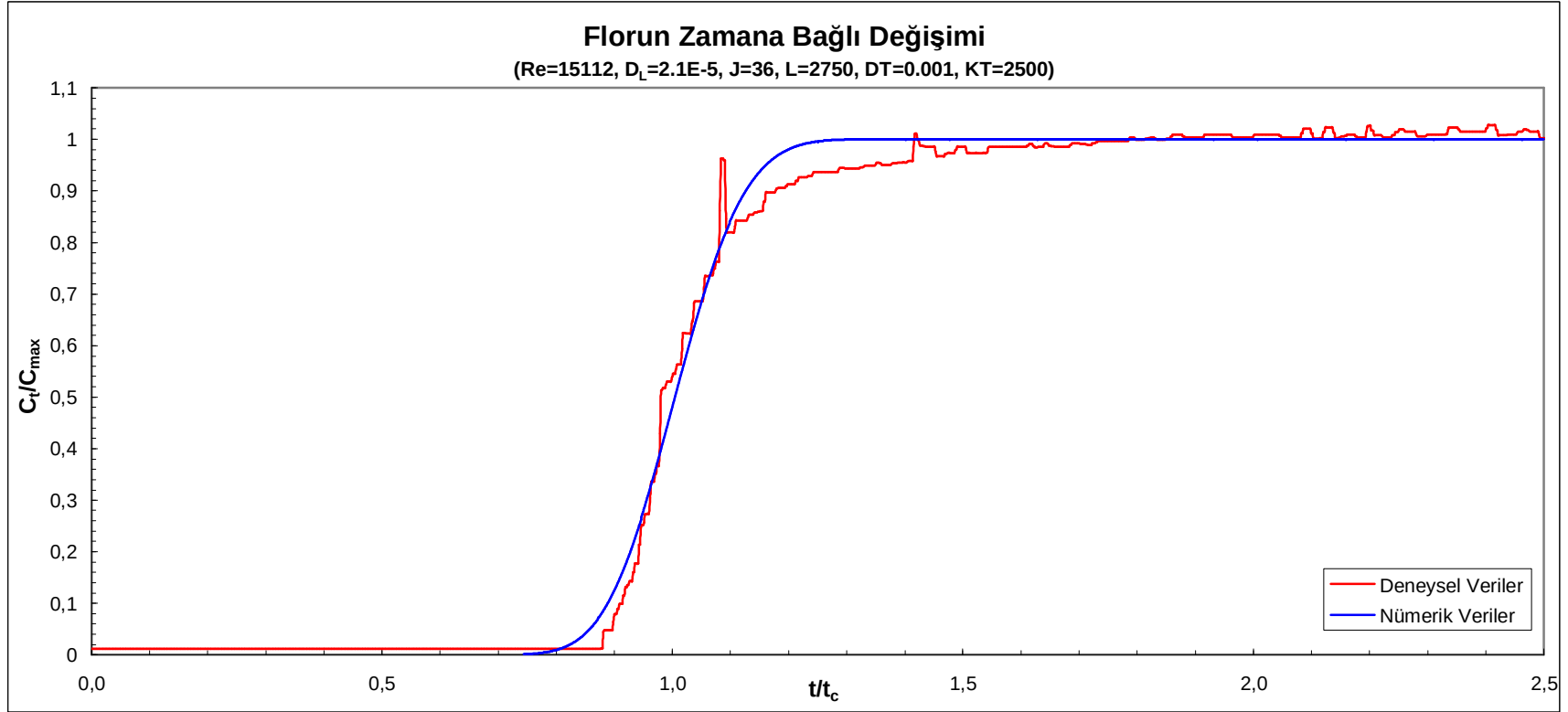
Şekil 5.20. $Re=7633$ için flor enjeksiyonu sonucu boru sonu flor değişimini veren grafiğin nümerik veriler ile karşılaştırılması

EK-5 (Devam) Deney ve nümerik verilerin karşılaştırılması sonucu elde edilen klor ve flor difüzyon katsayıları ile ilgili çizelge ve grafikler



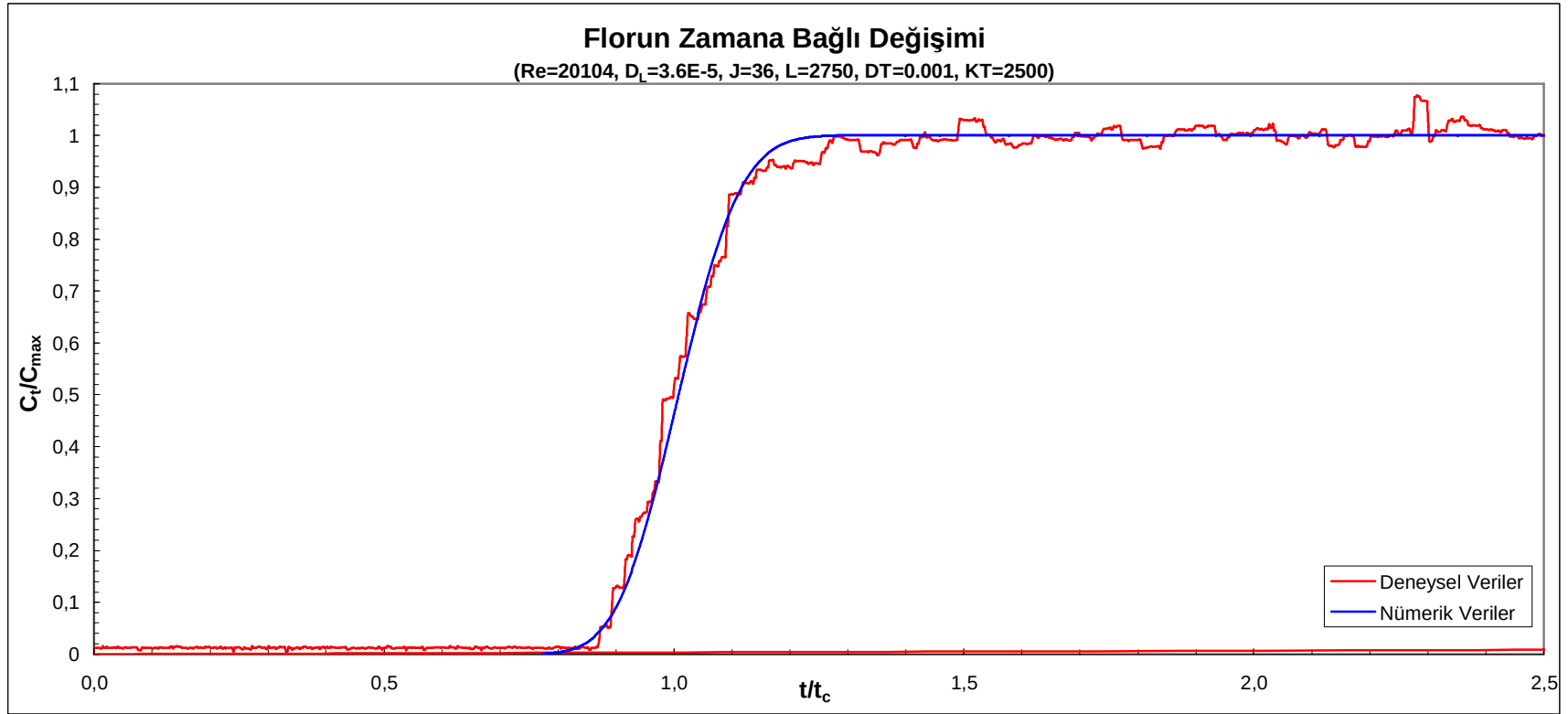
Şekil 5.21 Re=10381 için flor enjeksiyonu sonucu boru sonu flor değişimini veren grafiğin nümerik veriler ile karşılaştırılması

EK-5 (Devam) Deney ve nümerik verilerin karşılaştırılması sonucu elde edilen klor ve flor difüzyon katsayıları ile ilgili çizelge ve grafikler



Şekil 5.22. $Re=15112$ için flor enjeksiyonu sonucu boru sonu flor değişimini veren grafiğin nümerik veriler ile karşılaştırılması

EK-5 (Devam) Deney ve nümerik verilerin karşılaştırılması sonucu elde edilen klor ve flor difüzyon katsayıları ile ilgili çizelge ve grafikler



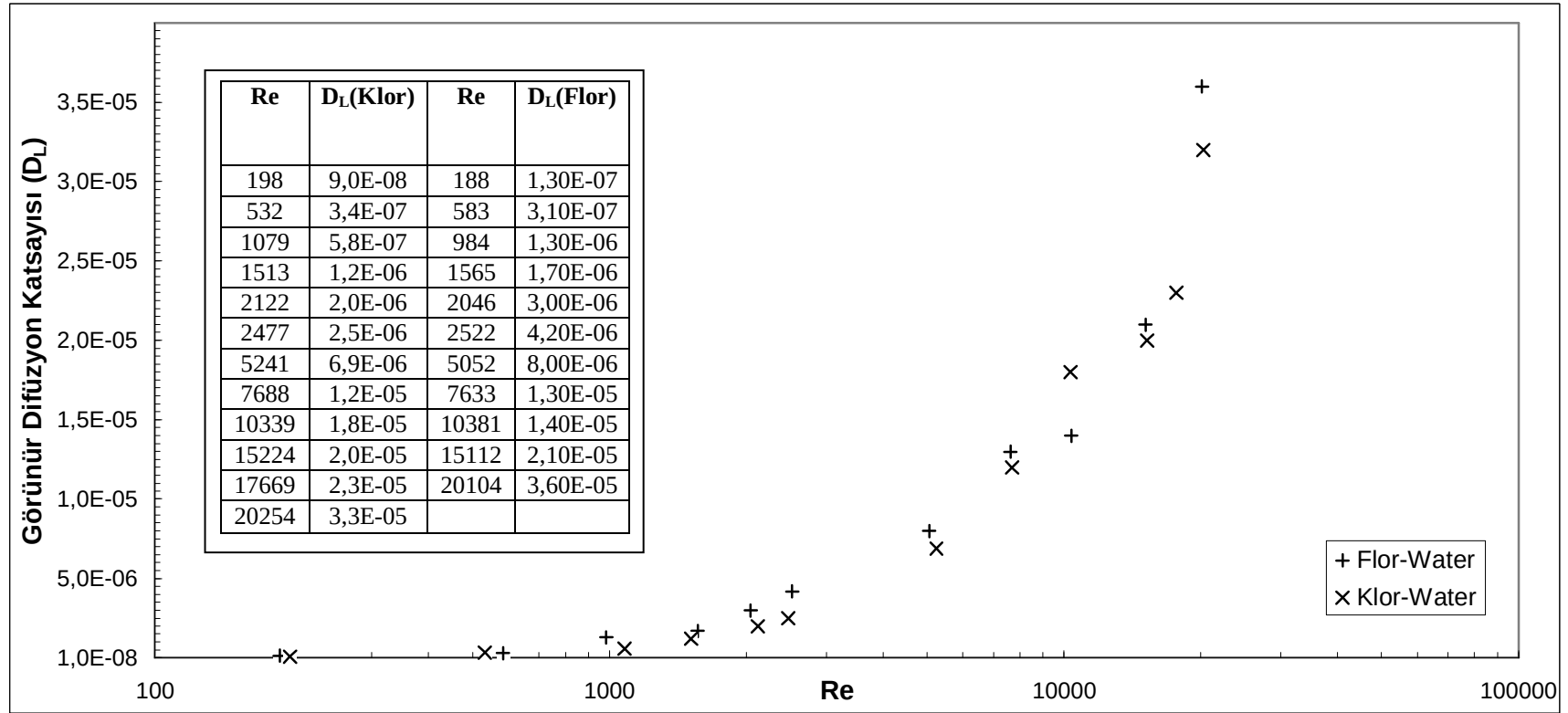
Şekil 5.23. Re=20104 için flor enjeksiyonu sonucu boru sonu flor değişimini veren grafiğin nümerik veriler ile karşılaştırılması

EK-5 (Devam) Deney ve nümerik verilerin karşılaştırılması sonucu elde edilen klor ve flor difüzyon katsayıları ile ilgili çizelge ve grafikler

Çizelge 5.1. Klor ve florun etkin difüzyon katsayıları, boru içi iletim süreleri ile dalga başlangıç ve bitişini veren çizelge

Reynolds Sayısı (Re)	Travel Time (tc=dk.)	Dalga Başlangıcı (t/tc)	Dalga Bitişi (t/tc)	S Dalgası Geçiş Zamanı	Etkin Difüzyon Katsayısı (D _L)	Reynolds Sayısı (Re)	Travel Time (tc=dk.)	Dalga Başlangıcı (t/tc)	Dalga Bitişi (t/tc)	S Dalgası Geçiş Zamanı	Etkin Difüzyon Katsayısı (D _L)
(1)	(2)	(3)	(4)	(4)-(3)	(5)	(1)	(2)	(3)	(4)	(4)-(3)	(5)
198	681,82	0,6100	1,3580	0,748	9,0E-08	188	718,09	0,6580	1,3980	0,740	1,30E-07
532	253,76	0,6530	1,3110	0,658	3,4E-07	583	231,56	0,6240	1,2820	0,658	3,10E-07
1079	125,12	0,6310	1,2460	0,615	5,8E-07	984	137,20	0,7390	1,2110	0,472	1,30E-06
1513	89,23	0,6810	1,1770	0,496	1,2E-06	1565	86,26	0,7150	1,2270	0,512	1,70E-06
2122	63,62	0,7000	1,2640	0,564	2,0E-06	2046	65,98	0,7510	1,2030	0,452	3,00E-06
2477	54,50	0,7150	1,2580	0,543	2,5E-06	2522	53,53	0,7600	1,1930	0,433	4,20E-06
5241	25,76	0,7370	1,1880	0,451	6,9E-06	5052	26,72	0,7590	1,1790	0,420	8,00E-06
7688	17,56	0,7580	1,1980	0,44	1,2E-05	7633	17,69	0,7690	1,1970	0,428	1,30E-05
10339	13,06	0,7710	1,1900	0,419	1,8E-05	10381	13,00	0,7410	1,2010	0,460	1,40E-05
15224	8,87	0,7380	1,2120	0,474	2,0E-05	15112	8,93	0,7440	1,1990	0,455	2,10E-05
17669	7,64	0,7140	1,2270	0,513	2,3E-05	20104	6,72	0,7730	1,1820	0,409	3,60E-05
20254	6,67	0,7630	1,1950	0,432	3,3E-05						

EK-5 (Devam) Deney ve nümerik verilerin karşılaştırılması sonucu elde edilen klor ve flor difüzyon katsayıları ile ilgili çizelge ve grafikler



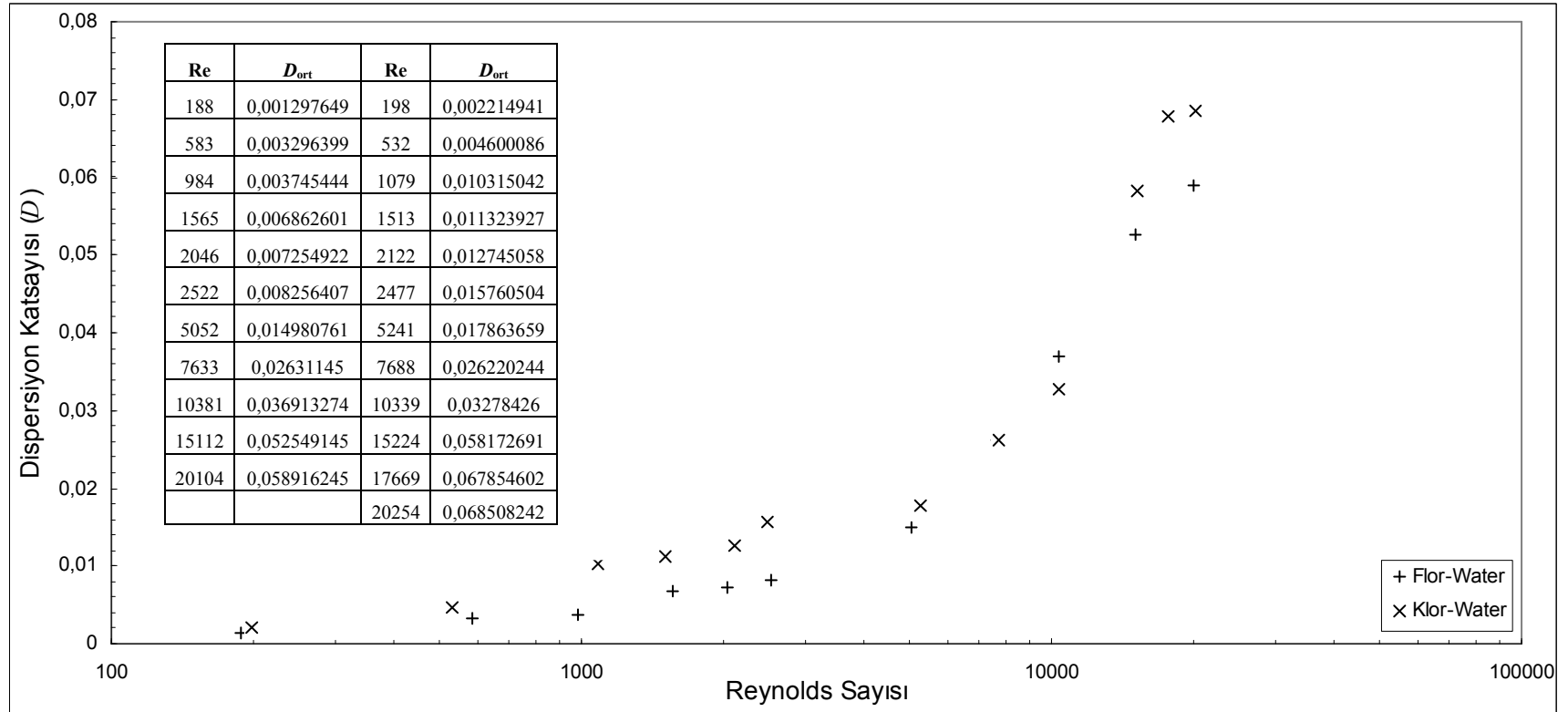
Şekil 5.24. Klor ve florun görünür difüzyon katsayılarının Reynolds sayısına göre değişimi

EK-5 (Devam) Deney ve nümerik verilerin karşılaştırılması sonucu elde edilen klor ve flor difüzyon katsayıları ile ilgili çizelge ve grafikler

Çizelge 5.2. Klor ve florun Reynolds sayısına göre ortalama dispersiyon katsayılarını veren çizelge

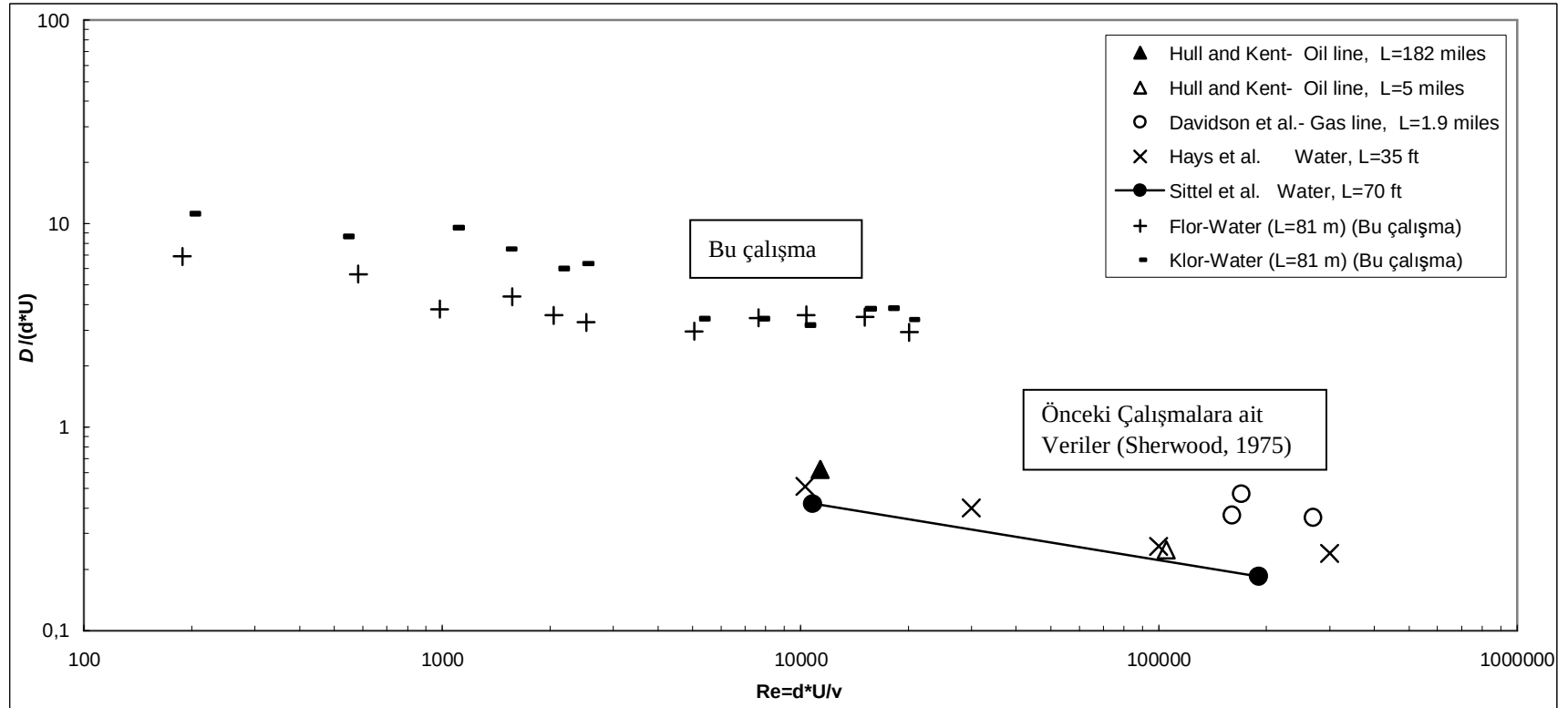
Flor-Su				Klor-Su		
Re	D	$D/(d*U)$		Re	D	$D/(d*U)$
188	0,001297649	6,90238688		198	0,002214941	11,186569
583	0,003296399	5,65420086		532	0,004600086	8,646778
984	0,003745444	3,80634559		1079	0,010315042	9,5598164
1565	0,006862601	4,38504827		1513	0,011323927	7,4844197
2046	0,007254922	3,54590517		2122	0,012745058	6,0061538
2522	0,008256407	3,27375361		2477	0,015760504	6,3627386
5052	0,014980761	2,96531302		5241	0,017863659	3,4084448
7633	0,02631145	3,44706537		7688	0,026220244	3,4105416
10381	0,036913274	3,55584949		10339	0,03278426	3,1709314
15112	0,052549145	3,47731241		15224	0,058172691	3,8211174
20104	0,058916245	2,93057329		17669	0,067854602	3,8403193
				20254	0,068508242	3,3824549

EK-5 (Devam) Deney ve nümerik verilerin karşılaştırılması sonucu elde edilen klor ve flor difüzyon katsayıları ile ilgili çizelge ve grafikler



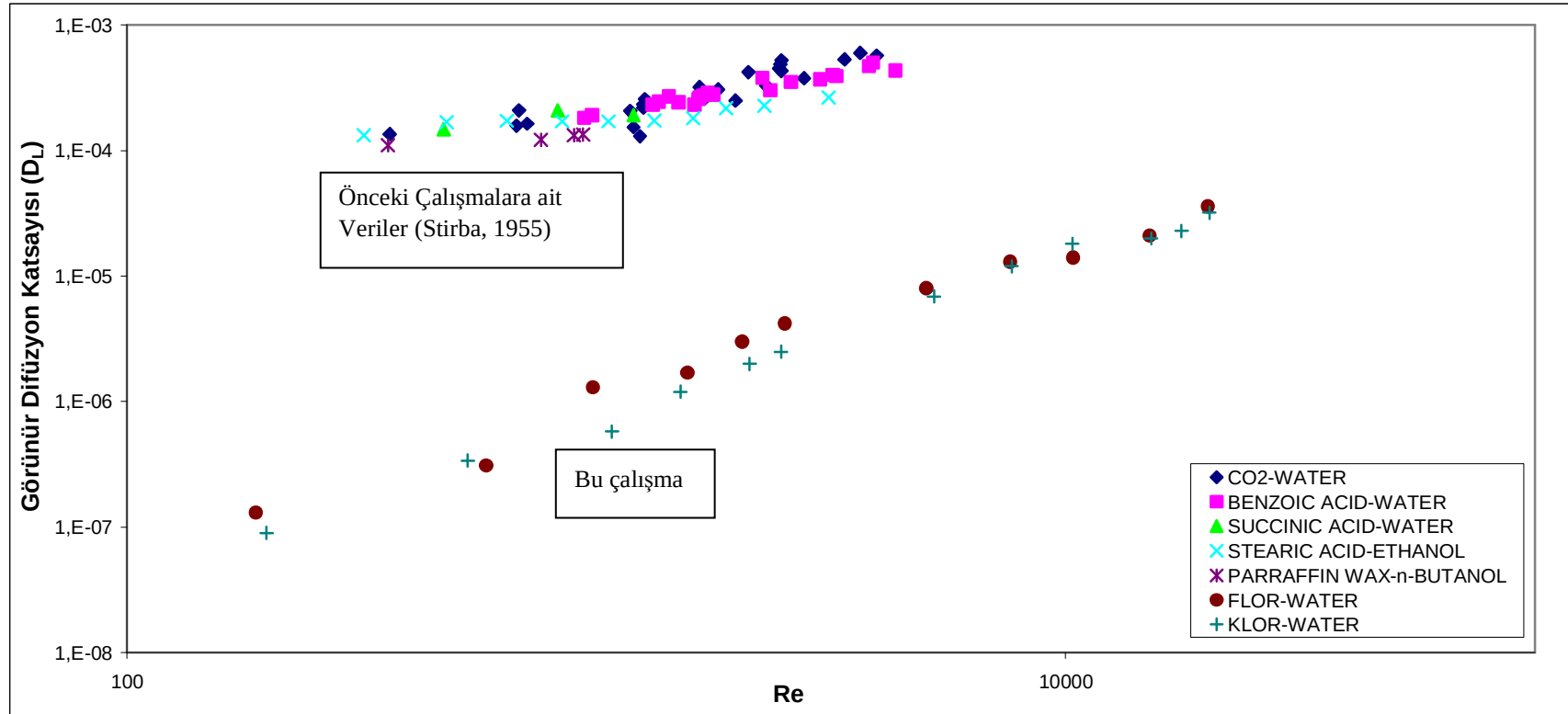
Şekil 5.25. Klor ve florun dispersiyon katsayılarının Reynolds sayısına göre değişimi

EK-5 (Devam) Deney ve nümerik verilerin karşılaştırılması sonucu elde edilen klor ve flor difüzyon katsayıları ile ilgili çizelge ve grafikler



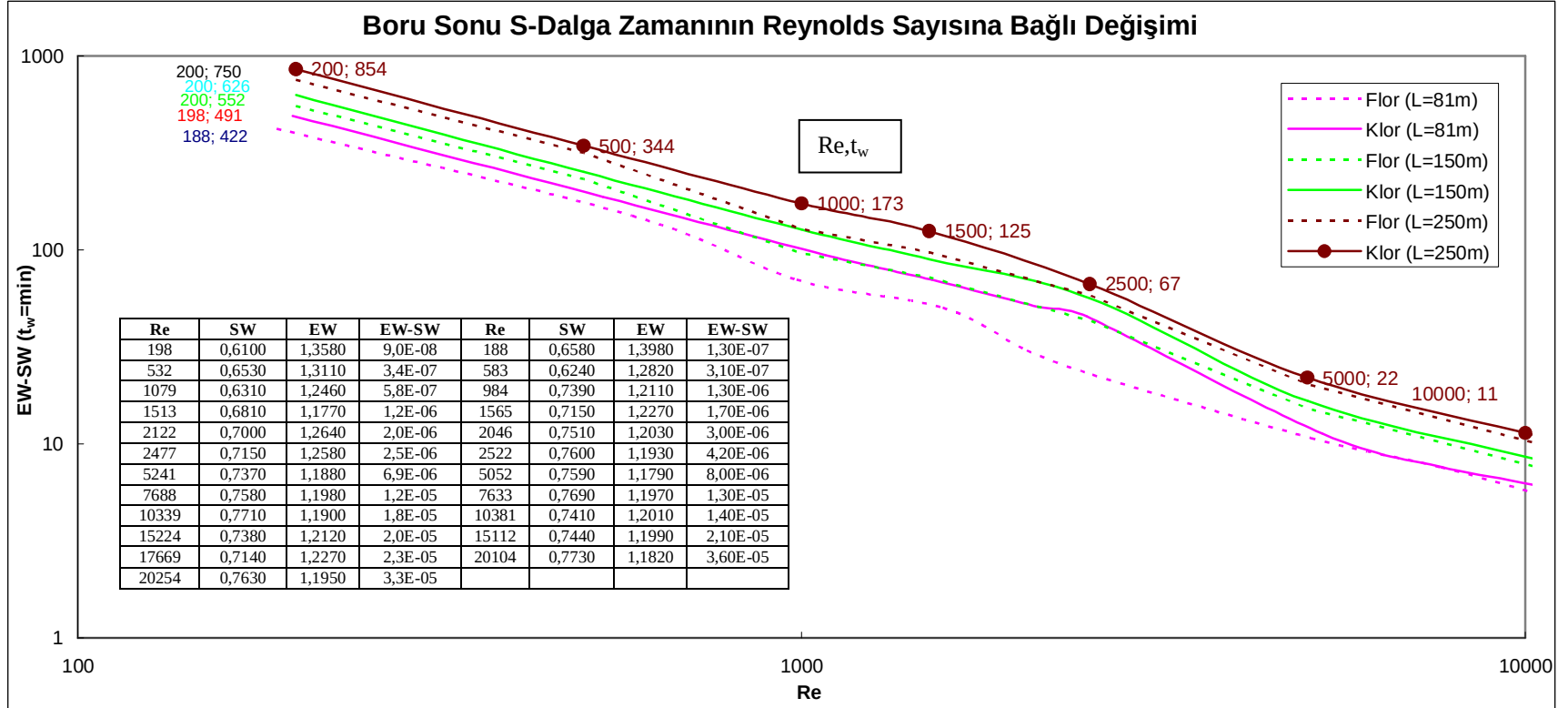
Şekil 5.26. Dispersiyon katsayıları ile hesaplanan boyutsuz büyüklüklerin Reynolds sayısı ile değişimi

EK-5 (Devam) Deney ve nümerik verilerin karşılaştırılması sonucu elde edilen klor ve flor difüzyon katsayıları ile ilgili çizelge ve grafikler



Şekil 5.27. Görünür difüzyon katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi

EK-5 (Devam) Deney ve nümerik verilerin karşılaştırılması sonucu elde edilen klor ve flor difüzyon katsayıları ile ilgili çizelge ve grafikler



Şekil 5.28. Farklı boru uzunlukları için S-dalga zamanının Reynolds sayısı ile değişimi

$t_w = EW-SW$; S-dalgasının (S-curve) boru sonu geçiş süresi

ÖZGEÇMİŞ**Kişisel Bilgiler**

Soyadı, adı : BUYRUK Tarık
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 26.12.1978, Ankara
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0(555) 723 93 90
e-mail : tbuyruk@meteor.gov.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi/İnşaat Müh. Bölümü	2004
Lise	Anadolu Meteoroloji Meslek Lisesi	1997

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
1997-2004	DMİ Genel Müdürlüğü	İstidlalci
2004-	DMİ Genel Müdürlüğü	İnş. Müh.

Yabancı Dil

İngilizce