

**KENTSEL ATIKSU ARITMA TESİSİ ÇIKIŞ SUYUNDA
FENTON PROSESİ VE LAZER IŞINLANMASININ ARITMA
VERİMLİLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**EVALUATION OF TREATMENT EFFECTIVENESS OF
FANTON PROCESS AND LASER BEAM ON URBAN
WASTEWATER TREATMENT PLANT EFFLUENT**

BURHAN ŞAHİN

DOÇ. DR. SELİM L. SANİN

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı için öngördüğü
Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

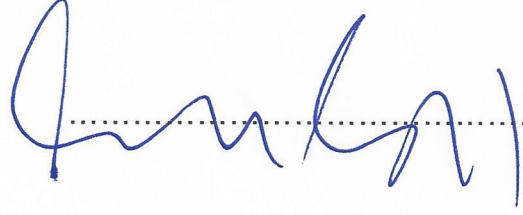
2018

Burhan ŞAHİN'in hazırladığı “**Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi Çıkış Suyunda Fenton Prosesi Ve Lazer Işınlanmasının Arıtma Verimliliğinin Araştırılması**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**’ nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. A. Cemal SAYDAM
Başkan



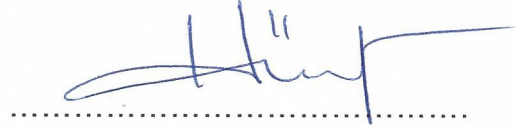
Doç. Dr. Selim L. SANİN
Danışman



Prof. Dr. Gülen GÜLLÜ
Üye



Prof. Dr. Hülya YAVUZ ERSAN
Üye



Doç. Dr. Emre ALP
Üye



Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

YAYINLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe Üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

- ☐ Tezimin/Raporumun tamamı dünya çapında erişime açılabilir ve bir kısmı veya tamamının fotokopisi alınabilir.

(Bu seçenekle teziniz arama motorlarında indekslenebilecek, daha sonra tezinizin erişim statüsünün değiştirilmesini talep etmeniz ve kütüphane bu talebinizi yerine getirirse bile, tezinin arama motorlarının önbelleklerinde kalmaya devam edebilecektir.)

- ☒ Tezimin/Raporumun 01.07.2020 tarihine kadar erişime açılmasını ve fotokopi alınmasını (İç Kapak, Özet, İçindekiler ve Kaynakça hariç) istemiyorum.

(Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin/raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir, kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı ve ya tamamının fotokopisi alınabilir)

- ☐ Tezimin/Raporumun tarihine kadar erişime açılmasını istemiyorum, ancak kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı veya tamamının fotokopisinin alınmasını onaylıyorum.

- ☐ Serbest Seçenek/Yazarın Seçimi

11.07.2018

Burhan SAHİN

(İmza)

Öğrencinin Adı Soyadı

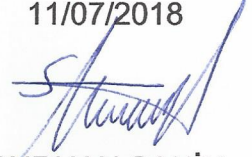
ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

11/07/2018



BURHAN ŞAHİN

ÖZET

KENTSEL ATIKSU ARITMA TESİSİ ÇIKIŞ SUYUNDA FENTON PROSESİ VE LAZER IŞINLANMASININ ARITMA VERİMLİLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Burhan ŞAHİN

Yüksek Lisans, Çevre Mühendisliği

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Selim L. SANİN

Temmuz 2018, 139 Sayfa

Bu tez çalışmasında Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi (KAAT) çıkış suyunda fenton prosesi ve FLAST-NanoMark Fiber Lazer sistemi ile KOİ (mg/L) parametresinin giderimi üzerinden arıtım çalışmaları değerlendirilmiştir.

Fenton prosesinde KAAT çıkış suyu pH:3'e ayarlanmış ve 0,25 gr $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ve 0,08 ml H_2O_2 ilavesi ile %9,52- %28,57 arasında KOİ (mg/L) arıtma verimleri elde edilmiştir.

20 W, 40 kHz, 500 mm/s'ye sahip FLAST-NanoMark Fiber Lazer sisteminde ise KAAT çıkış suyu pH ayarlaması yapılmadan 1 saat lazer ışınlarına maruz bırakılarak 0-60 dk aralıklarında KOİ (mg/L) değerleri ölçülmüştür.

FLAST-NanoMark Fiber Lazer sistemi ile yapılan çalışmalarda KOİ (mg/L) değerlerinde artış ve azalışlar meydana gelse de (KAAT çıkış suyu pH =6,50-7,99 aralığında) 0-30 dk aralığında %4,16 ile %28,12 arasında KOİ (mg/L) arıtma verimleri elde edilmiştir. 0-30 dk. aralıklarında zaman zaman KOİ değerlerin de artış olduğu da gözlemlenmiştir. 0-60 dk arasında FLAST-NanoMark Fiber Lazer sistemi ile yapılan çalışmalarda KOİ (mg/L) değerlerinde dalgalanmalar olduğu gözlenmiştir. KOİ (mg/L) değerindeki dalgalanmaların atıksu içerisinde bulunan organik maddelerin lazer ışınları ile parçalanması sonucunda olduğu değerlendirilmiştir. Bu çalışmada atıksu arıtma tesisinde belirli işlemlerden geçen atıksuyun tekrar arıtılması için fenton prosesi uygulanmıştır.

Fenton prosesinin arıtma sürecini tamamlamış ve deşarj edilecek olan atıksuyun KOİ değerini düşürmek için uygulanması durumunda arıtma verimine fazla bir katkı sağlamadığı değerlendirilmiştir.

Ayrıca bu çalışmada FLAST-NanoMark Fiber Lazer sistemi ile atıksu arıtma tesisinde belirli işlemlerden geçen atıksuyun tekrar arıtılma çalışmaları denenmiştir. Sistemin sıcaklık, yüzey alanı, hacim, güç, frekans, hız, atım genişliği ve dalga boyu gibi parametrelerinin tasarım sırasında dikkate alınmasının gerektiği belirlenmiştir. Lazer ile ışınlamanın hem atıksu arıtma tesisi çıkış suyunda hemde atıksu arıtma tesisinin farklı kademelerinde kullanılmasının sistem verimini olumlu yönde etkileyeceği değerlendirilmiştir. Demir iyonları veya diğer katalizörler lazer uygulamalarında etkili olabilir.

Anahtar Kelimeler: Fiber Lazer Sistemi, Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi Çıkış Suyu, Fenton Prosesi, Katalizör.



ABSTRACT

EVALUATION OF TREATMENT EFFECTIVENESS OF FANTON PROCESS AND LASER BEAM ON URBAN WASTEWATER TREATMENT PLANT EFFLUENT

Burhan ŞAHİN

Master, Department of Environmental Engineering

Supervisor: Doç. Dr. Selim L. SANİN

July 2018, 139 pages

In this thesis, removal of COD from treated urban wastewater treatment plant (UWWTP) using fenton process and fiber laser irradiation is investigated.

Urban wastewater treatment plant effluent was set to pH 3 for Fenton process 0,25 gr FeSO_4 and 0.08 ml H_2O_2 , was used to remove chemical oxygen demand (COD-mg/L). COD Treatment efficiencies between 9,52 - 28,57% were obtained.

For laser irradiations Flast-NanoMark fiber laser system with 20 W, 40 Khz, 500 mm/s was used. Change in COD (mg/l) values were measured during laser irradiation in 60 minute time interval.

No pH adjustment was made in the urban waste treatment plant effluent. Although COD value fluctuations were observed in the studies which were carried out with the Flast-Nanomark fiber laser system a %4, to % 28 removal efficiencies were obtained. The fluctuations in the value of COD were attributed to the decomposition of nondegradable organic materials in wastewater by laser beams. In this thesis, fenton process was used in order to re-treat wastewater for specific pollutants in the wastewater treatment plant effluent.

The Fenton process applied to the treatment plant effluent did not contribute much to the effluent quality in terms of the COD.

In control parameters of the laser system such as temperature, surface area, volume, power, frequency, speed, pulse width and wavelength were determined to be consideration during laser process design. The use of laser beams at different stages of the wastewater treatment plant will positively affect the efficiency of the treatment process. As a result of this study, it was determined that dissolved iron or other chemicals can be used as catalysts during laser irradiation.

Keywords: Fiber Laser System, Urban Wastewater Treatment Plant Effluent Water, Fenton Process, Catalyst.



TEŞEKKÜR

Hayatım boyunca benden emeklerini esirgemeyen çok kıymetli annem **Havva ŞAHİN'e**, çok değerli babam **Hayrullah ŞAHİN'e**, abilerim **Emrullah ŞAHİN** ve **Furkan Zati ŞAHİN'e**, tez çalışmam boyunca desteklerini hiç esirgemeyen değerli danışman hocam **Doç. Dr. Selim L. SANİN'e**, çalışmamda kullanmış olduğum lazer sisteminin temininde ve her türlü kullanımında emeklerini esirgemeyen Fiberlast A.Ş. Yönetim Kurulu Başkanı Sayın **Koray EKEN'e**, Satış ve Pazarlama Direktörü Sayın **Aykut ALTINKAYNAK'a** teşekkürlerimi sunuyorum.



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
TABLolar	vii
GRAFİKLER	x
ŞEKİLLER	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiv
1. GİRİŞ	1
2. KENTSEL ATIKSU ARITMA YÖNTEMLERİ	8
3. FENTON VE LAZER IŞINININ İLERİ ARITMA AMAÇLI KULLANILMASININ ARAŞTIRILMASI	10
3.1 Fenton Prosesi	10
3.2 Lazer Sisteminin Çalışma Prensibi	12
4. MATERYAL VE METOT	14
4.1. Kullanılan Cihazlar ve Araç-Gereçler	14
4.2. Kullanılan Kimyasallar	15
4.3. Fenton Prosesi	16
4.4. Fiber Lazer Işınlama Sistemi	20
5. SONUÇLAR	27
5.1. Atıksu Arıtma Tesisi Çıkış suyunda Fenton Prosesinin Uygulanması	27
5.2. Fiber Lazer Sisteminin Potansiyel Kentsel Atıksu Arıtma Prosesi Olarak Araştırılması	35
6. TARTIŞMA	67
KAYNAKLAR	71
EKLER	75
ÖZGEÇMİŞ	139

TABLÖLAR

Sayfa

Tablo 4.1. KAAT Giriş-Çıkış Suyuna Ait Özellikler.....	14
Tablo 5.1. KAAT Çıkış Suyuna Fenton Prosesinin Uygulanması Sonrası KOİ Ölçüm Sonuçları 1 (250 ml numune, pH:3, 0,25 gr, FeSO ₄ .7H ₂ O, 0,08 ml H ₂ O ₂) .	28
Tablo 5.2. KAAT Çıkış Suyuna Fenton Prosesinin Uygulanması Sonrası KOİ Ölçüm Sonuçları 2 (250 ml numune, pH:3, 0,25 gr, FeSO ₄ .7H ₂ O, 0,08 ml H ₂ O ₂) .	28
Tablo 5.3. Saf Suya Siyah Kumaş Boyası İlave Edilerek Fenton Prosesi Uygulamasından Sonra ABS Ölçüm Sonuçları (250 ml saf su, 0,025- 0,05 gr Boya, 0,25 gr FeSO ₄ .7H ₂ O, 0,08 ml H ₂ O ₂ , 563 nm)	32
Tablo 5.4. Saf Suya Yeşil Kumaş Boyası İlave Edilerek Fenton Prosesi Uygulamasından Sonra ABS Ölçüm Sonuçları (250 ml saf su, 0,05- 0,1 gr Boya, 0,25 gr FeSO ₄ .7H ₂ O, 0,08 ml H ₂ O ₂ , 402 nm)	33
Tablo 5.5. Saf Suya Siyah Kumaş Boyası İlave Edilerek Fenton Prosesi Uygulamasından Sonra KOİ Ölçüm Sonuçları (250 ml saf su, 0,025- 0,05 gr Boya, 0,25 gr FeSO ₄ .7H ₂ O, 0,08 ml H ₂ O ₂).....	33
Tablo 5.6. Saf Suya Yeşil Kumaş Boyası İlave Edilerek Fenton Prosesi Uygulamasından Sonra KOİ Ölçüm Sonuçları (250 ml saf su, 0,05- 0,1 gr Boya, 0,25 gr FeSO ₄ .7H ₂ O, 0,08 ml H ₂ O ₂).....	34
Tablo 5.7. Saf Suya Lazer Işını Uygulanması Sırasında Sıcaklık Değişimlerine Ait Verilerin Denklemleri (250 ml, 50 W, 200 kHz, 500 mm/s)	36
Tablo 5.8. Saf Suya Metilen Mavisi İlavesi Sonrası Lazer Işını Uygulanması Sırasında Sıcaklık Değişimlerine Ait Verilerin Denklemleri (250 ml, 50 W, 100 kHz, 500 mm/s)	38
Tablo 5.9. Saf Suya Yeşil ve Siyah Kumaş Boyası İlavesi ile KAAT Çıkış Suyuna Lazer Işını Uygulanması Sırasında Sıcaklık Değişimlerine Ait Verilerin Denklemleri (250 ml, 50 W, 100 kHz, 500 mm/s)	39
Tablo 5.10. KAAT Çıkış Suyuna Lazer Işını Uygulanması Sonrası KOİ Sonuçları (250 ml, 50 W, 100 kHz, 500 mm/s)	41
Tablo 5.11. Saf Suya Siyah Kumaş Boyası İlave Edilerek Lazer Işını Uygulamasından Sonra Sıcaklık Ölçüm Sonuçlarına Ait Verilerin Denklemleri (250 ml saf su, 0,025- 0,1 gr Boya, 20 W, 100 kHz, 500 mm/s)	42

Tablo 5.12. Saf Suyu Siyah Kumaş Boyası İlave Edilerek Lazer Işını Uygulamasından Sonra ABS Ölçüm Sonuçlarına Ait Verilerin Denklemleri (250 ml saf su, 0,025 – 0,1 gr Boya, 20 W, 100 kHz, 500 mm/s)	44
Tablo 5.13. Saf Suyu Siyah Kumaş Boyası İlave Edilerek Lazer Işını Uygulamasından Sonra KOİ Ölçüm Sonuçlarına Ait Verilerin Denklemleri (250 ml saf su, 0,025 – 0,1 gr Boya, 20 W, 100 kHz, 500 mm/s)	45
Tablo 5.14. Saf Suyu Yeşil ve Siyah Kumaş Boyası İlavesi ile KAATÇıkış Suyuna Lazer Işını Uygulamasından Sonra KOİ Ölçüm Sonuçlarına Ait Verilerin Denklemleri (250 ml, 50 W, 100 kHz, 500 mm/s)	47
Tablo 5.15. KAAT Çıkış Suyuna Lazer Işını Uygulaması Sırasında Sıcaklık Değişimine Ait Verilerin Denklemleri (250 ml, 20 W, 100 kHz, 500 mm/s)	48
Tablo 5.16. Saf Suyu Yeşil Kumaş Boyası İlavesi ile Lazer Işını Uygulamasından Sonra Sıcaklık Ölçüm Sonuçlarına Ait Verilerin Denklemleri (250 ml, 20 W, 100 kHz, 500 mm/s, 0,05- 0,1 gr boya)	49
Tablo 5.17. Saf Suyu Yeşil Kumaş Boyası İlavesi ile Lazer Işını Uygulamasından Sonra ABS Ölçüm Sonuçları Ait Verilerin Denklemleri (250 ml, 20 W, 100 kHz, 500 mm/s, 0,05 – 0,1 gr boya)	50
Tablo 5.18. Saf Suyu Yeşil Kumaş Boyası İlavesi ile Lazer Işını Uygulamasından Sonra KOİ Ölçüm Sonuçlarına Ait Verilerin Denklemleri (250 ml, 20 W, 100 kHz, 500 mm/s, 0,05 – 0,1 gr boya).....	51
Tablo 5.19. KAAT Çıkış Suyuna Lazer Işını Uygulanması Sonrası Sıcaklık Değişimine Ait Verilerin Denklemleri (250 ml, 20 W, 40 kHz, 500 mm/s)	53
Tablo 5.20. KAAT Çıkış Suyuna Ağrı Kesici İlavesi Sonrasında Lazer Işını Uygulanması Sırasında Sıcaklık Ölçüm Sonuçlarına Ait Verilerin Denklemleri (250 ml, 0,1 gr Ağrı Kesici, 20 W, 40 kHz, 500 mm/s)	60
Tablo 5.21. KAAT Çıkış Suyuna Ağrı Kesici İlavesi Sonrasında Lazer Işını Uygulanması Sırasında KOİ Ölçüm Sonuçlarına Ait Verilerin Denklemleri (250 ml, 0,1 gr Ağrı Kesici, 20 W, 40 kHz, 500 mm/s).....	61
Tablo 5.22. KAAT Çıkış Suyuna Antibiyotik İlavesi Sonrasında Lazer Işını Uygulanması Sırasında Sıcaklık Ölçüm Sonuçlarına Ait Verilerin Denklemleri (250 ml, 0,1 gr Ağrı Kesici, 20 W, 40 kHz, 500 mm/s)	62
Tablo 5.23. KAAT Çıkış Suyuna Antibiyotik İlavesi Sonrasında Lazer Işını Uygulanması Sırasında KOİ Ölçüm Sonuçlarına Ait Verilerin Denklemleri (250 ml, 0,1 gr Ağrı Kesici, 20 W, 40 kHz, 500 mm/s).....	63

Tablo 5.24. KAAT Çıkış Suyuna Demir İlavesi Sonrasında Lazer Işını

Uygulanması Sırasında Sıcaklık Ölçüm Sonuçlarına Ait Verilerin Denklemleri (250 ml, 0,1 gr $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 20 W, 40 kHz, 500 mm/s)..... 65

Tablo 5.25. KAAT Çıkış Suyuna Demir İlavesi Sonrasında Lazer Işını

Uygulanması Sırasında KOİ Ölçüm Sonuçlarına Ait Verilerin Denklemleri (250 ml, 0,1 gr $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 20 W, 40 kHz, 500 mm/s) 66



GRAFİKLER

Sayfa

Grafik 5.1. KAAT Çıkış Suyuna Fenton Prosesinin Uygulanması Sonrası KOİ Değişimi (250 ml numune, pH:3, 0,25 gr $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0,08 ml H_2O_2).....	29
Grafik 5.2. KAAT Çıkış Suyuna Ağrı Kesici İlave Edilerek Fenton Prosesinin Uygulanması Sonrası KOİ Değişimi (250 ml numune, pH:3, 0,25 gr $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0,08 ml H_2O_2 , 0,1 gr Ağrı Kesici)	30
Grafik 5.3. KAAT Çıkış Suyuna Amoksisilin / klavulanik asit İlave Edilerek Fenton Prosesinin Uygulanması Sonrası KOİ Değişimi (250 ml numune, pH:3, 0,25 gr $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0,08 ml H_2O_2 , 0,1 gr Antibiyotik)	31
Grafik 5.4. Saf Suya Lazer Işını Uygulanması Sırasında Sıcaklık Değişimi (250 ml, 50 W, 200 kHz, 500 mm/s)	36
Grafik 5.5. Saf Suya Metilen Mavisi İlavesi Sonrası Lazer Işını Uygulanması Sırasında Sıcaklık Değişimi (250 ml, 50 W, 100 kHz, 500 mm/s).....	37
Grafik 5.6. Saf Suya Yeşil ve Siyah Kumaş Boyası İlavesi ile KAAT Çıkış Suyuna Lazer Işını Uygulanması Sırasında Sıcaklık Değişimi (250 ml, 50 W, 100 kHz, 500 mm/s)	39
Grafik 5.7. KAAT Çıkış Suyuna Lazer Işını Gönderilmesi Sonrası KOİ Sonuçları (250 ml, 50 W, 100 kHz, 500 mm/s)	41
Grafik 5.8. Saf Suya Siyah Kumaş Boyası İlave Edilerek Lazer Işını Uygulamasından Sonra Sıcaklık Ölçüm Sonuçları (250 ml saf su, 0,025 – 0,1 gr Boya, 20 W, 100 kHz, 500 mm/s).....	42
Grafik 5.9. Saf Suya Siyah Kumaş Boyası İlave Edilerek Lazer Işını Uygulamasından Sonra ABS Ölçüm Sonuçları (250 ml saf su, 0,025- 0,1 gr Boya, 20 W, 100 kHz, 500 mm/s)	43
Grafik 5.10. Saf Suya Siyah Kumaş Boyası İlave Edilerek Lazer Işını Uygulamasından Sonra KOİ Ölçüm Sonuçları (250 ml saf su, 0,025- 0,1 gr Boya, 20 W, 100 kHz, 500 mm/s)	45
Grafik 5.11. Saf Suya Yeşil ve Siyah Kumaş Boyası İlavesi ile KAAT Çıkış Suyuna Lazer Işını Uygulamasından sonra KOİ Ölçüm Sonuçları (250 ml, 50 W, 100 kHz, 500 mm/s)	46
Grafik 5.12. KAAT Çıkış Suyuna Lazer Işını Uygulanması Sırasında Sıcaklık Değişimi (250 ml, 20 W, 100 kHz, 500 mm/s)	48

Grafik 5.13. Saf Suya Yeşil Kumaş Boyası İlavesi ile Lazer Işını Uygulamasından Sonra Sıcaklık Ölçüm Sonuçları (250 ml, 20 W, 100 kHz, 500 mm/s, 0,05- 0,1 gr boya)	49
Grafik 5.14. Saf Suya Yeşil Kumaş Boyası İlavesi ile Lazer Işını Uygulamasından Sonra ABS Ölçüm Sonuçları (250 ml, 20 W, 100 kHz, 500 mm/s, 0,05 – 0,1 gr boya)	50
Grafik 5.15. Saf Suya Yeşil Kumaş Boyası İlavesi ile Lazer Işını Uygulamasından Sonra KOİ Ölçüm Sonuçları (250 ml, 20 W, 100 kHz, 500 mm/s, 0,05 – 0,1 gr boya)	51
Grafik 5.16. KAAT Çıkış Suyuna Lazer Işını Uygulanması Sırasında Sıcaklık Değişimi (250 ml, 20 W, 40 kHz, 500 mm/s)	52
Grafik 5.17. 18.01.2018 tarihinde KAAT Çıkış Suyundan Alınan Numunelere Ait KOİ Ölçüm Sonuçları (250 ml, 20 W, 40 kHz, 500 mm/s)	54
Grafik 5.18. 22.01.2018 tarihinde KAAT Çıkış Suyundan Alınan Numuneye Ait KOİ Ölçüm Sonuçları (250 ml, 20 W, 40 kHz, 500 mm/s)	55
Grafik 5.19. 24.01.2018 tarihinde KAAT Çıkış Suyundan Alınan Numunelerin 24.01.2018 Tarihi ile 25.01.2018 Tarihinde Yapılan Analizlere Ait KOİ Ölçüm Sonuçları (250 ml, 20 W, 40 kHz, 500 mm/s)	56
Grafik 5.20. 27.01.2018 tarihinde KAAT Çıkış Suyundan Alınan Numunelere Ait KOİ Ölçüm Sonuçları (250 ml, 20 W, 40 kHz, 500 mm/s)	57
Grafik 5.21. 27.01. 2018 tarihinde KAAT Çıkış Suyundan Alınan Numunelerin 29.01.2018 tarihinde Yapılan Analizlere Ait KOİ Ölçüm Sonuçları (250 ml, 20 W, 40 kHz, 500 mm/s)	58
Grafik 5.22. KAAT Çıkış Suyuna Ağrı Kesici İlavesi Sonrasında Lazer Işını Uygulanması Sırasında Sıcaklık Ölçüm Sonuçları (250 ml, 0,1 gr Ağrı Kesici, 20 W, 40 kHz, 500 mm/s)	59
Grafik 5.23. KAAT Çıkış Suyuna Ağrı Kesici İlavesi Sonrası Lazer Işını Uygulanması Sonrasında KOİ Ölçüm Sonuçları (250 ml, 0,1 gr Ağrı Kesici, 20 W, 40 kHz, 500 mm/s)	60
Grafik 5.24. KAAT Çıkış Suyuna Antibiyotik İlavesi Sonrasında Lazer Işını Uygulanması Sırasında Sıcaklık Ölçüm Sonuçları (250 ml, 0,1 gr Ağrı Kesici, 20 W, 40 kHz, 500 mm/s)	62

Grafik 5.25. KAAT Çıkış Suyuna Antibiyotik İlavesi Sonrasında Lazer Işını Uygulanması Sırasında KOİ Ölçüm Sonuçları (250 ml, 0,1 gr Ağrı Kesici, 20 W, 40 kHz, 500 mm/s)	63
Grafik 5.26. KAAT Çıkış Suyuna Demir İlavesi Sonrasında Lazer Işını Uygulanması Sırasında Sıcaklık Ölçüm Sonuçları (250 ml, 0,1 gr $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 20 W, 40 kHz, 500 mm/s)	64
Grafik 5.27. KAAT Çıkış Suyuna Demir İlavesi Sonrasında Lazer Işını Uygulanması Sırasında KOİ Ölçüm Sonuçları (250 ml, 0,1 gr $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 20 W, 40 kHz, 500 mm/s)	65



ŞEKİLLER

Sayfa

Şekil 1.1. Çevre Koruma Ajansı'na Göre Öncelikli Kirleticiler Listesi	6
Şekil 3.1. Lazer Çalışma Prensibi	13
Şekil 4.1. Fenton Prosesine Ait Akım Şeması.....	17
Şekil 4.2. Fenton Prosesine Ait Deney Düzeneği	18
Şekil 4.3. KAAT Çıkış Suyuna $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ İlavesi Sonrası Karıştırma İşlemi	18
Şekil 4.4. KAAT Çıkış Suyuna H_2O_2 İlavesi Sonrası Karıştırma İşlemi	19
Şekil 4.5. Fenton Prosesinde Çökelme İşlemi.....	19
Şekil 4.6. Fenton Prosesinde Çökelme İşleminin Tamamlanması	20
Şekil 4.7. Fiber Lazer Işınlama Deney Planlaması Sistemine Ait Akış Şeması....	21
Şekil 4.8. Fiber Lazer Işınlama Deney Düzeneği	22
Şekil 4.9. Fiberlast A.Ş. Üretimi FLAST-NanoMark Fiber Lazer Sisteminin Teknik Özellikleri.....	22
Şekil 4.10. Flast-Nanomark Fiber Lazer Sistemi ve Deney Düzeneklerine Ait Fotoğraflar	23
Şekil 4.11. Lazerin KAAT Çıkış Suyuna Temas Ettiği Nokta	24
Şekil 4.12. Lazerin KAAT Çıkış Suyuna Temas Ettiği Nokta-2	25
Şekil 4.13. Lazerin KAAT FeSO_4 İlave Edilmiş Çıkış Suyuna Teması	26

SİMGELER VE KISALTMALAR

ABD	:	Amerika Birleşik Devletleri
AKM	:	Askıda Katı Madde
KAAT	:	Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi
KOİ	:	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
AOP	:	Gelişmiş Oksidasyon Prosesleri
SÇD	:	Su Çerçeve Direktifi
EPA	:	Çevre Koruma Ajansı
SKKY	:	Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği



1.GİRİŞ

Dünyada küreselleşme ile birlikte sanayileşme süreci de hızlanmıştır. Bunun sonucunda da kentselleşme de hızlı bir şekilde ilerlemektedir. Dünyada kırsal nüfusta azalma ve şehir nüfusunda da artma görülmektedir. Kırsal nüfus endüstrilerin olduğu bölgelere göre göç etmektedirler. 1950 yılında dünya nüfusunda kentsel nüfusun kırsal nüfusa oranı %29,1'ken, 2010 yılında %51,3'e yükselmiş ve 2025 yılında da bu oranın %58,3'e çıkacağı öngörülmektedir [1]. Bu verilerden de anlaşılacağı üzere kentsel nüfusun her geçen gün arttığı bunun da tüketimi ve yerleşimi arttıracığından daha fazla atık ve atıksu oluşacağı ortaya çıkmaktadır.

Dünyadaki atık ve atıksu miktarının artmasını; nüfusun artışı, yaşam standardının giderek değişmesi ve artması, şehirleşme oranının yükselmesi, tüketmiş olduğumuz maddelerinin her geçen gün çeşitlenmesi gibi nedenlere bağlayabiliriz. Atıksu ise ticari binalar, endüstri kuruluşları, maden ocakları, cevher yıkama ve zenginleştirme tesisleri, kentsel bölgeler, tarımsal alanlar, sanayi bölgeleri, tamirhaneler, atölyeler ile diğer kullanımlar sonucunda kirlenmiş veya özellikleri kısmen veya tamamen değişmiş suların neden olduğu karmaşık kimyasal çözeltilerdir [2].

Atıksuların klasik yöntemlerle arıtıldıktan sonra bile doğaya salınması doğanın ekolojik dengesinin bozulmasına neden olmaktadır. Bu atıksular; dolaylı olarak bitki, hayvan ve insan sağlığını da olumsuz şekilde etkilemektedir [3].

Türkiye'de şehirleşme ile meydana gelen değişimlerin yanında, mevcut ekonomik koşullar, kentleşme ile beraber zorunlu hale gelen pek çok yatırım faaliyetlerinin yapılmasını gerekli kılmaktadır. Bahse konu duruma en iyi örnek olarak şehirlerimizde bulunan atıksuların toplanarak arıtıldığı sistemleri verebiliriz. Şehir yaşamının gerekliliklerinden biri de kullanılmış olan suların toplanarak alıcı ortama verilmeden önce çevreye olumsuz etkiye neden olmayacak şekilde arıtılma işleminin yapılarak deşarj işleminin gerçekleştirilmesidir. Özellikle doğal özelliklerini kaybetmeyerek kullanım imkanları kaybolmamış alıcı ortamların mutlak korunması gerekmektedir. Bu kapsamda Türkiye'de yürürlükte bulunan mevzuat çerçevesinde bütün belediyelerimizin atıksu arıtma ile ilgili sorunlarını mevcut

teknolojiler ışığında çözüme kavuşturmaları gerekmektedir. Ayrıca, son yıllarda arıtılamayan kalıcı kirleticileri de arıtabilen sistemlere olan ihtiyacın arttığı görülmektedir [4].

Her konuda geliştirilen çalışmaların çevre konusunda da ilerlemesi ihtiyacı gün geçtikçe ortaya çıkmaktadır. Bugünlere kadar konvansiyonel sistemlerle yapılan çalışmaların yeterli olduğu düşünülmektedir. Ancak gelişen teknolojiler ve yaşam da meydana gelen değişiklikler nedeniyle bu sistemlerin tekrar değerlendirilmesi gerekliliği ortaya çıkarak daha ileri seviyeye ulaşılması gerektiği vurgulanmaktadır. Çevresel açıdan bakıldığında gerek atıksuların gerekse de doğal suların arıtılması konusunda konvansiyonel sistemlerin yeterli olmadığı anlaşılmaktadır. Yapılan birçok çalışmada atıksuların konvansiyonel sistemlerle arıtılarak doğaya verildiğinde az miktarda da olsa çevresel açıdan olumsuz etkiler oluşturduğu gözlemlenmiştir [5;6]. Burada değerlendirilmesi gereken bu kirleticiler, atıksu içerisinde eser miktarda yüksek etkiye sahip olması nedeniyle öncelikli kirleticiler olarak adlandırılmaktadır.

Günlük yaşamımızda meydana gelen değişiklikler, teknolojinin gün geçtikçe ilerlemesi, evde kullanmış olduğumuz kimyasal maddelerin değişmesi, buna bağlı olarak oluşan atık miktarını ve karakterizasyonunu değiştirmektedir.

İlaç endüstrisi dünya çapında en büyük ve en önemli sektörlerden birisidir. İlaç sektöründe insan ve hayvan sağlığını korumak ve tedavileri için çok çeşitli organik ve inorganik farmasötik ürünler üretilmektedir. İlaç sektörünün 21. yüzyılın başında 390 milyar dolar olan küresel büyüklüğü ilk onbeş yıllık süreçte 1047 milyar dolara yükselmiştir ve 2021 yılında 1470 milyar dolarlık bir sektör büyüklüğü öngörülmektedir. Bu durum arıtma tesislerine ve alıcı ortamlara daha fazla farmasötik kimyasalların geleceğini de göstermektedir [7].

Dünya çapında kullanımın bir sonucu olarak sucul ekosistemlerinde düşük konsantrasyonlarda (ng/L veya µg/L) farmasötik maddelere rastlanmaktadır. Farmasötik konsantrasyonları atıksu arıtma tesislerinde daha çok daha yüksek olmaktadır [8].

Sucul ekosistemlerde tespit edilen farmasötik kimyasallar antibiyotikler, antikonvülzanlar, ağrı kesiciler, sitostatik ilaçlar, hormonlar, kolesterol düzenleyiciler, beta-blokerler, antihistaminikler, ve tanı X-ışını kontrast ortamı

amidotrizoik asit türü ilaçlar (diatrizoat ve amidotrizoat olarak bilinir) olarak sıralanabilir. Bu ilaçlar arasında antibiyotikler ve ağrı kesiciler en yaygın tespit edilenlerdir [9].

Çeşitli reçeteli reçetesiz ilaçlar evlerde tüketilirken, sağlık merkezlerinde yapılan uygulamalarla da kanalizasyon sistemine farmasötik maddelerin deşarj edildikleri bilinmektedir. Sağlık amaçlı kullanım sonunda kanalizasyon sistemine katılan farmasötik maddeler genellikle metabolize olmuş yan-ürünler olabilir. Öte yandan sıklıkla, kullanılmamış, fazla veya süresi dolmuş ilaçlar da tuvalete atılır. Bu uygulamanın engellenmesi çok zor görünmektedir. İlaçların bulunduğu evsel atık sular konvansiyonel yöntemlerle arıtılsalar bile çıkışta oluşan ilaç kalıntılarının dirençli bakteri türlerinin kaynağı olduğu düşünülmektedir. Antibiyotiklerin atıksu içerisindeki mikrobiyal popülasyonu etkileme potansiyelinin olduğu ve arıtım verimini bozacağı yönünde de görüşler bildirilmiştir [10].

Tekstil atıksuları tüm dünyada klasik çalışan arıtma tesisleri için büyük bir sorundur. Bu atıksuların doğal ortamlara salınması, sucul yaşam için sorunlar yaratmaktadır [11]. Tekstil boyalarının mutajenik olduğu bilinmektedir [11]. Öte yandan Koagülasyon / flokülasyon, membran ayrımı (ultrafiltrasyon, ters osmoz) veya aktif karbon adsorpsiyonu gibi tekstil atık sularına uygulanan geleneksel arıtma teknikleri, sadece kirleticinin bir fazdan diğer bir faza transferini yapar. Biyolojik arıtım tekstil boyalarının arıtımı için tam bir çözümü değildir. Bazı boyaların biyolojik bozunması mümkün değildir. Bu nedenle, Fenton ve Foto-Fenton gibi Gelişmiş Oksidasyon Prosesleri (AOP), tekstil boyalarının işlenmesi ve ortadan kaldırılması için iyi bir seçenek olabilir [12;13;14]. Ayrıca kimyasal koagülasyon ve adsorpsiyon yöntemlerinde yukarıda belirtildiği üzere kirleticilerin sadece bir fazdan diğer bir faza transferi söz konusu olduğundan büyük miktarda çamur ve atık oluşmakta, bunların giderilmesi için daha ileri arıtım yapılması gerekmektedir. Bu nedenle, boya moleküllerinin tam parçalanmasını sağlayan yeni arıtma teknolojilerinin geliştirilmesi çalışmaları yapılmaya başlanmıştır [15].

Piyasada farklı tekstil boyaları mevcuttur. Kimyasal yapıları veya kromofor yapıları dikkate alındığında, 20 veya 30 farklı tekstil boyası tanımlamak mümkündür. Anthraquinone, ftalosiyanın, triarilmetan ve azo boyaları en yaygın kullanılan tekstil

boyası türleridir. Azo boyaları, karakterize moleküler yapısında iki azot atomlu azo grubuna sahip azo boyalar ($-N=N-$), tekstilde en yaygın kullanılan türdür.

Boyama işlemi bittikten sonra tekstil boyalarının %15'inden fazlası atık sularda kalır ve atıksu ile birlikte deşarj edilir. Bu nedenle tekstil boyaları atıksu karakterizasyonunda, arıtma tesislerinde prosesler sırasında ve alıcı ortam için giderilmesi gereken kirletici parametrelerdir [16].

İleri oksidasyon prosesleri tehlikeli veya arıtma süreçlerinde bozunurluğu zor olan kimyasalların arıtılmasında etkili arıtma yöntemleridir. İleri oksidasyon proseslerinde amaç kimyasal(lar)ı uygun sıcaklık ve basınçta tamamen mineralize etmektir. Ancak mineralizasyonun sağlanmaması durumunda oluşan yan ürünlerin zararlı olma ihtimali de vardır [17].

Klasik atıksu arıtma prosesleri atıksuda bulunan konvansiyonel kirletici seviyelerini %90 ve üzerinde gidermesine rağmen, atıksuda arıtılamayan, içinde tekstil boyalarının ve farmasötik maddelerinde yer aldığı %5-%10 civarındaki kirleticiler ekosistem üzerinde kalıcı değişikliklere neden olmaktadır. Arıtılmaları zor olan bu kirleticiler özellikle ilerleyen teknolojik gelişmelerle birlikte yaşantımıza giren kimyasalların yarattığı kirlilik yükleridir. Arıtılamayan bu kirleticiler yakın zaman önce bir sınıflama içine alınmış ve öncelikli kirleticiler olarak tanımlanmıştır. Ekosistemde uzun süre kalıcı olan bu kirleticilerin konsantrasyonlarının düşük oluşu da arıtılmalarını zorlaştıran unsurlardan biridir. Atıksularda oluşan bu değişiklikler, yeni ölçme teknikleri ve geliştirilen standartlar atıksu arıtma tesislerindeki tasarımların ve arıtma yöntemlerinin de değişmesi gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır.

Kimyasalların insan sağlığı ve çevre üzerindeki zararlı etkilerinin keşfedilmesi sonucunda bu etkilerin kontrolüne ilişkin uluslararası ve ulusal düzeyde düzenlemelere ihtiyaç duyulmuştur. Bununla birlikte, kimyasallardan kaynaklanan risklerin ifade edilmesi sonucunda tehlikeli madde ve öncelikli kirletici gibi kavramlar ortaya konularak incelenmeye başlamıştır [18].

ABD'de su kaynakları için risk teşkil eden kimyasal maddelerin kontrol altına alınmasına yönelik çalışmaların neticesinde "tehlikeli kirleticiler listesi" oluşturulmuştur. Tehlikeli Kirletici Listesi 1976 yılında oluşturularak 1977 yılında

Temiz Su Yasasına eklenmiştir. Söz konusu liste EPA tarafından kullanılmak üzere tasarlanarak Atık Su Yönetmeliği, su kalitesi kriterleri ve standartlarının sağlanması için bir başlangıç noktası olarak belirlenmiştir [19].

1976 yılında Avrupa Birliği'nde yayımlanmış olan Tehlikeli Maddeler Direktifi (76/464/EEC) ile su kaynakları açısından risk teşkil eden tehlikeli maddelere ilişkin düzenlemeler getirilmiştir. 2000 yılında Su Çerçeve Direktifi'nin (SÇD) yayımlanması sonucunda öncelikli maddeler belirlenmiş ve bu maddeler incelenmiştir [18;20].

Atıksu arıtma tesislerinin deşarj sularında bulunan kalıcı KOİ yükünün önemli bir kısmını bu tür öncelikli kirleticiler oluşturmaktadır.

Ülkemizde ise "Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği" kapsamında tehlikeli maddeler; "Su ve çevresi için önemli risk teşkil eden ve zehirlilik, kalıcılık ve biyolojik birikme özelliğinde olan madde veya madde grupları " olarak belirtilmiştir. Ayrıca belirli kirleticiler; "Su kütlesine, kalitesini olumsuz yönde etkileyebilecek miktarda deşarj edilen ve yerüstü su kütlesinin iyi ekolojik duruma ulaşması için çevresel kalite standardı belirlenmiş olan madde veya madde grupları" olarak belirtilmiş ve AB tarafından kullanılan terimlerle benzer tanımlamalar getirilerek mevzuatlarımız geliştirilmiştir [21]. Çevre Koruma Ajansı'na göre öncelikli kirleticiler listesi Şekil 1.1 ile verilmiştir [22].

001 Acenaphthene	047 Bromoform (tribromomethane)	090 Dieldrin
002 Acrolein	048 Dichlorobromomethane	091 Chlordane (technical mixture and metabolites)
003 Acrylonitrile	051 Chlorodibromomethane	092 4,4-DDT
004 Benzene	052 Hexachlorobutadiene	093 4,4-DDE (p,p-DDX)
005 Benzidine	053 Hexachloromyclopentadiene	094 4,4-DDD (p,p-TDE)
006 Carbon tetrachloride (tetrachloromethane)	054 Isophorone	095 Alpha-endosulfan
007 Chlorobenzene	055 Naphthalene	096 Beta-endosulfan
008 1,2,4-trichlorobenzene	056 Nitrobenzene	097 Endosulfan sulfate
009 Hexachlorobenzene	057 2-nitrophenol	098 Endrin
010 1,2-dichloroethane	058 4-nitrophenol	099 Endrin aldehyde
011 1,1,1-trichloroethane	059 2,4-dinitrophenol	100 Heptachlor
012 Hexachloroethane	060 4,6-dinitro-o-cresol	101 Heptachlor epoxide (BHC-hexachlorocyclohexane)
013 1,1-dichloroethane	061 N-nitrosodimethylamine	102 Alpha-BHC
014 1,1,2-trichloroethane	062 N-nitrosodiphenylamine	103 Beta-BHC
015 1,1,2,2-tetrachloroethane	063 N-nitrosodi-n-propylamin	104 Gamma-BHC (lindane)
016 Chloroethane	064 Pentachlorophenol	105 Delta-BHC (PCB-polychlorinated biphenyls)
018 Bis(2-chloroethyl) ether	065 Phenol	106 PCB-1242 (Arochlor 1242)
019 2-chloroethyl vinyl ether (mixed)	066 Bis(2-ethylhexyl) phthalate	107 PCB-1254 (Arochlor 1254)
020 2-chloronaphthalene	067 Butyl benzyl phthalate	108 PCB-1221 (Arochlor 1221)
021 2,4, 6-trichlorophenol	068 Di-N-Butyl Phthalate	109 PCB-1232 (Arochlor 1232)
022 Parachlorometa cresol	069 Di-n-octyl phthalate	110 PCB-1248 (Arochlor 1248)
023 Chloroform (trichloromethane)	070 Diethyl Phthalate	111 PCB-1260 (Arochlor 1260)
024 2-chlorophenol	071 Dimethyl phthalate	112 PCB-1016 (Arochlor 1016)
025 1,2-dichlorobenzene	072 1,2-benzanthracene (benzo(a) anthracene)	113 Toxaphene
026 1,3-dichlorobenzene	073 Benzo(a)pyrene (3,4-benzo-pyrene)	114 Antimony
027 1,4-dichlorobenzene	074 3,4-Benzofluoranthene (benzo(b) fluoranthene)	115 Arsenic
028 3,3-dichlorobenzidine	075 11,12-benzofluoranthene (benzo(b) fluoranthene)	116 Asbestos
029 1,1-dichloroethylene	076 Chrysene	117 Beryllium
030 1,2-trans-dichloroethylene	077 Acenaphthylene	118 Cadmium
031 2,4-dichlorophenol	078 Anthracene	119 Chromium
032 1,2-dichloropropane	079 1,12-benzoperylene (benzo(ghi) perylene)	120 Copper
033 1,2-dichloropropylene (1,3-dichloropropene)	080 Fluorene	121 Cyanide, Total
034 2,4-dimethylphenol	081 Phenanthrene	122 Lead
035 2,4-dinitrotoluene	082 1,2,5,6-dibenzanthracene (dibenzo(h) anthracene)	123 Mercury
036 2,6-dinitrotoluene	083 Indeno (1,2,3-cd) pyrene (2,3-o-pheynylene pyrene)	124 Nickel
037 1,2-diphenylhydrazine	084 Pyrene	125 Selenium
038 Ethylbenzene	085 Tetrachloroethylene	126 Silver
039 Fluoranthene	086 Toluene	127 Thallium
040 4-chlorophenyl phenyl ether	087 Trichloroethylene	126 Silver
041 4-bromophenyl phenyl ether	088 Vinyl chloride (chloroethylene)	128 Zinc
042 Bis(2-chloroisopropyl) ether	089 Aldrin	129 2,3,7,8-tetrachloro-dibenzo-p-dioxin (TCDD)
043 Bis(2-chloroethoxy) methane		
044 Methylene chloride (dichloromethane)		
045 Methyl chloride (dichloromethane)		
046 Methyl bromide (bromomethane)		

Şekil 1.1. Çevre Koruma Ajansı'na Göre Öncelikli Kirleticiler Listesi

Atıksu arıtma tesisleri açısından değerlendirilmesi gereken bir başka sorun da mevcut sistemlerde artırılması zor kirleticilerin arıtılmasını sağlamaktır. Yeni deşarj kriterlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Örneğin Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğinde

(SKKY) evsel kentsel atıksuları için deşarj edilen arıtılmış atık sularda kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) 50 mg/L olarak belirlenmiştir.

Bu tez çalışmasının amacı konvansiyonel arıtma teknolojileri ile arıtılmış evsel/kentsel atıksulara, ileri arıtım sağlamak için uygulanabilecek prosesleri araştırmaktır. Atıksu arıtma tesislerinde kullanılan konvansiyonel atıksu arıtma yöntemlerine ek olarak kullanılacak prosesler ile mevcut atıksu arıtma tesislerini daha verimli hale getirilmesi gereklidir. Çünkü kurulmuş ve çalışmakta olan tesisleri kullanırken, mevcut arıtma tesislerine farklı bir bakış açısı geliştirilerek bir arıtma yöntemi ortaya koymak daha ekonomiktir.



2. KENTSEL ATIKSU ARITMA YÖNTEMLERİ

Kentsel atıksular; evsel atıksuların endüstriyel atıksular ve/veya yağmur suları ile karışmış atıksulardan oluşmaktadır [23].

Atıksu arıtma tesisleri tasarlanırken en önemli parametrelerden biri de atıksuların karakterizasyonudur. Bu parametre uygun arıtma sistemlerinin tasarımı ve tesisin düzgün bir şekilde işletilmesi açısından çok önemlidir [24]. Atıksuların karakterizasyonu belirlerken deşarj yönetmeliğinde belirtilen tüm parametreler dikkate alınmalıdır. Evsel ve endüstriyel atıkların arıtılmadan veya gerektiği gibi arıtım yapılmadan deşarj yapılmasıyla alıcı ortamdaki çözünmüş oksijen miktarını azalmasına ve bunun sonucunda ekolojik dengenin bozulmasına neden olmaktadır. Kentsel Atıksu Arıtma Tesislerinde konvansiyonel yöntemlerle arıtma işlemlerinin günümüzde gelişen teknolojiler ve evlerimizde kullanılan birçok maddenin değişmesi nedeniyle arıtma yöntemlerinin değişmesi ve atıksu arıtma tesisi tasarım kriterlerinin de değişmesi gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır.

Evlerde, sanayide, tarımsal ve ticari faaliyetler sonucunda suların çeşitli alanlarda kullanılması sonucu atıksular oluşmaktadır. Oluşan bu atıksular herhangi bir işleme tabi tutulmadan doğaya salınırsa içerdiği organik maddeler, mikroorganizmalar, tehlikeli maddeler ve besi maddeleri nedeniyle insanlar ve çevre üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır. Bu nedenle oluşan bu atıksuların arıtılarak bu maddelerin azaltılması veya giderilmesi gerekmektedir [25]. Arıtma yöntemleri dört başlıkta incelenmektedir. Bunlar; fiziksel arıtma yöntemleri, kimyasal arıtma yöntemleri, biyolojik arıtma yöntemleri ile ileri arıtma yöntemleridir.

Fiziksel arıtma yöntemlerinde herhangi bir kimyasal ayırıcı madde ve bakteri kullanılmamaktadır. Atıksu pompalar aracılığı ile belirli fiziksel yapılar içerisinden geçirilerek kısmen temizlenmektedir. Tamamı bu süreç içerisinde temizlenmez. Fiziksel Arıtma sürecinde yapılan işlemler daha sonraki arıtma sistemlerindeki işlemleri yavaşlatacak, engelleyecek veya ekipmanları bozacak özellikteki kirleticilerin giderilmesi sağlanmaktadır. Izgaralar, elekler, öğütücü, kum tutucu, yağ tutucu, çöktürme havuzu ve flotasyon havuzu gibi ünitelerden oluşan fiziksel

arıtma yöntemlerinin uygulaması ile öncelikli kirleticilerin giderilmesi mümkün değildir.

Kimyasal arıtmanın amacı; fiziksel arıtma ile giderilmesi mümkün olmayan kirleticilerin kimyasal reaksiyonlarda çözünürlüğü düşük bileşiklere dönüştürülmesi ya da koloidal ve askıdaki maddelerin yumaklar oluşturularak çökeltilmesi suretiyle giderilmesidir. Atıksu reaktifler ile tepkimeye sokularak arıtılmış su ve reaksiyon yan ürünler oluşturulur. Kimyasal çöktürme, Nötralizasyon, Pıhtılaştırma-Yumaklaştırma, Kimyasal oksidasyon, İyon değiştirme ve Flotasyon (yüzdürme) prosesleri, doğrudan öncelikli kirleticilerin giderimi için tasarlanmadıkları ve proses sürecinde hala arıtılması gereken daha yüksek konsantrasyonlardaki kirleticiler olduğu için arıtılması zor olan kimyasalların gideriminde yüksek verim elde edilmemektedir.

Biyolojik arıtma, atıksuda koloidal veya çözünmüş halde bulunan biyolojik olarak parçalanabilir maddelerin mikroorganizmalar tarafından besin ve enerji kaynağı olarak kullanılmak suretiyle atıksudan uzaklaştırılması esasına dayanmaktadır. Çökeltim özelliği artırılan biyolojik yumaklar, biyolojik üniteyi takiben çökeltme havuzuna geçmektedir. Arıtılan su, sistemi terk ederken, çöken çamurun bir kısmı havalandırma havuzunda istenen mikro organizma konsantrasyonunu korumak üzere geri devrettirilmektedir. Fazla çamur ise işleme ünitelerine gönderilerek uzaklaştırılmaktadır. Biyo kütlenin aktif çamur sisteminde kalış süresi, organik madde yüklemesi, atıksuyun sistemdeki bekleme süresi gibi faktörlere göre çeşitli aktif çamur alternatifleri kullanılabilir. Biyolojik arıtma süreçleri için Aktif çamur havuzu 2.ci çöktürme, çamur/yoğunlaştırma/çamur çürütme üniteleri yer almaktadır. Daha önceleri yaygın olarak kullanılan damlatmalı filtre biyodisk vb. prosesler yerlerini Anammox vb. daha arıtma verimi yüksek proseslere bırakmıştır.

İleri arıtmada atıksuyun içerisindeki uçucu organik karbon, ağır metal, iyon, nütrient, tat, koku gibi parametreler giderilir. İleri arıtmada kullanılan ve öncelikli kirleticilerin gideriminde etkin olan oksidasyon–indirgenme prosesleri, iyon değiştirme prosesleri, adsorpsiyon kolonları, membran sistemleri ve ileri biyolojik arıtma prosesleri yeni arıtma uygulamalarında öne çıkmaktadır. Bu proseslerin daha etkin ve ekonomik hale getirilmesi için arıtma süreçlerinde doğru kullanımları değerlendirilmelidir.

3. FENTON VE LAZER IŞINININ İLERİ ARITMA AMAÇLI KULLANILMASININ ARAŞTIRILMASI

Fenton prosesi, bilinen en etkili ileri oksidasyon proseslerinde birisidir. Lazer ışınlaması ise atıksu arıtma proseslerinde çok az kullanılmıştır ve atıksu arıtma prosesi olarak kullanılması için teknolojinin geliştirilebilmesi için üzerinde çalışılması gereklidir. Tez çalışması sırasında üzerinde deneysel çalışmalar yapılan her iki proste kalıcı kirleticilerin giderilmesinde ileri arıtma olarak kullanılma potansiyesine sahiptir. Bölüm 3.1 ve Bölüm 3.2’de fenton ve lazer ışınlama proseslerinin temel prensipleri açıklanmaktadır.

3.1 Fenton Prosesi

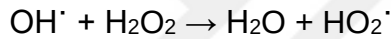
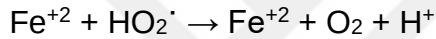
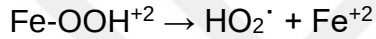
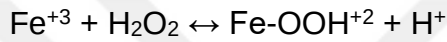
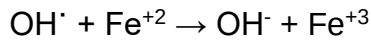
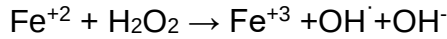
Fenton prosesi asidik şartlar altında Fe^{+2} ’nin H_2O_2 ile reaksiyonuna dayanmaktadır. Bu reaksiyon sonunda hidroksil radikalleri oluşmaktadır. Hidroksil radikalleri seçici olmayıp tüm organik maddeler ile reaksiyona girmekte ve hızlı tüketilen karasız molekülüdür. Fe^{+2} , H_2O_2 ’yi ayrıştırmaya başlar, katalize eder ve hidroksil radikalleri oluşur. Bu proste oluşan ferrik iyonları (Fe^{+3}) H_2O_2 ’yi kataliz eder ve su ile oksijene ayırır. Demir iyonları ve radikaller de reaksiyonlarda oluşmaktadır [26;27].

Fenton prosesi genel olarak 4 aşamalı olarak yürütölmektedir. Bunlar;1-pH ayarlaması, 2-Oksidasyonun gerçekleşmesi, 3-Nötralizasyon-Koagölasyon işlemleri ve 4-Çöktürmedir [26].

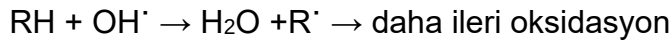
Fenton prosesin gerçekleştirilirken bazı şartlara dikkat edilmesi gerekmektedir. Bunlardan 1. durum pH değeridir. Literatürde yapılan çalışmalar sonucunda optimum pH olarak 3 belirlenmiştir. $pH < 3$ olması durumunda $[Fe^{+2}(H_2O)]^{+2}$ oluşacağından daha az hidroksil radikalleri meydana gelmektedir. $pH > 4$ durumunda ise Fe^{+2} kompleksleri oluşacağından parçalanma hızı düşecektir. 2. durum ise Fe^{+2} iyonu konsantrasyonudur. Fe^{+2} konsantrasyonunun fazla olması illaki parçalanma hızını arttırsa da belirli bir seviyenin üzerinde olması yapılan çalışmalarda parçalanma hızını azalttığı ortaya koyulmuştur. Ayrıca çıkışta çözünmüş ve askıda demir miktarını arttırdığı da ifade edilmiştir. 3. durum ise H_2O_2 konsantrasyonudur. Aynı şekilde H_2O_2 konsantrasyonunun fazla olması parçalanma hızını arttırsa da çok yüksek miktarlarda olması hidroksil radikalleri ile

reaksiyona girmesine neden olduğundan fazla miktarlarda olması istenmez. Ayrıca yüksek miktarlarda H₂O₂ konsantrasyonu kullanılması KOİ (mg/L) değerini arttırdığı da belirtilmiştir. 4. durum ise sıcaklık parametresidir. Sıcaklık ile yapılan çalışmalarda sıcaklığın 10°C-40°C arasında olduğunda arıtma verimini etkilemediği tespit edilmiştir. Ancak sıcaklığın 40°C'nin üzerine çıkması H₂O₂'nin H ve O₂'ye parçalanmasının artmasından dolayı ekstra bir soğutma işlemi gerektirdiğinden tavsiye edilmemektedir [26;27].

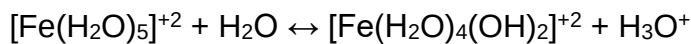
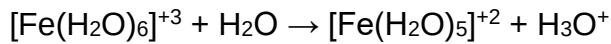
Fenton prosesinin reaksiyon aşamaları aşağıda belirtilmiştir [26;28;29;30]



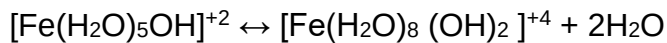
Hidroksil radikalleri protonları çıkararak organikleri okside etmekte ve çok iyi reaktif olan organik radikaller üretilmektedir.

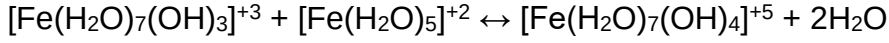


Fe⁺² iyonları, H₂O₂ ile ferrik hidroksi kompleksler oluşturmak üzere reaksiyona girerler.



pH 3-7 arasında yukarıda belirtilen kompleksler aşağıdaki komplekslere dönüşmektedir.





Fenton prosesi;

- Fe^{+2} ve H_2O_2 'nin ucuz olması

- Kütle transfer sınırlamasının olmaması

-Teknolojik olarak prosesin basit olması gibi nedenlerle avantaj sağlamaktadır [26].

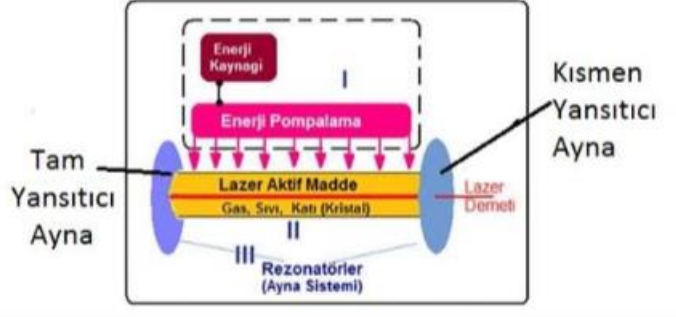
3.2 Lazer Sisteminin Çalışma Prensibi

Genel olarak lazer ışınları dışarıdan bir uyarıcı yardımıyla lazer kaynağı maddenin uyarılarak fotonların yayılmasıyla sağlanmaktadır. Yayılan bu fotonların bir kısmı maddenin içinde bulunduğu kabın yüzeyinden yansıyarak atomlara çarpar ve yeni fotonların meydana gelmesi sağlanmaktadır. Bu şekilde sürekli devam eden reaksiyon sonucunda eş fazlı ve monokromatik ışınlar (Tek bir dalga boyundaki ışık ışınlarından oluşan ışık) meydana gelir. Lazer kaynağı maddeyi çevreleyici kap üzerinde bulunan ve optik geçirgen bir delik vasıtasıyla oluşturulan ışının bir kısmı dışarı gönderilerek istenilen doğrultuda yönlendirilebilir. Ayrıca fiber optik bir kablo yardımı ile de oluşan lazer ışınları istenilen bölgeye taşınması sağlanabilir. Lazer ışının meydana gelmesi için gerekli olan dış kaynaklı enerji ise sisteme kimyasal, elektriksel ve optik olarak sağlanabilmektedir [31;32;33;34;35].

Bir başka deyişle optik bakımdan saydam, bir ucunda tam yansıtıcı bir ayna, diğer ucunda ise yarı yansıtıcı iki ayna bulunan bir tüp alınır. Bu tüplere katı, sıvı ve gaz olan katı maddelerden bir tanesi ile doldurulur. Dış kaynaktan ışık verme ve kimyasal, elektriksel ve optik olarak elde edilen enerji ortamlardaki atomlara ulaştırılır [36;37;38].

Lazer ışınları tek frekanslı olduğu için kayıplar az olmaktadır. Ayrıca lazer ışınları aynı fazda yapılan ışık dalgaları olduğu için şiddeti büyük olmaktadır. Bu yüzden lazer ışınlarının şiddetli güneş ışınlarının şiddetinin bir milyon katıdır. Lazer ışını oluşturan dalgalar tamamen birbirlerine paralel ilerlerler. Lazer ışığı dağılmamasından dolayı çok hassas işlerde çok rahatlıkla kullanılabilir. Lazer ışınları çok uzak mesafelere açısal çarpılmaya uğramadan gidebilmektedirler. Hedeflenen noktada çok yüksek yoğunluğa ulaşabilirler.

Odaklanabilir özelliğe sahiptirler. Lazer ışınlarının oluşması için sistem bir şekilde uyarılmış olmalıdır. Lazer ışını oluşturmak için kullanılan proses ve lazerlerin çalışma prensibi Şekil 3.1. ile gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Lazer Çalışma Prensibi

4. MATERYAL VE METOT

Tez çalışmasında Kentsel Atıksu Arıtma Tesisinde fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak arıtılmış olan suyun alıcı ortama verildiği noktadan alınan numuneler kullanılmıştır. Fenton prosesi ve lazer çalışmalarında Demir Sülfat ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) kullanılmıştır. Fenton prosesinde oksidasyon için %35 w/w çözeltili Hidrojen Peroksit (H_2O_2) kullanılmıştır. KAAT çıkış suyundan alınan numuneye ait özellikler Tablo 4.1 de verilmiştir. Tüm deneylerde ve analizlerde saf su kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan malzemeler asit çözeltisinde bekletilip saf su ile yıkanarak hatalar en aza indirilmiştir. Analizlerde kullanılan atıksular çalışma öncesinde kaynağından alınarak bekletilmeden deneylerde kullanılmıştır. Bazı çalışmalarda ise alınan numuneler uygun şartlarda saklanarak en geç 2 gün içerisinde kullanılmıştır.

Tablo 4.1. KAAT Giriş-Çıkış Suyuna Ait Özellikler

Parametre	Giriş Suyu	Çıkış Suyu
Askıda Katı Madde (AKM) mg/L	305,2	21,6
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) mg/L	322	31
pH	7,86	7,76
Redoks (mv)	-67	-61
Alk. (mg/l CaCO_3)	400	350
$\text{NH}_4\text{-N}$ (12-50 mg/L)	13,56	17,38
$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/l)	17,2	11,9
$\text{NO}_2\text{-N}$ (mg/l)	0	0,04
$\text{PO}_4\text{-P}$ (6-20 mg/L)	3,62	1,24

4.1. Kullanılan Cihazlar ve Araç-Gereçler

Analizler sonucunda Kimyasal Oksijen İhtiyacının (KOİ) ölçülmesinden önce KOİ kitlerinin ısıtılması için Lange LT 200 marka ve Hach DRB 200 marka termoreaktörler kullanılmıştır.

KOİ değerlerinin ölçülmesi için Hach DR 890 marka veri kayıtlı kalorimetre kullanılmıştır.

Fenton prosesinde ve diğer analizlerde pH değerinin okunabilmesi ve ayarlamasının yapılabilmesi amacıyla Thermo Scientific™ Orion™ 3 Yıldızlı Tezgah Üstü pH metre kullanılmıştır.

Fenton prosesi ve FLAST-NanoMark Fiber Lazer ile yapılan deneylerin hepsi 250 ml'lik S&H labware marka beher kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

FeSO₄.7H₂O, siyah ve yeşil kumaş boyaları, Augumentin BID 1000 mg film tablet, Mazejik flurbiprofen 100 mg film tablet ve diğer tüm ağırlık ölçümleri Denver marka ve Precisa XB 22A marka hassas terazi ile yapılmıştır.

Numunelerin alınmasında ve KOİ kitlerine konulmasında 2ml, 5ml ve 10ml'lik enjektörler kullanılmıştır.

Kimyasal Oksijen İhtiyacının (KOİ) belirlenmesi için Hach lange LCI 500 KOİ Kiti (0-150 mg/L O₂), Hach lange LCI 400 KOİ Kiti (0-1500 mg/L O₂), Lovibond küvettentest CSB Vario MR marka 0-1500 mg/L, 0-150 mg/L kitler kullanılmıştır.

Sıcaklık ölçümleri Chy 806 AW çoklu kaydetme özelliğine sahip termometre yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

Absorbans ölçümleri Backman Du 530 UV/VIS marka spektrofotometre ile yapılmıştır.

Numunelerin karıştırma işlemleri Isotex ve Stuart marka manyetik karıştırıcı ile gerçekleştirilmiştir.

4.2. Kullanılan Kimyasallar

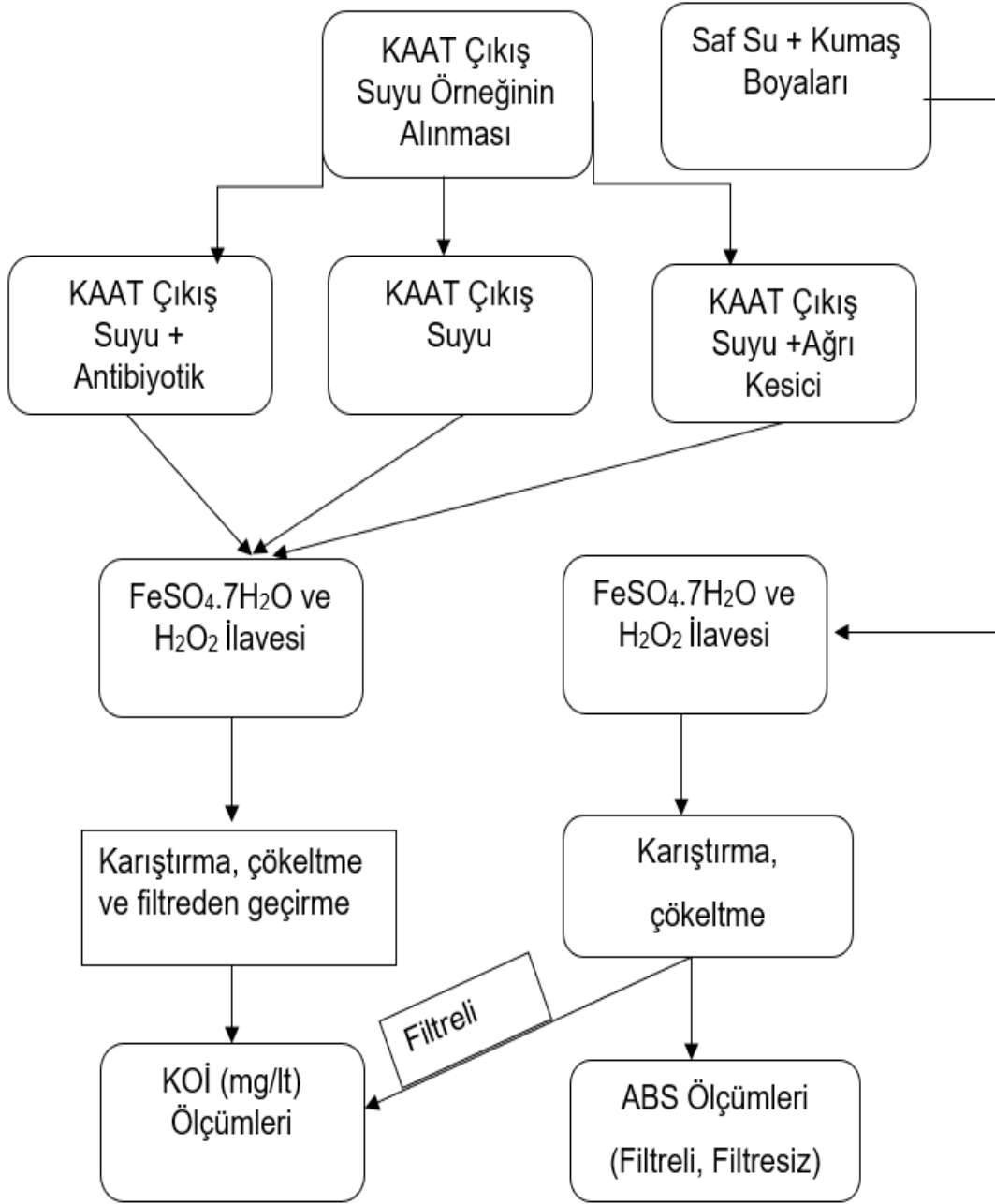
Deneyler ve analizler sırasında analitik kalite ve üstünde saflıkta olan kimyasallar kullanılmıştır. Demir sülfat (FeSO₄.7H₂O), Hidrojen Peroksit (H₂O₂) (%35 w/w çözeltisi), Sodyum Hidroksit (NaOH), Sülfürik asit (H₂SO₄). Araştırma sırasında kullanılan antibiyotik augumentin BID 1000 mg film tablet ve ağrı kesici Mazejik flurbiprofen 100 mg film tablet eczaneden doğrudan alım ile temin edilmiştir. Araştırmada kullanılan Viktorya® marka siyah ve yeşil tekstil boyaları piyasadan perakende olarak satın alınmıştır.

4.3. Fenton Prosesi

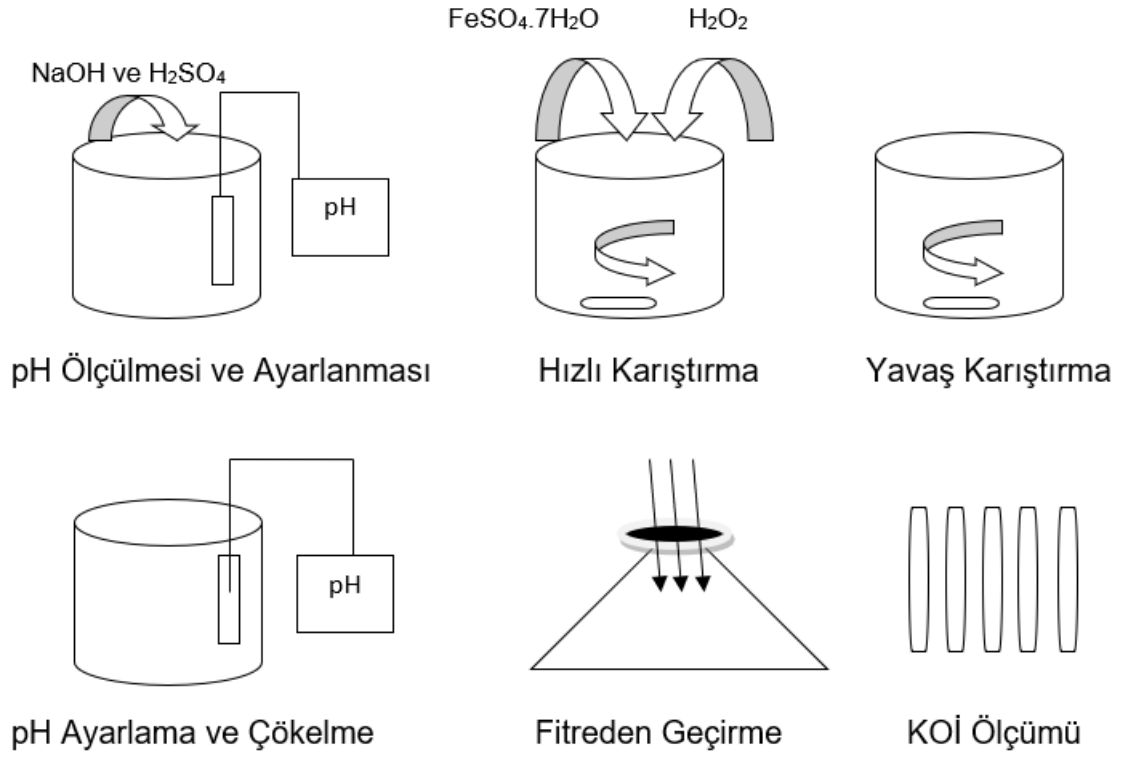
Fenton prosesi aşamalı olarak uygulanan bir ileri oksidasyon prosesidir. Proses aşamaları sırasıyla pH'ın ayarlanması, katalizörün eklenmesi, hidrojen peroksidin eklenmesi ve oksidasyonun gerçekleşmesi, nötralizasyon-koagülasyon işleminin yapılması daha sonra da çökeltme işleminin gerçekleşmesidir [39;40]. Yüksek verimlerin elde edilmesi için Fe^{+2} ve H_2O_2 konsantrasyonlarının seçimi proses için önemli bir durumdur. Literatürde fenton prosesi ile ilgili olarak birçok çalışmaya rastlanılmaktadır. Ancak Fe^{+2}/H_2O_2 oranı hakkında net bir fikir ortaya konmamıştır.

Fenton prosesinde suyun başlangıç pH'sı önemli bir etkiye sahiptir. Yapılan akademik çalışmalar incelendiğinde pH 2,5-4 arasında olduğu ve optimum pH'ın 3 olduğu literatür çalışmalarında ortaya koyulmuştur [41;42;43;44;45;46;47].

Uygun koşulların belirlenmesinden sonra; KAAT çıkış suyundan alınan numuneler 250 ml'lik beherlere koyularak pH 7-8 aralıklarında ölçülmüştür. 1 N Sülfürik Asit (H_2SO_4) ve 1 N Sodyum Hidroksit (NaOH) kullanılarak pH 3 olarak ayarlanmıştır. Daha sonra 0,25 gr $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ eklenerek 1 dk 200 devir/dk, 4 dk 100 devir/dk karıştırma yapılmıştır. Ardından 0,08 ml H_2O_2 eklenerek 10 dk 200 devir/dk, 45 dk 100 devir/dk karıştırma yapılmıştır. Karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra 30 dk beklenerek fenton reaksiyonunun tamamlanması için pH 10-11 arasına ayarlanmıştır. 1 saat çökeltme işleminden sonra suyun üst fazından numuneler alınarak 0,45 μm filtreden geçirilmiştir. Filtreden geçirilen numuneden örnekler alınarak hazır olan KOİ kitlerine konularak 148 °C'de ve 150 °C 'de cihazlarda olmak üzere ısıtılmıştır. Daha sonra soğuması için beklenen KOİ kitlerinin ölçümleri yapılmıştır. Aynı işlemler KAAT çıkış suyuna 0,1 gr/250ml antibiyotik ve 0,1 gr/250ml ağır keisici ilave edilerek ayrı ayrı fenton prosesi uygulanmıştır. Araştırmada kullanılan Fenton Prosesi deney düzeneği ve akım şeması aşağıda Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de verilmektedir. Araştırma sırasında yapılan deney süreçlerine ait fotoğraflar Şekil 4.3 – Şekil 4.6'da verilmiştir. Bu fotoğraflarda yukarıda tanımlanan Fenton prosesi aşamaları görülmektedir.



Şekil 4.1. Fenton Prosesine Ait Akım Şeması



Şekil 4.2. Fenton Prosesine Ait Deney Düzeneği



Şekil 4.3. KAAT Çıkış Suyuna FeSO₄·7H₂O İlavesi Sonrası Karıştırma İşlemi



Şekil 4.4. KAAT Çıkış Suyuna H_2O_2 İlavesi Sonrası Karıştırma İşlemi



Şekil 4.5. Fenton Prosesinde Çökelme İşlemi



Şekil 4.6. Fenton Prosesinde Çökelme İşleminin Tamamlanması

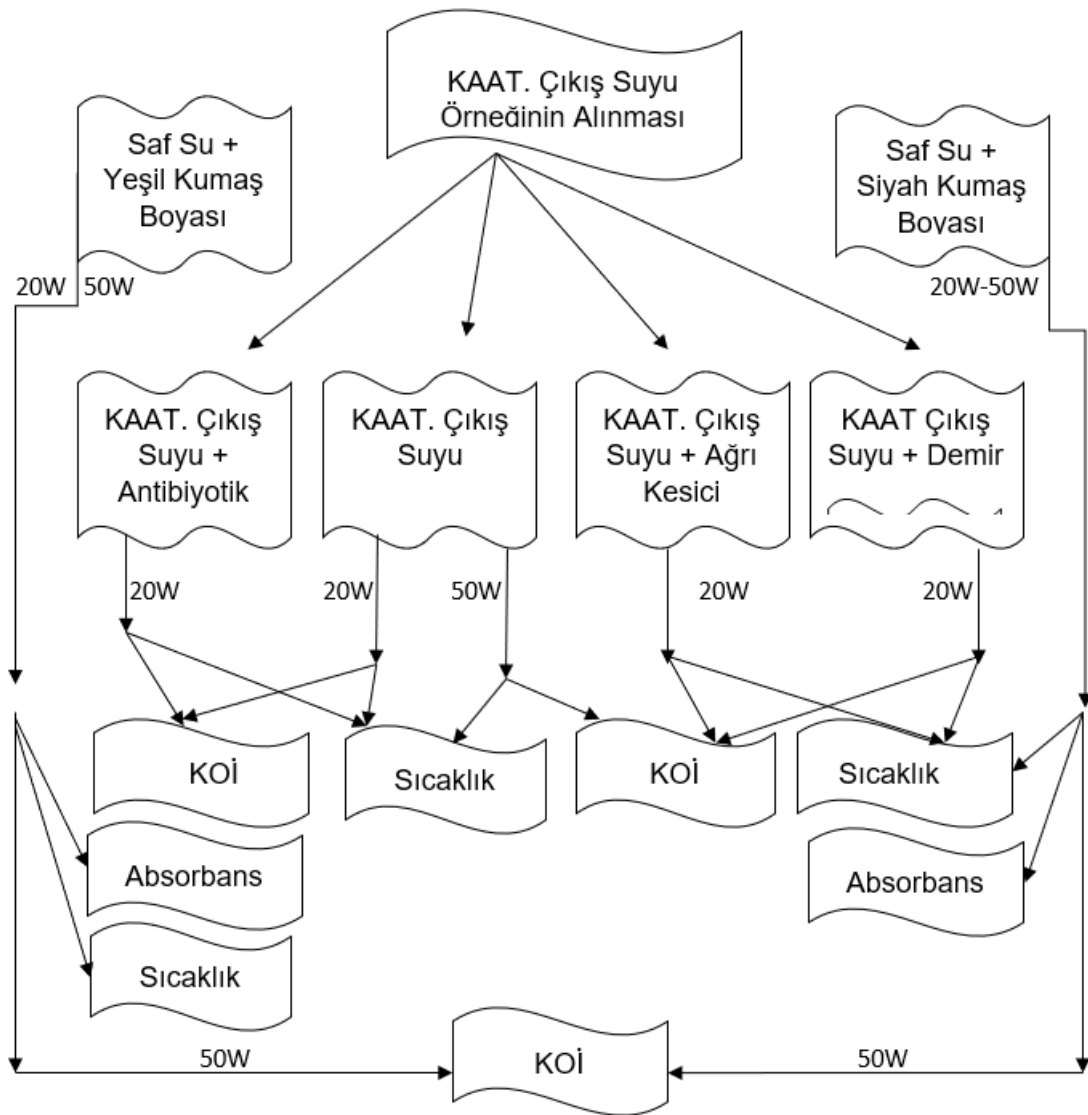
4.4. Fiber Lazer Işınlama Sistemi

Tez çalışmasında 1060 nm dalga boyunda fiber optik lazer (FLAST NanoMark) kullanılmıştır. İki farklı güçte, 50 W ve 20 W, ışın sağlayan lazer cihazı denenmiştir [48]. Fiber lazer ile yapılan deneylerde saf su ve KAAT çıkış suyu kullanılarak hazırlanan numunelere ışınlama yapılmıştır. Deneyler sırasında sıcaklık, KOİ ve ABS değerlerindeki değişim incelenmiştir. Numunelerin lazer ile ışınlamaları sırasında 20-500 kHz frekans, 50-500 ns atım aralığında taramalar yapılarak numunenin ısınmadığı en yüksek frekans ve atım genişliği çalışma parametreleri olarak belirlenmiştir. Oksidasyon deneyleri sırasında sıcaklığın fazla artması istenmediğinden 20 W güce sahip lazer cihazı deneylerde kullanılmıştır. Seçilen frekans ve atım genişliğinin deney düzeneğinde değişiklik oluşturmadığından 20 W gücünde lazer, 40 kHz frekans ve 500 ns atım genişliği olarak seçilerek deneyler yürütülmüştür. Tez çalışmasında arıtma maliyetleri incelenmemiştir, ancak 20 W gücündeki cihazın üretim maliyeti daha düşüktür.

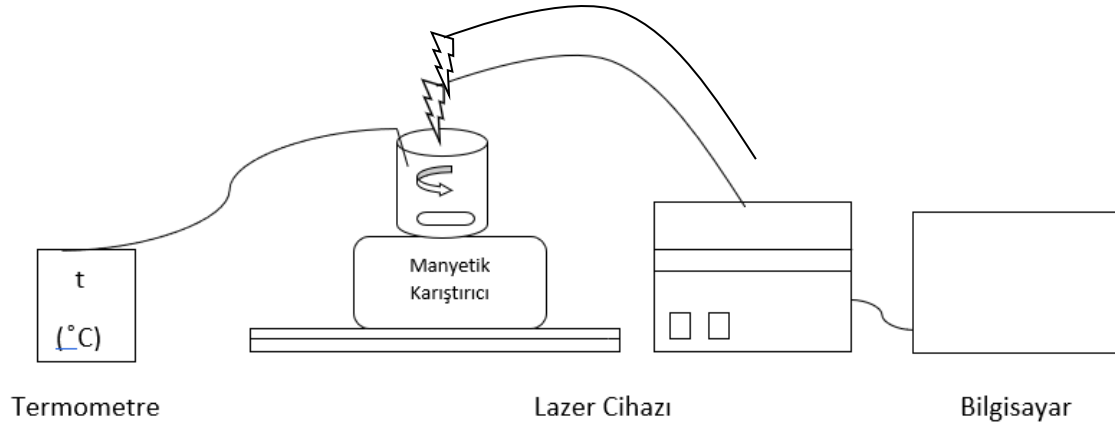
KAAT çıkış suyundan numuneler alınarak 250 ml'lik beherlere konularak manyetik karıştırıcı yardımıyla 100 devir/dk karıştırma hızında 30 dk ve 60 dk süreyle karıştırılmıştır. Çoklu kaydetme özelliğine sahip termometre ile anlık olarak sıcaklık ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.9. ile özellikleri belirtilen 20 W'lık lazer ışınlama cihazı ile KAAT çıkış suyu numunelerine 30 dk ve 60 dk olmak üzere lazer ışınları gönderilmiştir.

Kirleticilerin parçalanmasına yönelik deneysel çalışmalar sırasında ışınlama devam ederken 0, 10, 15, 20, 30, 40, 45 ve 60. dk'larda numuneler alınarak KOİ ölçümleri yapılmıştır.

Lazer ile ışınlama prosesi ayrı deney düzeneklerinde KAAT çıkış suyu 0,1 gr/250ml antibiyotik, 0,1 gr/250ml ağırlı kesici ve 0,1 gr/250ml $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ilave edilerek tekrarlanmıştır. Araştırmada kullanılan Lazer Sistemi deney düzeneği ve akım şeması aşağıda Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de verilmektedir. Araştırma sırasında yapılan deney süreçlerine ait fotoğraflar Şekil 4.10 – Şekil 4.13'de verilmiştir.



Şekil 4.7. Fiber Lazer Işınlama Deney Planlaması Sistemine Ait Akış Şeması



Şekil 4.8. Fiber Lazer İşinlama Deney Düzeneği

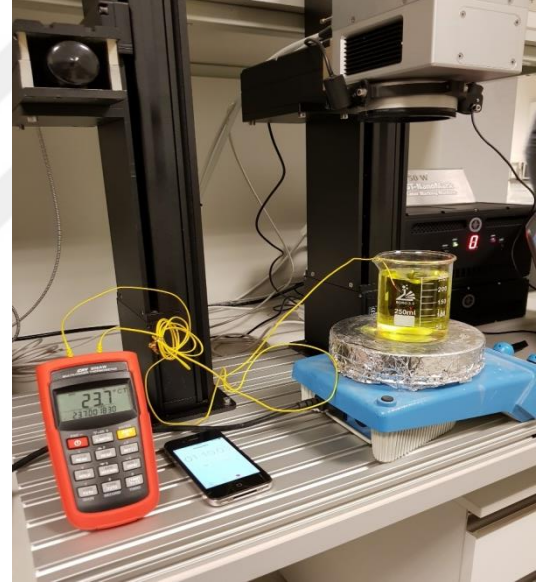
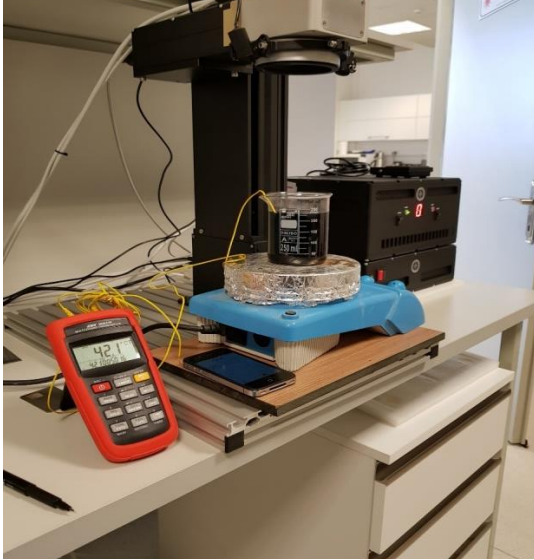
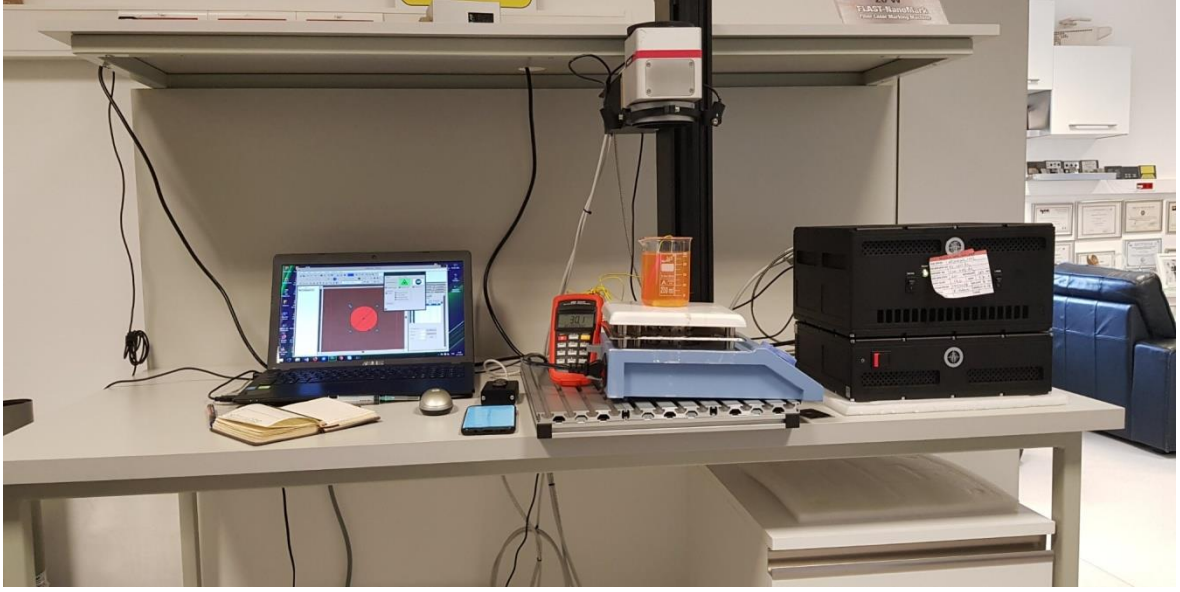
LAZER	FLAST-NanoMARK ENERGY 20W						FLAST-NanoMARK ENERGY 50W					
Lazer Tipi	Yb Fiber Lazer											
Çalışma Modu	Atımlı											
Merkez Dalga Boyu	1064 ± 2 nm											
Ortalama Güç	20						50					
Tekrar Frekansı ⁽¹⁾	20-500 kHz						50-500 kHz					
Atım Genişliği ⁽¹⁾	50-500 ns						100-500 ns					
Atım Enerjisi	1 mJ						1 mJ					
Güç Stabilizasyonu	< %2											
Kutuplanma	Rastgele											
Lazer Çıkışı ⁽²⁾	Geri Yansımaya Korumalı Kolimatör											
Kılavuz Işık ⁽⁴⁾	630-670 nm (kırmızı)											
Tarayıcı Kafa Giriş Çapı ⁽²⁾	10 mm											
Çıkış Fiber Uzunluğu ⁽²⁾	2 m											

OBJEKTİF												
F Theta Lens ⁽³⁾ (mm)	56	100	125	163	170	254	255	300	330	420	508	635
Markalama Alanı (mm x mm)	18x18	59x59	75x75	110x110	120x120	175x175	180x180	205x205	230x230	305x305	400X400	465X465

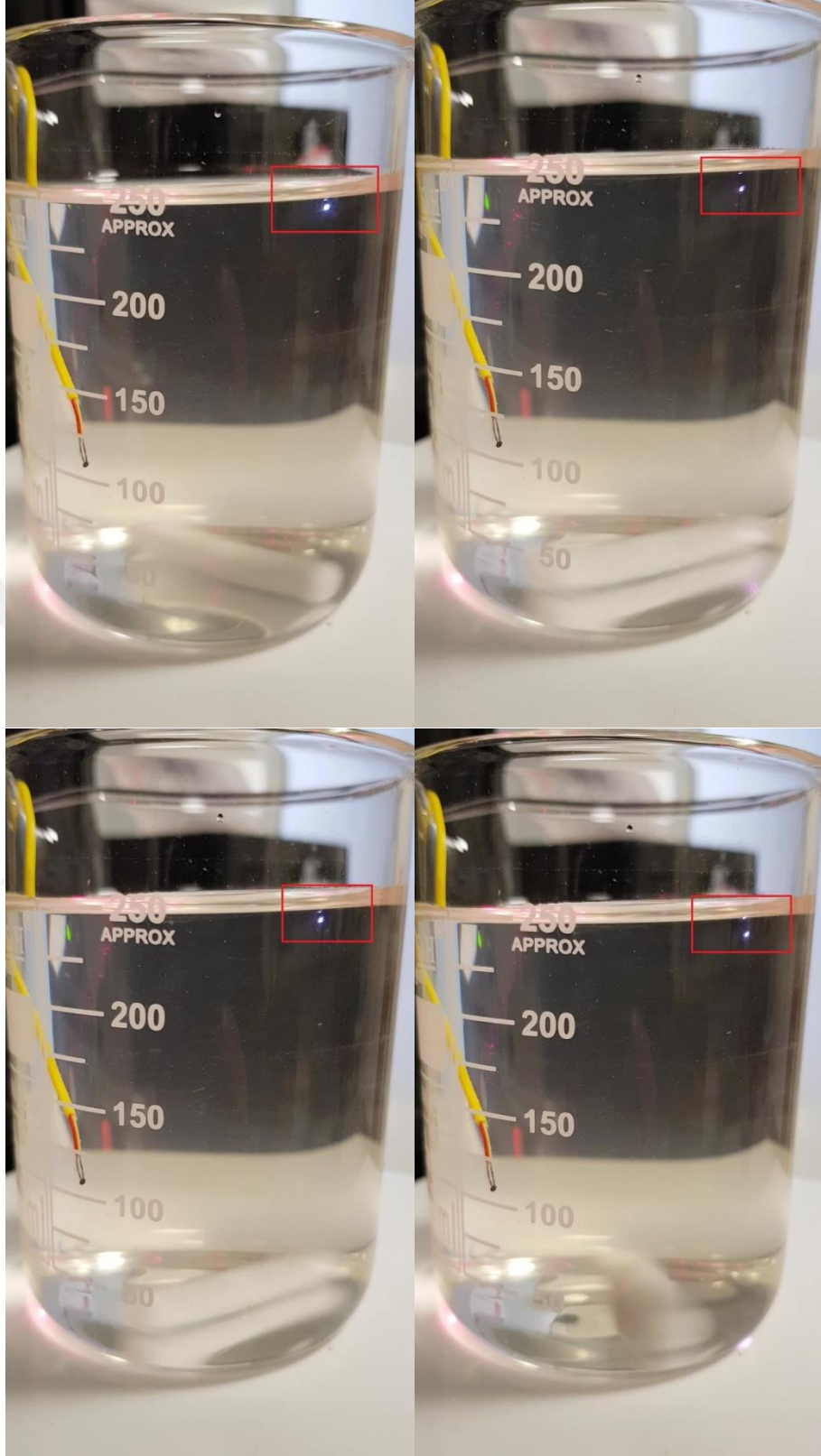
ÇALIŞMA	
Çalışma Voltajı	177-264 VAC
Maks. Güç Tüketimi	220W280W
Çalışma Sıcaklığı	+10°C ila + 60°C
Nem, Yoğunlaşmasız	10% ila 90%

BOYUTLAR VE AĞIRLIK			
	Lazer modülü	Lazer sürücüsü	Tarayıcı Kafa ⁽⁵⁾
Yükseklik x Genişlik x Derinlik (mm)	155 x 310 x 260	90 x 310 x 260	94 x 96,5 x 114
Ağırlık (kg)	8	5	1.9

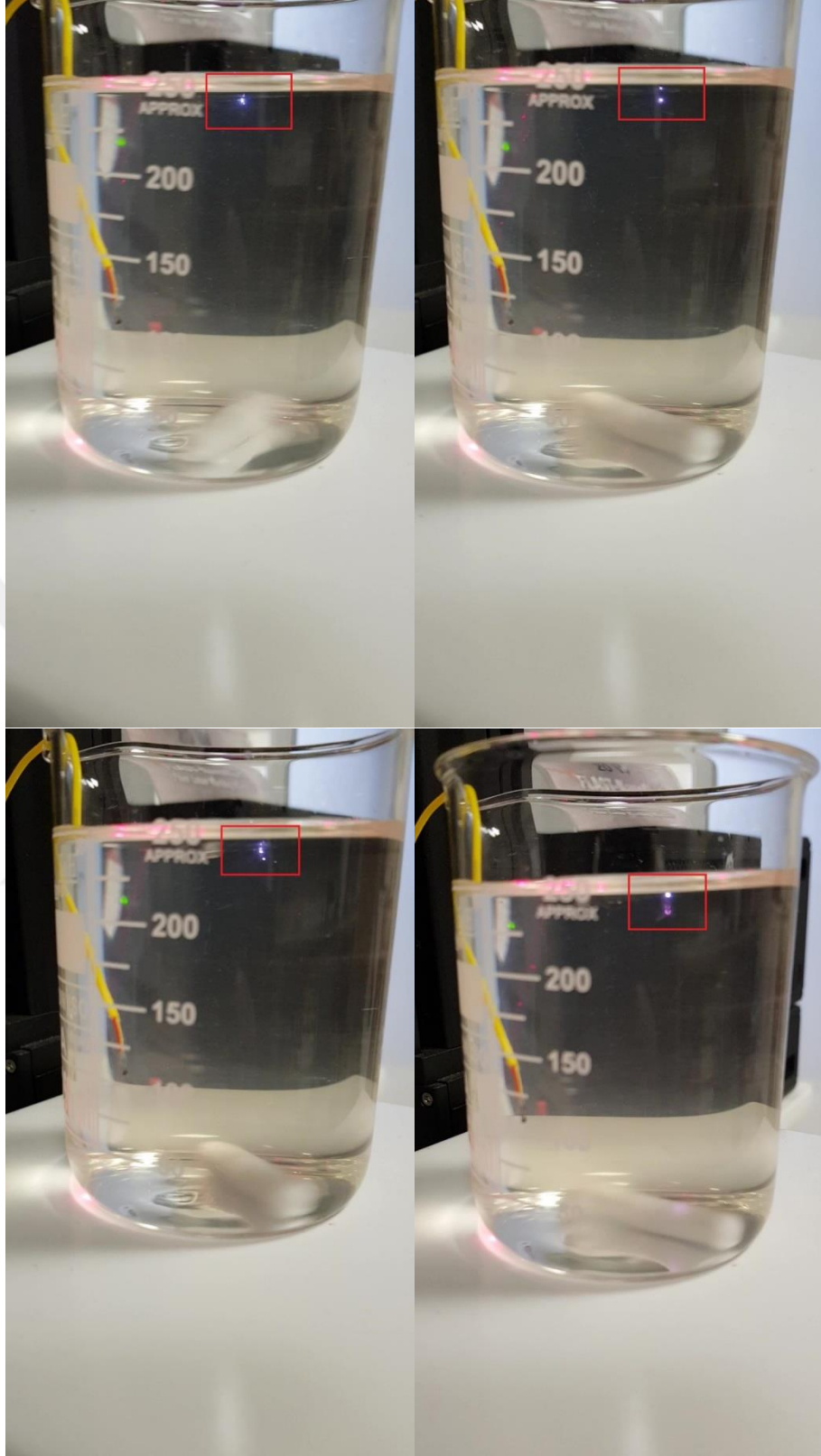
Şekil 4.9. Fiberlast A.Ş. Üretimi FLAST-NanoMark Fiber Lazer Sisteminin Teknik Özellikleri



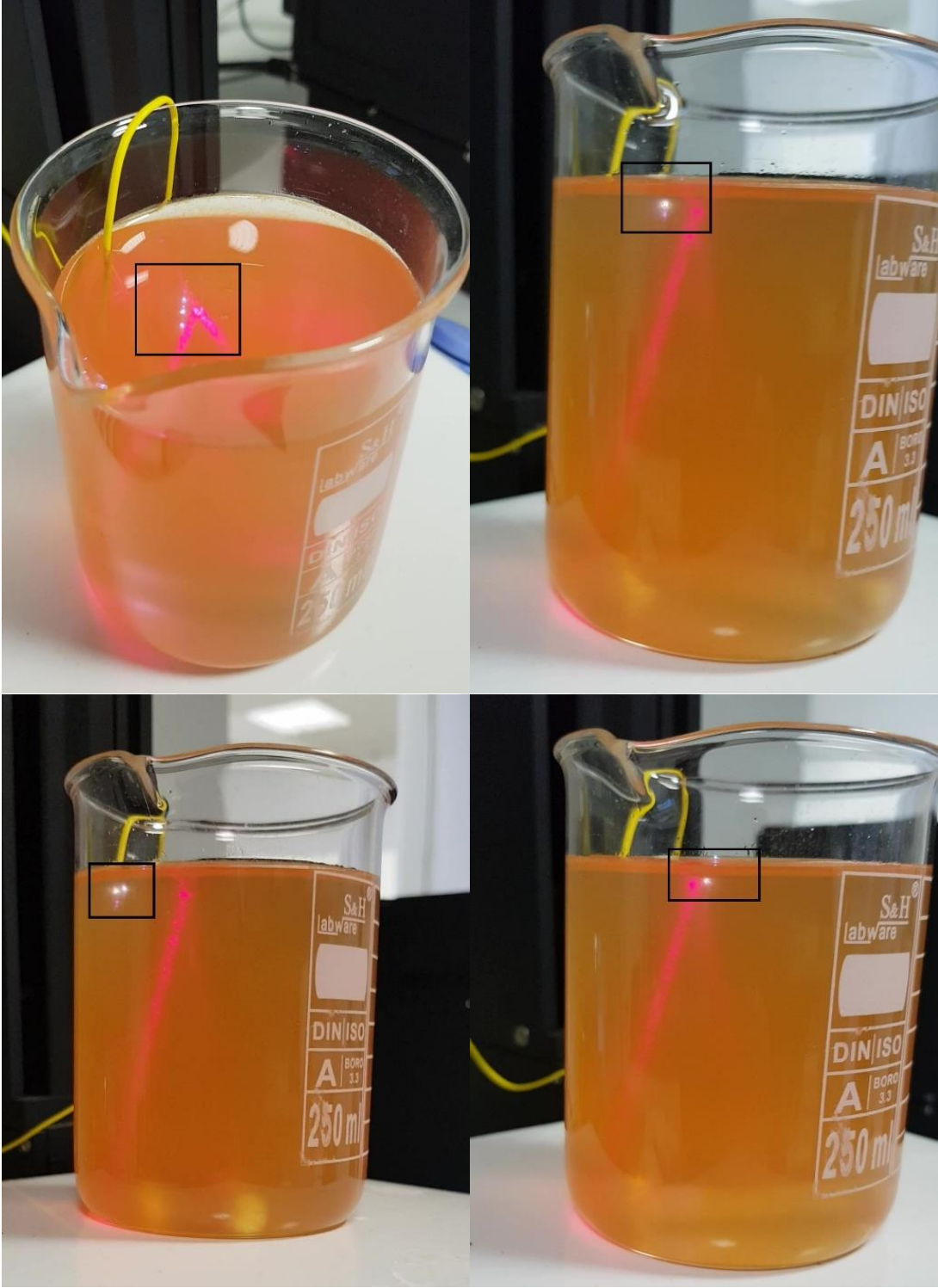
Şekil 4.10. Flast-Nanomark Fiber Lazer Sistemi ve Deney Düzeneklerine Ait Fotoğraflar



Şekil 4.11. Lazerin KAAT Çıkış Suyuna Temas Ettiği Nokta



Şekil 4.12. Lazerin KAAT Çıkış Suyuna Temas Ettiği Nokta-2



Şekil 4.13. Lazerin KAAT FeSO_4 İlave Edilmiş Çıkış Suyuna Teması

5. SONUÇLAR

Tez çalışması sırasında elde edilen deneysel sonuçlar fenton ve lazer ışınlaması çalışmaları için iki alt bölüm halinde de verilmektedir. Bölüm 5.1'de arıtılmış atıksuya doğrudan Fenton prosesi uygulanması sonucu elde edilen veriler sunulmuştur. Daha sonra atıksu matrisine flurbiprofen (model ağrıkesici) ve Amoksisilin/klavulanik asit (model antibiyotik) kullanarak yapılan Fenton prosesi arıtma performansı deney sonuçları verilmiştir.

Bölüm 5.1'de ayrıca siyah ve yeşil renkte tekstil boyası içeren atıksuların Fenton prosesi ile arıtılması araştırılmıştır. Tekstil boyaları kullanarak yapılan bu çalışmanın hedefi absorbans ve KOİ üzerinden elde edilecek kirlilik giderim verimliliğinin belirlenmesi ve karşılaştırılmasıdır.

Bölüm 5.2'de Fiber lazer kullanımının atıksularda herhangi bir kirlenici giderme potansiyelinin olup olmadığının belirlenmesine yönelik araştırma yürütülmüştür. Bu bölümde ilk olarak lazer uygulamasının su sıcaklığı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Daha sonra siyah ve yeşil tekstil boyaları kullanarak lazer ışınının renkli sularda gösterdiği arıtma performansını belirlemek için çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada da absorbans ve KOİ giderimi arasındaki fark incelenmiştir. Atıksu içindeki yüksek antibiyotik ve ağrı kesici konsantrasyonlarının oluşturduğu kirlilik yükünün lazer ışını ile giderilmesinin mümkün olup olmayacağı incelenmiştir. Son olarak, atıksuya çözünmüş demir ilavesinin lazer ışının performansına herhangi bir etkisi olup olmayacağı araştırılmıştır.

5.1. Atıksu Arıtma Tesisi Çıkış suyunda Fenton Prosesinin Uygulanması

İki farklı zamanlarda alınan kentsel atıksu arıtma tesisi çıkış suyuna fenton prosesi uygulanmıştır. Sonuçlar 3 tekrarlı ölçülmüştür. Deney sonuçları Tablo 5.1 ve Tablo 5.2'de verilmektedir. Çıkış KOİ değerleri ortalama 42 mg/L ve 48 mg/L olarak belirlenmiştir. pH ayarlaması sonrasında uygulanan Fenton prosesinden sonra ise ilk deney setinde 30 mg/L ve 38 mg/L arasında değişen KOİ sonuçları elde edilmiştir. Buna göre KAAT çıkış suyunu Fenton uygulaması %9 ila %28 arasında ilave giderim sağlamaktadır. İkinci çalışmada alıcı ortama deşarj edilen arıtılmış atıksu başlangıç KOİ'si 48 mg/L olarak belirlenmiştir. Fenton uygulaması sonucunda %13 ve %23 arasında değişen giderim verimi elde edilmiştir. Her iki

deneyin sonuçları Grafik 5.1'de verilmektedir. Grafikte sol ekseninde iki deneyin başlangıç KOİ değerleri sağ ekseninde ise Fenton prosesi sonunda elde edilen KOİ değerleri verilmektedir. Bu sonuçlar deşarj edilen arıtılmış atıksuda kalıcı ve oksidasyon proseslerine hızlı cevap vermeyen kimyasalların olması ile açıklanabilir. Ayrıca fenton prosesi sırasında elde edilen değişken giderim verimleri KOİ değerini farklı kimyasal bileşenlerin oluşturduğunu da ortaya koymaktadır.

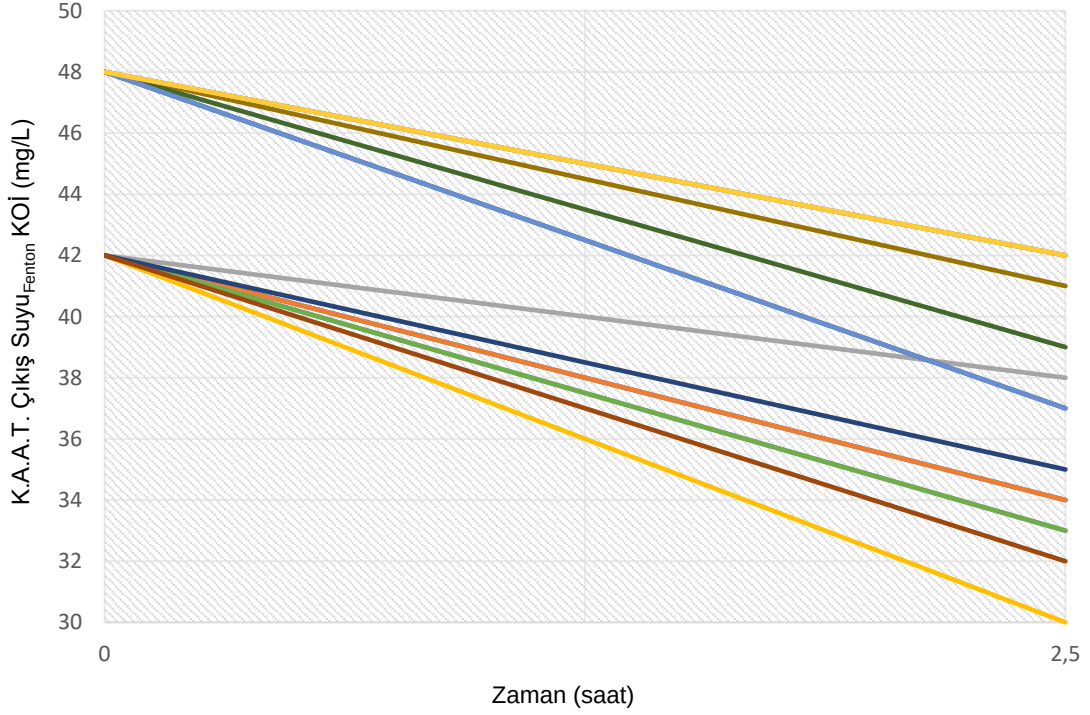
Tablo 5.1. KAAT Çıkış Suyuna Fenton Prosesinin Uygulanması Sonrası KOİ Ölçüm Sonuçları 1 (250 ml numune, pH:3, 0,25 gr, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0,08 ml H_2O_2)

	pH	KOİ (mg/L)	Verim (%)
Numune	7,9	42	
Fenton Prosesi Deneme 1	3,0	34	19,05
Fenton Prosesi Deneme 2	3,0	34	19,05
Fenton Prosesi Deneme 3	3,0	38	9,52
Fenton Prosesi Deneme 4	3,0	30	28,57
Fenton Prosesi Deneme 5	3,0	33	21,43
Fenton Prosesi Deneme 6	3,0	33	21,43
Fenton Prosesi Deneme 7	3,0	35	16,67
Fenton Prosesi Deneme 8	3,0	32	23,81

Tablo 5.2. KAAT Çıkış Suyuna Fenton Prosesinin Uygulanması Sonrası KOİ Ölçüm Sonuçları 2 (250 ml numune, pH:3, 0,25 gr, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0,08 ml H_2O_2)

	pH	KOİ (mg/L)	Verim (%)
Numune	7,5	48	
Fenton Prosesi Deneme 1	3,0	42	12,50
Fenton Prosesi Deneme 2	3,0	41	14,58
Fenton Prosesi Deneme 3	3,0	37	22,92
Fenton Prosesi Deneme 4	3,0	39	18,75
Fenton Prosesi Deneme 5	3,0	37	22,92
Fenton Prosesi Deneme 6	3,0	42	12,50
Fenton Prosesi Deneme 7	3,0	42	12,50
Fenton Prosesi Deneme 8	3,0	42	12,50

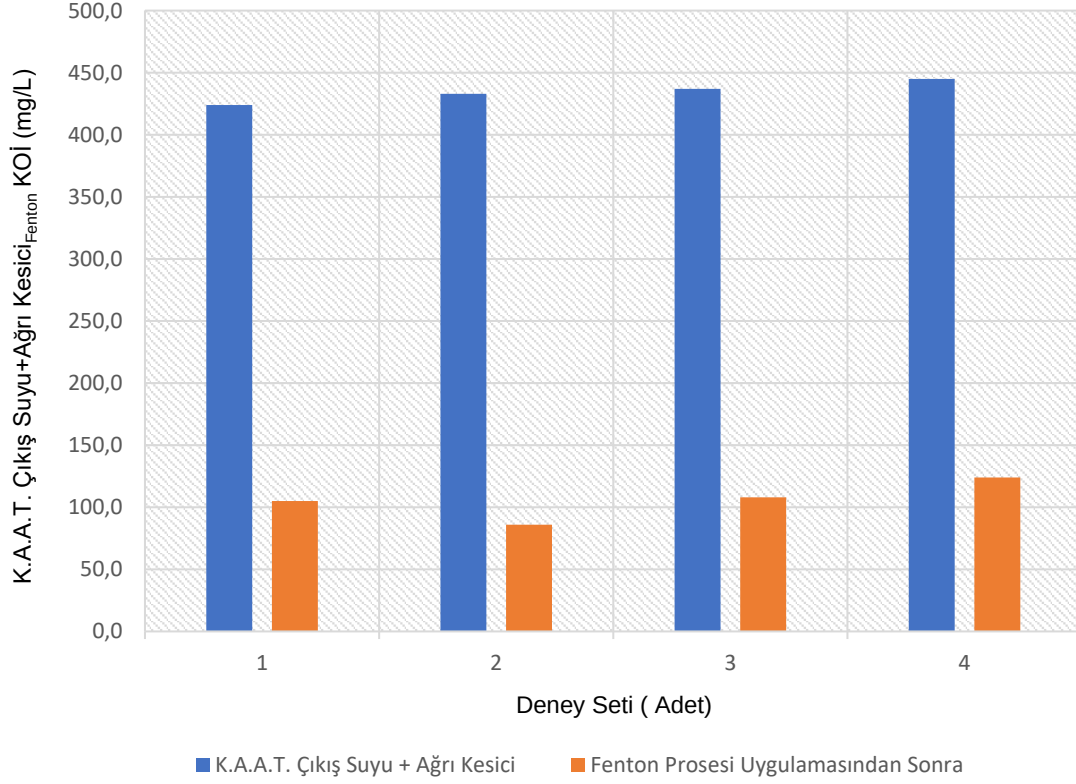
Grafik 5.1. KAAT Çıkış Suyuna Fenton Prosesinin Uygulanması Sonrası KOİ Değişimi (250 ml numune, pH:3, 0,25 gr FeSO₄.7H₂O, 0,08 ml H₂O₂)



Arıtım sonrası deşarj edilen KAAT çıkış suyunun Fenton prosesi ile ileri oksidasyon çalışmaları tamamlandıktan ve %29'lara kadar ilave arıtım sağlanabildiği belirlendikten sonra arıtılması zor olan ağır kesici ve antibiyotik moleküllerinin Fenton prosesi ile atıksu matrisinde giderim performansı araştırmalarına geçilmiştir.

Ağır kesici ve antibiyotik içeren kentsel atıksu örneklerine uygulanan Fenton prosesi sonuçları aşağıda grafik olarak verilmektedir. 100 mg Mazejik flurbiprofen 250 ml arıtılmış atıksu içinde çözündüğünde KOİ konsantrasyonu yaklaşık 10 kat artmaktadır. Ağır kesici ilavesinden sonra ölçülen KOİ değeri 424 mg/L ila 445 mg/L aralığında değişmiştir. Flurbiprofen ilavesinden sonra kentsel atıksuyun Fenton prosesine başlangıç KOİ konsantrasyonu ortalama 434 ± 15 mg KOİ/L olmuştur. Ağır kesici içeren kentsel atıksuya Fenton prosesi uygulandıktan sonra atıksuda $106 \text{ mg KOİ/L} \pm 20 \text{ mg KOİ/L}$ nihai KOİ konsantrasyonu belirlenmiştir. Flubiprofen oksidasyonu sırasında ortalama %76 giderim verimi elde edilmiştir. Flubiprofen içeren atıksuyun nihai KOİ değeri orijinal değerinin yaklaşık iki katı olmuştur.

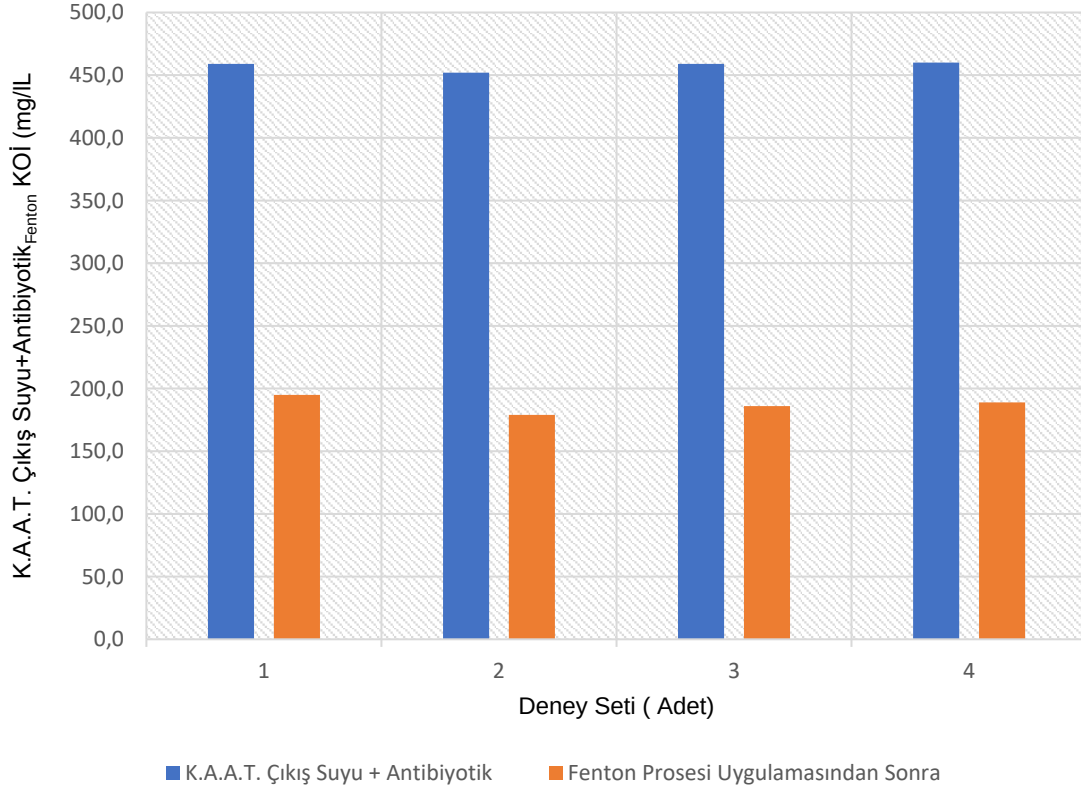
Grafik 5.2. KAAT Çıkış Suyuna Ağrı Kesici İlave Edilerek Fenton Prosesinin Uygulanması Sonrası KOİ Değişimi (250 ml numune, pH:3, 0,25 gr FeSO₄.7H₂O, 0,08 ml H₂O₂, 0,1 gr Ağrı Kesici)



Antibiyotiklerin kentsel atıksu matrisinden giderilmesi için yapılan deneylerde 1000 mg Amoksisilin/klavulanik asit (Augmentin BID 1000) kullanılmıştır. Amoksisilin / klavulanik asit 250 ml arıtılmış atıksu içinde çözündüğünde KOİ konsantrasyonu yaklaşık 10 kat artmaktadır. Amoksisilin / klavulanik asit ilavesinden sonra ölçülen KOİ değeri 452 mg/L ila 460 mg/L aralığında değişmiştir. Fenton prosesine başlangıç konsantrasyonu ortalama 456 mg KOİ/L $\pm$ 4 mg KOİ/L olmuştur. Amoksisilin / klavulanik asit içeren kentsel atıksuyun Fenton prosesinden sonra ölçülen KOİ konsantrasyonu 187 mg KOİ/L $\pm$ 8 mg KOİ/L olarak belirlenmiştir. Amoksisilin / klavulanik asit oksidasyonu sırasında ortalama % 59 giderim verimi elde edilmiştir. Amoksisilin / klavulanik asit içeren atıksuyun nihai KOİ değeri orijinal arıtılmış atıksu değerinin yaklaşık dört katı olmuştur.

Nitekim antibiyotiklerin fenton reaktifi ile oksidasyon çalışmalarında KOİ konsantrasyonunda %85'lere varan giderme verimi elde edildiği ortaya konulmuştur [49].

Grafik 5.3. KAAT Çıkış Suyuna Amoksisilin / klavulanik asit İlave Edilerek Fenton Prosesinin Uygulanması Sonrası KOİ Değişimi (250 ml numune, pH:3, 0,25 gr $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0,08 ml H_2O_2 , 0,1 gr Antibiyotik)



Tez çalışmasında siyah ve yeşil renkli tekstil boyalarının Fenton prosesi ile giderim çalışmaları safsu kullanılarak yapılmıştır. Her renk için maksimum absorbans dalga boyunda absorbans değerini 1.5 ve 1 olarak sağlayacak iki ayrı boya konsantrasyonu kullanılmıştır. Absorbans değerinin bir civarında tutulmasının amacı doğrusal bölgenin dışına çıkılmaması için hedeflenmiştir. Bu hedef her iki tekstil boyası için farklı boya konsantrasyonları kullanılmasına neden olmuştur. Tekstil boyaları ile yapılan deneysel çalışmalarda kullanılan konsantrasyonlar tablolarda belirtilmektedir. Siyah boya boya için 0,1 gr/L ve 0,2 gr/L konsantrasyonlar denenmiştir. Yeşil tekstil boyası için 0,2 gr/L ve 0,4 gr/L konsantrasyonlar denenmiştir.

Siyah boya ile yapılan çalışmalarda 0,1 ve 0,2 gr/L konsantrasyonlar için filtrasyon sonrası %91,73 ve %88,60 giderim verimi elde edilmiştir. Absorbansta görülen bu verim renk giderimi anlamına gelmektedir.

Siyah tekstil boyasında KOİ giderimi incelendiğinde 0,1 gr/L ve 0,2 gr/L konsantrasyonlar için sırası ile %63,49 ve %55,07 giderim verimi elde edildiği belirlenmiştir.

Tablo 5.3. Saf Suya Siyah Kumaş Boyası İlave Edilerek Fenton Prosesi Uygulamasından Sonra ABS Ölçüm Sonuçları (250 ml saf su, 0,025- 0,05 gr Boya, 0,25 gr FeSO₄.7H₂O, 0,08 ml H₂O₂, 563 nm)

Numune	Başlangıç ABS Değeri	Fenton Prosesi Sonrası Filtre Edilmeden Önce ABS Değeri	Fenton Prosesi Sonrası Filtre Edildikten Sonra ABS Değeri	Verim -1 (Filtresiz, %)	Verim -2 (Filtreli, %)
Fenton Prosesi (0,025 gr Boya)	1,290	0,224	0,107	82,610	91,73
Fenton Prosesi (0,05 gr Boya)	1,474	0,236	0,168	83,989	88,60

Yeşil boya ile yapılan çalışmalarda 0,2 ve 0,4 gr/L konsantrasyonlar için filtrasyon sonrası %95,16 ve %94,32 giderim verimi elde edilmiştir. Absorbansta görülen bu verim renk giderimi anlamına gelmektedir.

Yeşil tekstil boyasında KOİ giderimi incelendiğinde 0,1 gr/L ve 0,2 gr/L konsantrasyonlar için sırası ile %62,39 ve %53,71 giderim verimi elde edildiği belirlenmiştir.

Tablo 5.4. Saf Suya Yeşil Kumaş Boyası İlave Edilerek Fenton Prosesi Uygulamasından Sonra ABS Ölçüm Sonuçları (250 ml saf su, 0,05- 0,1 gr Boya, 0,25 gr FeSO₄.7H₂O, 0,08 ml H₂O₂, 402 nm)

Numune	Başlangıç ABS Değeri	Fenton Prosesi Sonrası Filtre Edilmeden Önce ABS Değeri	Fenton Prosesi Sonrası Filtre Edildikten Sonra ABS Değeri	Verim -1 (Filtresiz, %)	Verim -2 (Filtreli, %)
Fenton Prosesi (0,05 gr Boya)	0,812	0,261	0,039	67,89	95,16
Fenton Prosesi (0,1 gr Boya)	2,451	0,429	0,139	82,49	94,32

Tablo 5.5. Saf Suya Siyah Kumaş Boyası İlave Edilerek Fenton Prosesi Uygulamasından Sonra KOİ Ölçüm Sonuçları (250 ml saf su, 0,025- 0,05 gr Boya, 0,25 gr FeSO₄.7H₂O, 0,08 ml H₂O₂)

Numune	Başlangıç KOİ Değeri (mg/L)	Fenton Prosesi Sonrası Filtre Edildikten Sonra KOİ Değeri (mg/L)	Verim (%)
Fenton Prosesi (0,025 gr Boya)	63	23	63,49
Fenton Prosesi (0,05 gr Boya)	69	31	55,07

Tablo 5.6. Saf Suya Yeşil Kumaş Boyası İlave Edilerek Fenton Prosesi Uygulamasından Sonra KOİ Ölçüm Sonuçları (250 ml saf su, 0,05- 0,1 gr Boya, 0,25 gr FeSO₄.7H₂O, 0,08 ml H₂O₂)

Numune	Başlangıç KOİ Değeri (mg/L)	Fenton Prosesi Sonrası Filtre Edildikten Sonra KOİ Değeri (mg/L)	Verim (%)
Fenton Prosesi (0,05 gr Boya)	36	14	62,39
Fenton Prosesi (0,1 gr Boya)	94	44	53,71

Talo 5.3, Tablo 5.4, Tablo 5.5 ve Tablo 5.6 da belirtilen deney sonuçları; saf suya ayrı ayrı beherlerde olmak üzere 0,025 gr/250ml ve 0,05 gr/250 ml siyah kumaş boyası ile 0,05 gr/250ml ve 0,1 gr/250 ml yeşil kumaş boyası ilave edilerek fenton prosesi uygulamasına aittir. Öncelikle başlangıç Abs ile KOİ değerleri ölçülmüştür. Daha sonra hazırlanmış olan numunelerin pH'ı 1 N Sülfürik asit (H₂SO₄) ve 1 N Sodyum Hidroksit (NaOH) yardımıyla 3 olarak ayarlanmıştır. Numunelere ayrı ayrı öncelikle 0,25 gr/250ml FeSO₄.7H₂O ilave edilerek 1 dk 200 devir/dk, 4 dk 100 devir/dk manyetik karıştırıcı yardımıyla karıştırılmıştır. Karıştırma işleminden sonra 0,08 ml/250ml H₂O₂ eklenerek 10 dk 200 devir/dk, 45 dk 100 devir/dk manyetik karıştırıcı da karıştırma yapılmıştır.

Karıştırma işleminden sonra fenton prosesinin durmasını sağlamak amacıyla pH Sodyum Hidroksit (NaOH) yardımıyla 10-11 seviyelerine çıkarılmıştır. 1 sa çökeltme işleminin tamamlanmasının beklenmesinden sonra numunelerin üst fazlarından örnekler alınarak Abs değerleri ölçülmüştür. Daha sonra üst fazdan alınan örnekler 0,45 µm'lik filtrelerden geçirilerek tekrar Abs değerleri ölçülmüştür. Ayrıca filtre işlemi yapıldıktan sonra numunelerden 2'şer ml örnekler alınarak KOİ değerleri ölçülmüştür.

Tekstil boyalarının Fenton prosesi ile arıtımı KOİ giderimi üzerinden değerlendirildiğinde siyah ve yeşil tekstil boyaları için arıtılmış suda organik yükün %50-60 civarında azaldığı görülmektedir.

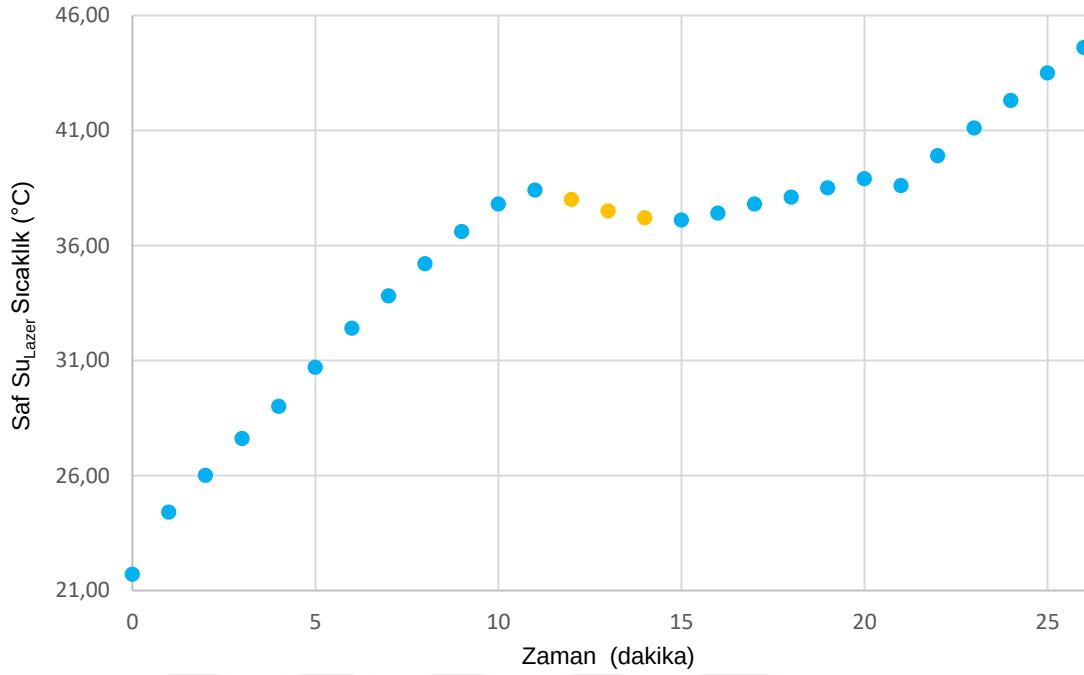
Tekstil boyaları içeren suyun Fenton arıtımı sonrası absorbans değerleri incelendiğinde her iki boyanın farklı konsantrasyon değerleri için (siyah ve yeşil) %85 ve üzerinde giderim sağlandığı görülmektedir.

Sonuç olarak, renk özellikle organik kirlilik yükü için doğru bir kriter değildir. Yüksek renk giderimi sağlanmasına rağmen mineralizasyonun tam olarak gerçekleşmediği belirlenmiştir. Fenton prosesi etkin bir renk giderme prosesi olarak kullanılabilir.

5.2. Fiber Lazer Sisteminin Potansiyel Kentsel Atıksu Arıtma Prosesi Olarak Araştırılması

Fiber lazer ışınlaması bugüne kadar atıksuyu arıtmak için kullanılmamıştır. Bu nedenle arıtma performansını etkileyecek parametrelerin belirlenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Tez çalışmasında ilk araştırılan parametre sıcaklık olmuştur. 50 W ve 20 W gücünde olan iki lazerin suyun ısınması üzerindeki etkileri bir termometre ile izlenmiştir. Lazer ışınlaması ile birlikte saf suyun sıcaklığı doğrusal olarak artmaktadır. Bu deney 10 dakika boyunca sürdürülmüştür. Daha sonra ışınlama durdurulmuş ve su sıcaklığı izlenmiştir. Su sıcaklığının azaldığı görülmektedir. Daha sonra son aşama olarak lazer ışınlaması tekrar başlatılmış ve su sıcaklığındaki artışın tekrar başladığı tespit edilmiştir.

Grafik 5.4. Saf Suya Lazer Işını Uygulanması Sırasında Sıcaklık Değişimi (250 ml, 50 W, 200 kHz, 500 mm/s)



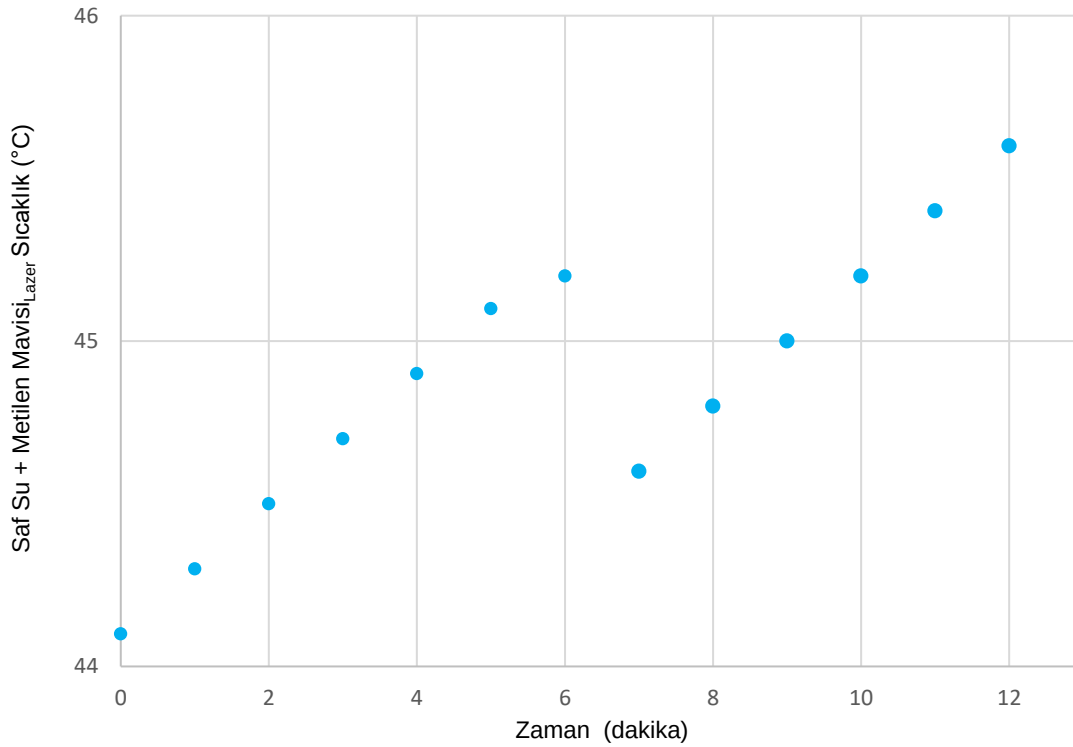
Tablo 5.7. Saf Suya Lazer Işını Uygulanması Sırasında Sıcaklık Değişimlerine Ait Verilerin Denklemleri (250 ml, 50 W, 200 kHz, 500 mm/s)

Veriler	Denklem
Seri-1	$y = -0,0435x^2 + 1,9912x + 22,016$ $R^2 = 0,9982$
Seri-2	$y = 0,1x^2 - 3x + 59,6$ $R^2 = 1$
Seri-3	$y = 0,0089x^2 + 0,0475x + 34,375$ $R^2 = 0,999$
Seri-4	$y = -0,0179x^2 + 2,0393x + 3,6571$ $R^2 = 0,9999$

Deneye 250 ml'lik saf su içeren beherlerle başlanmıştır. 50 W gücün de 200 kHz frekans ve 500 mm/s özelliğine sahip FLAST-NanoMark Fiber Lazer cihazından suya ışınlar gönderilmiştir.

Saf suyun başlangıç sıcaklığı 21.7 °C olarak ölçülmüştür. Manyetik karıştırıcı yardımıyla suyun karıştırılması sağlanmıştır. Kronometre ve sıcaklık sensörü yardımıyla sıcaklık artışı kayıt altına alınmıştır. 11. dk sonunda sistem kapatılarak saf su soğumaya bırakılmıştır. Daha sonra tekrar çalıştırılarak aynı suya lazer ışınları gönderilmiştir. Bu çalışmadan lazer ışınlarının saf suya karşı nasıl bir etki verdiği gözlemlenmiştir. Elde edilen veriler ışığında Grafik 5.4 oluşturularak Tablo 5.7 de belirtilen denklemler elde edilmiştir. Grafik 5.4'in y-eksenin de belirtilen "Saf Su_{Lazer} Sıcaklık (°C)" saf suya direk olarak lazer ışını uygulanması sırasındaki sıcaklığı ifade etmektedir.

Grafik 5.5. Saf Suya Metilen Mavisi İlavesi Sonrası Lazer Işını Uygulanması Sırasında Sıcaklık Değişimi (250 ml, 50 W, 100 kHz, 500 mm/s)



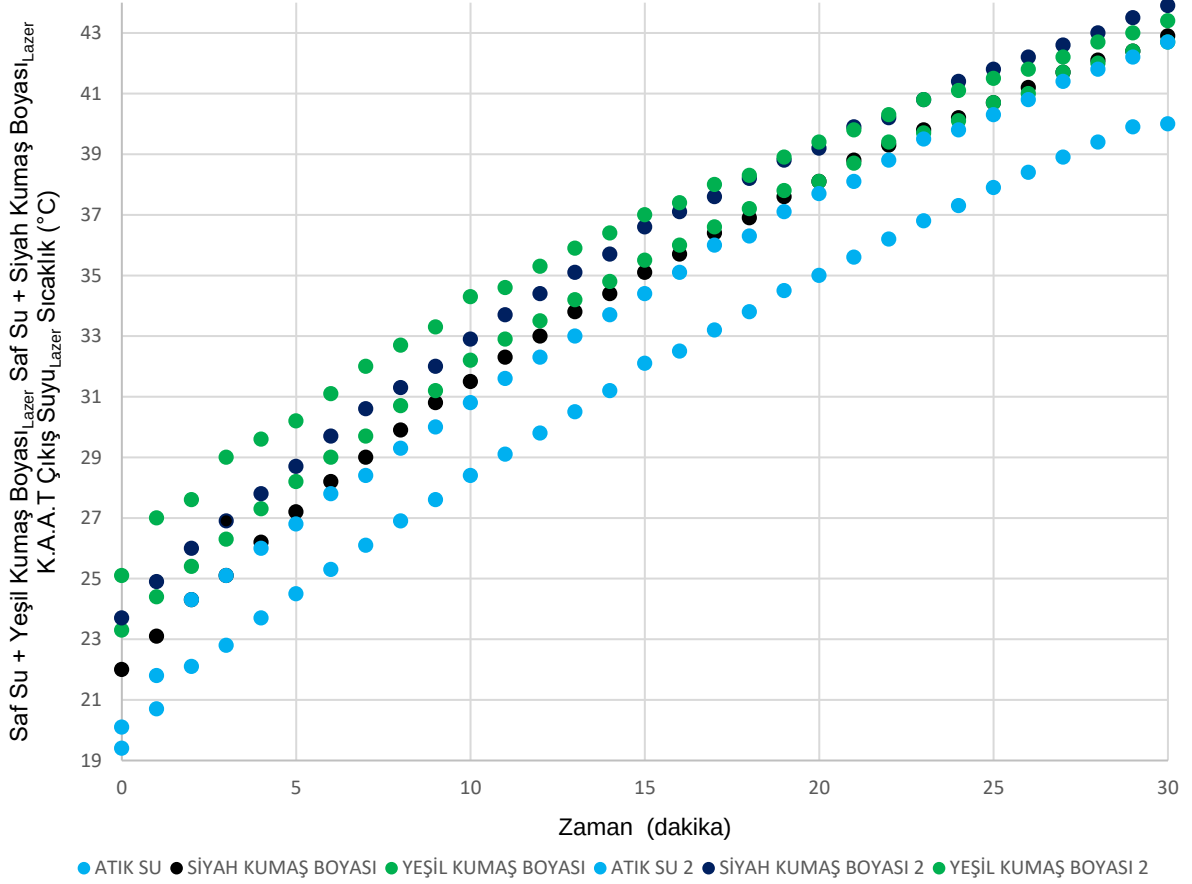
Tablo 5.8. Saf Suya Metilen Mavisi İlavesi Sonrası Lazer Işını Uygulanması Sırasında Sıcaklık Değişimlerine Ait Verilerin Denklemleri (250 ml, 50 W, 100 kHz, 500 mm/s)

Veriler	Denklem
Seri-1	$y = -0,006x^2 + 0,225x + 44,088$ $R^2 = 0,9976$
Seri-2	$y = 0,2x + 43,2$ $R^2 = 1$

Manyetik karıştırıcı yardımıyla sürekli karıştırma işlemi gerçekleştirilerek 250 ml'lik saf suya bir miktar metilen mavisi ilave edilerek 50 W gücün de 100 kHz frekans ve 500 mm/s sahip lazer ışınlarına maruz bırakılmıştır. Lazer ışınları sonucu meydana gelen ısınma sonucu elde edilen veriler kaydedilmiştir. Bu çalışmanın yapılmasının amacı metilen mavisinin gerek yapısal olarak gerekse de günlük yaşamda çok kullanılmasından dolayı etkisi gözlemlenmek istenmiştir. Ayrıca saf su ile katkı maddesi eklenerek oluşturulan bir karışımın karşılaştırılması yapılarak lazerin etkisi konusunda fikir oluşturulması amaçlanmıştır. Elde edilen veriler ışığında Grafik 5.5 oluşturularak Tablo 5.8 de belirtilen denklemler elde edilmiştir. Grafik 5.5 'in y-eksenin de belirtilen "Saf Su + Metilen Mavisi_{Lazer} Sıcaklık (°C)" saf suya metilen mavisi ilave edilerek lazer ışını uygulanması sırasındaki sıcaklığı ifade etmektedir.

Lazer ışını ile uzun süreli ışınlamalarda ve farklı moleküller içeren sularda sıcaklık doğrusal artmamaktadır. Bu gözlemin nedenleri tez kapsamında araştırılmamıştır. Bu deneyler sırasında elde edilen denklemler su sıcaklığındaki pozitif değişimi ortaya koymaktadır.

Grafik 5.6. Saf Suya Yeşil ve Siyah Kumaş Boyası İlavesi ile KAAT Çıkış Suyuna Lazer Işını Uygulanması Sırasında Sıcaklık Değişimi (250 ml, 50 W, 100 kHz, 500 mm/s)



Tablo 5.9. Saf Suya Yeşil ve Siyah Kumaş Boyası İlavesi ile KAAT Çıkış Suyuna Lazer Işını Uygulanması Sırasında Sıcaklık Değişimlerine Ait Verilerin Denklemleri (250 ml, 50 W, 100 kHz, 500 mm/s)

Veriler	Denklem
Atıksu	$y = -0,0078x^2 + 0,9039x + 20,122$ $R^2 = 0,9997$
Atıksu 2	$y = -0,0123x^2 + 1,0718x + 21,294$ $R^2 = 0,9947$
Yeşil Kumaş Boyası	$y = -0,0105x^2 + 0,9497x + 23,571$ $R^2 = 0,9995$
Yeşil Kumaş Boyası 2	$y = -0,011x^2 + 0,8973x + 26,002$ $R^2 = 0,9977$
Siyah Kumaş Boyası	$y = -0,0118x^2 + 1,0382x + 22,218$ $R^2 = 0,9997$
Siyah Kumaş Boyası 2	$y = -0,0114x^2 + 0,9999x + 23,981$ $R^2 = 0,9996$

250 ml'lik saf suya ayrı ayrı olmak üzere bir miktar siyah kumaş boyası ve yeşil kumaş boyası ilave edilerek sürekli olarak deneyin devam ettiği 30 dk boyunca manyetik karıştırıcı yardımıyla karıştırma işlemi yapılarak 50 W gücün de 100 kHz frekans ve 500 mm/s sahip lazer ışınları gönderilmiş ve sıcaklık değişimi zamana karşı kayıt altına alınmıştır.

İkinci bir deneyde tez çalışmasında kullanılan atıksular 20 W gücün de 100 kHz frekans ve 500 mm/s sahip lazer ışınlarına maruz bırakılmıştır. Siyah ve yeşil Kumaş boyalarının sıcaklık değişimleri ve oluşturulan denklemler incelendiğinde 20 W gücün de 100 kHz frekans ve 500 mm/s sahip lazer ışınına maruz bırakılan Siyah ve Yeşil Kumaş boyalarının 50 W'lık lazer ışınlamasından sıcaklık değişimi çok fark göstermediği gözlemlenmektedir.

Siyah ve Yeşil kumaş boyalarında lazerin gücünün sıcaklık üzerinde etkisinin fazla bir öneme sahip olmadığı bu nedenle lazerin kurulum maliyeti ve işletme maliyetleri gibi faktörlerde dikkate alınarak değerlendirme yapıldığında 20 W gücündeki lazerin kullanım açısından daha uygun olduğu değerlendirilmiştir.

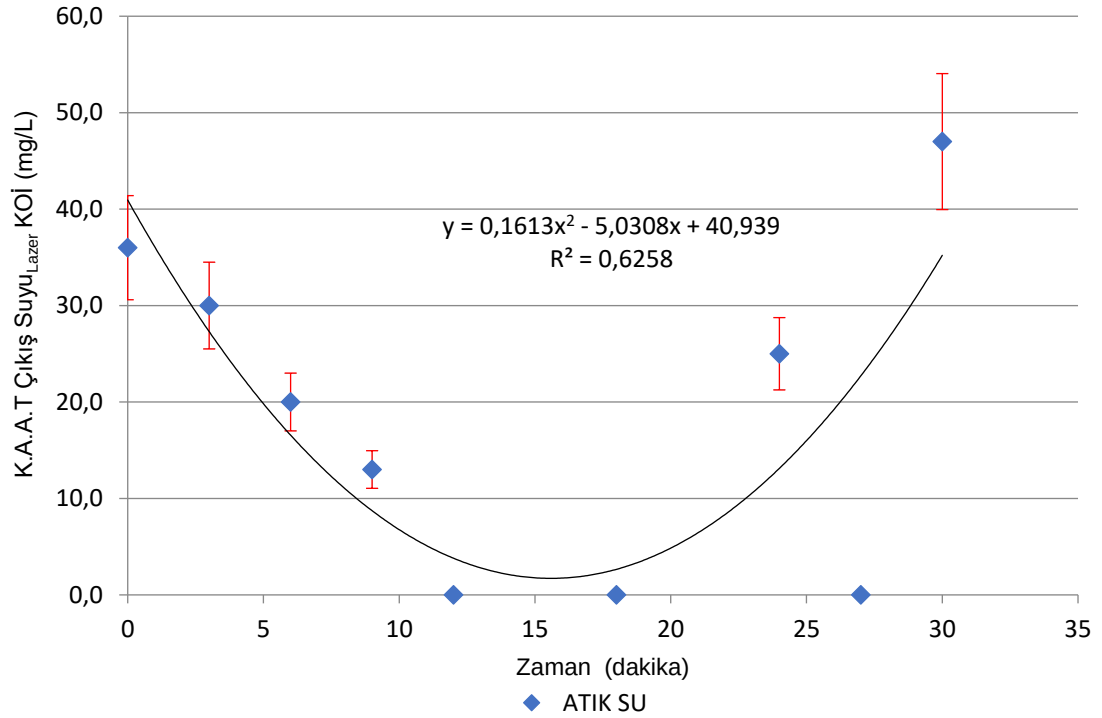
KAAT çıkış suyuna uygulanan 20 W gücünde, 100 kHz frekans ve 500 mm/s sahip lazer ışınları yeşil ve siyah kumaş boyalarında olduğu gibi sıcaklığın belli bir fonksiyona göre arttırdığı ve sıcaklık artış hızında zamanla yavaşlama olduğu görülmektedir. Bulgular kullanılan lazer gücünün 250 ml hacimindeki sıvının farklı sıcaklıklardan ısıtmaya başlanmasında bile 30 dakika içinde aynı sıcaklığa yükseltebileceğini göstermektedir. Elde edilen veriler ışığında Grafik 5.6 oluşturularak Tablo 5.9 de belirtilen denklemler elde edilmiştir. Grafik 5.6 'nın y-eksenin de belirtilen "Saf Su + Yeşil Kumaş Boyası_{Lazer} Saf Su + Siyah Kumaş Boyası_{Lazer} KAAT Çıkış Suyu_{Lazer} Sıcaklık (°C)" saf suya siyah kumaş boyası, yeşil kumaş boyası ilave edildikten sonra ve KAAT çıkış suyundan alınan numunelere lazer ışını uygulanması sırasındaki sıcaklığı ifade etmektedir.

Lazer ışınlaması ile kirlilik giderimi araştırmalarının ikinci aşamasında kentsel atıksu arıtma tesisi çıkış suyuna doğrudan lazer ışını yollanmıştır. Işınlamanın atıksuyun KOİ değeri üzerindeki etkisi grafikte verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre lazer ile ışınlamaya başladıktan sonra ilk 15 dakika boyunca KOİ değeri azalmaktadır. Daha sonra 15. dakikadan 30. dakikaya kadar KOİ değerleri tekrar artış göstermektedir.

Tablo 5.10. KAAT Çıkış Suyuna Lazer Işını Uygulanması Sonrası KOİ Sonuçları
(250 ml, 50 W, 100 kHz, 500 mm/s)

t (dk)	KOİ
0	36,0
3	30,0
6	20,0
9	13,0
12	0 (LİMİT)
18	0 (LİMİT)
24	25,0
27	0 (LİMİT)
30	47,0

Grafik 5.7. KAAT Çıkış Suyuna Lazer Işını Gönderilmesi Sonrası KOİ Sonuçları
(250 ml, 50 W, 100 kHz, 500 mm/s)

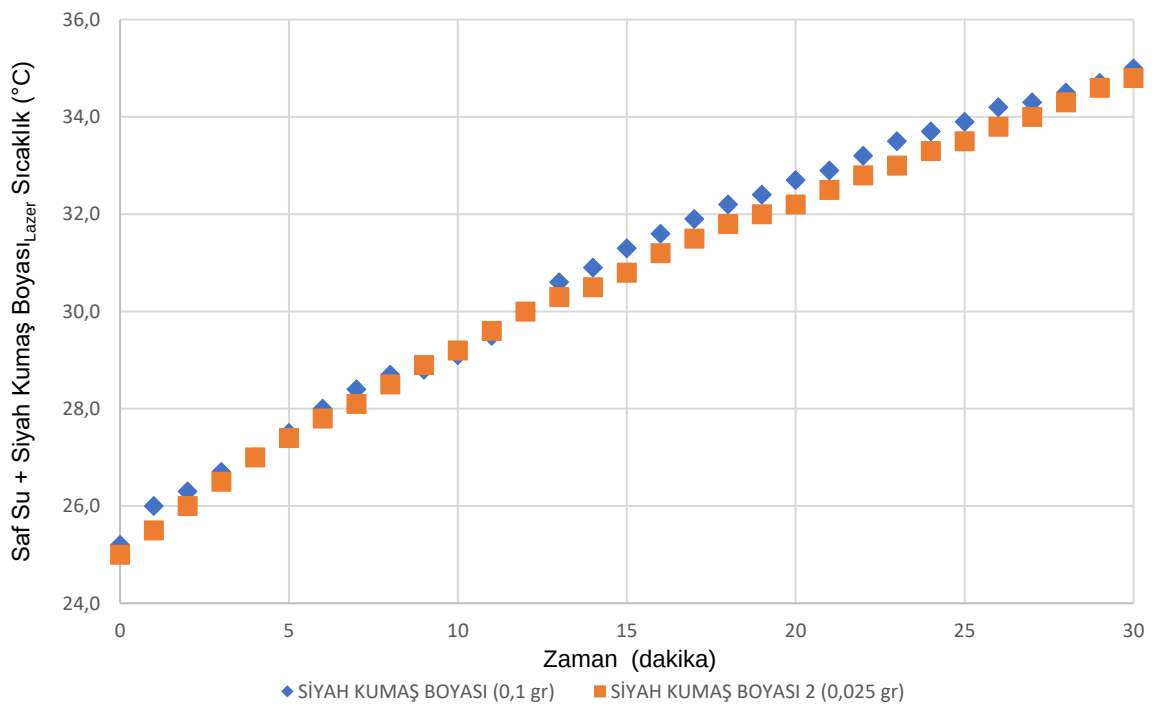


Yapılan KOİ ölçümleri sonucunda sistemdeki KOİ değişiminin ikinci dereceden bir fonksiyon olarak; $y = 0,1613x^2 - 5,0308x + 40,939$ $R^2 = 0,6258$, ile ifade edilebileceği belirlenmiştir. Lazer ışınlarının atıksuya teması ile meydana gelen parçalanmalardan dolayı KOİ değerinin değiştiği deneyler sırasında görülmüştür. Grafik 5.7. 'nin y-eksenin de belirtilen “KAAT Çıkış Suyu_{Lazer} KOİ (mg/L)” KAAT

çıkış suyundan alınan numunelerin lazer ışınına maruz bırakıldıktan sonra ölçülmüş olan KOİ değerlerini ifade etmektedir.

Lazer ışınlamasının suda çözünmüş tekstil boyaları üzerindeki etkisini belirlemek için Fenton prosesinde de kullanılan iki farklı konsantrasyonda boya içeren solüsyonlar kullanılmıştır. Deneyler sırasında reaktörlerdeki sıcaklık değişimi de izlenmiştir. Tez çalışmasındaki gözlemlere dayanarak siyah boya konsantrasyonlarındaki farklılıkların sıcaklık artışını etkilemediğini söylemek mümkündür.

Grafik 5.8. Saf Suya Siyah Kumaş Boyası İlave Edilerek Lazer Işını Uygulamasından Sonra Sıcaklık Ölçüm Sonuçları (250 ml saf su, 0,025 – 0,1 gr Boya, 20 W, 100 kHz, 500 mm/s)



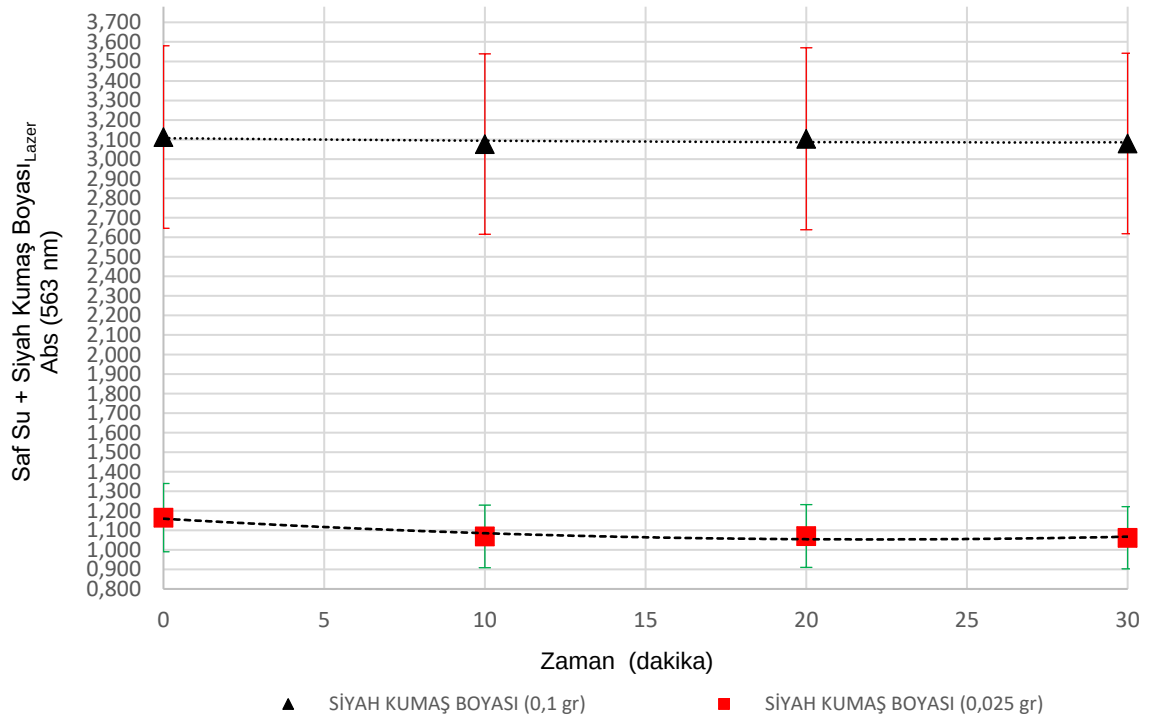
Tablo 5.11. Saf Suya Siyah Kumaş Boyası İlave Edilerek Lazer Işını Uygulamasından Sonra Sıcaklık Ölçüm Sonuçlarına Ait Verilerin Denklemleri (250 ml saf su, 0,025- 0,1 gr Boya, 20 W, 100 kHz, 500 mm/s)

Veriler	Denklem
Siyah Kumaş Boyası (0,025 gr)	$y = -0,0045x^2 + 0,4558x + 25,324$ $R^2 = 0,9981$
Siyah Kumaş Boyası (0,1 gr)	$y = -0,0042x^2 + 0,4419x + 25,189$ $R^2 = 0,999$

Saf suya ayrı ayrı beherlerde olmak üzere 0,025 gr/250 ml ve 0,1 gr/250 ml siyah kumaş boyası ilave edilerek 30 dk boyunca lazer ışınlarına maruz bırakılmış bu süreçteki sıcaklık değişimleri kayıt altına alınmıştır. Elde edilen veriler ışığında Grafik 5.8 oluşturularak Tablo 5.11 de belirtilen denklemler elde edilmiştir. Grafik 5.8'in y-ekseninde belirtilen “Saf Su + Siyah Kumaş Boyası_{Lazer} Sıcaklık (°C)” ifadesi saf suya siyah kumaş boyası ilave edilerek lazer ışınlarına maruz bırakıldığında sıcaklık değişimini ifade etmektedir.

Siyah tekstil boyasına lazer ışınlanması yapıldığında absorbans değerleri değişmektedir. Absorbans değerlerinde bir azalma vardır. Ayrıca, düşük konsantrasyonlarda bu azalma daha belirgin olmaktadır.

Grafik 5.9. Saf Suya Siyah Kumaş Boyası İlave Edilerek Lazer Işını Uygulamasından Sonra ABS Ölçüm Sonuçları (250 ml saf su, 0,025- 0,1 gr Boya, 20 W, 100 kHz, 500 mm/s)



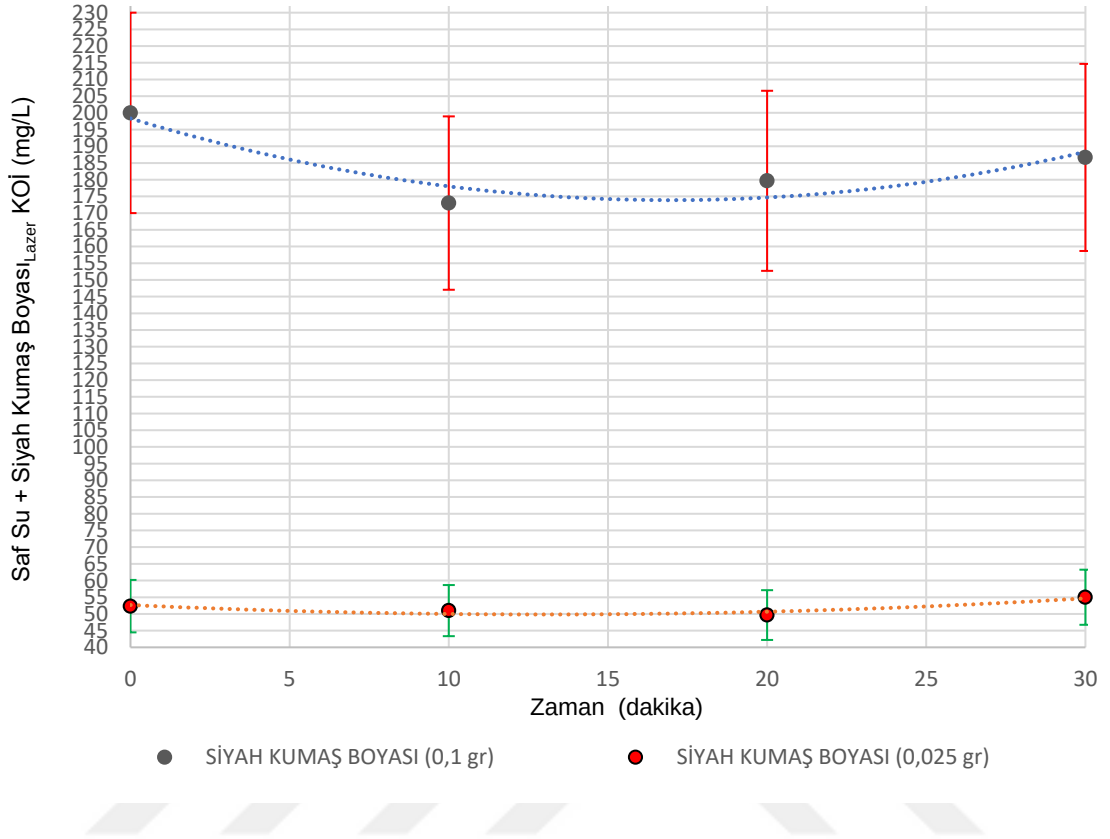
Tablo 5.12. Saf Suya Siyah Kumaş Boyası İlave Edilerek Lazer Işını Uygulamasından Sonra ABS Ölçüm Sonuçlarına Ait Verilerin Denklemleri (250 ml saf su, 0,025 – 0,1 gr Boya, 20 W, 100 kHz, 500 mm/s)

Veriler	Denklem
Siyah Kumaş Boyası (0,025 gr)	$y = 0,0002x^2 - 0,0096x + 1,1596$ $R^2 = 0,9175$
Siyah Kumaş Boyası (0,1 gr)	$y = 3E-05x^2 - 0,0016x + 3,1073$ $R^2 = 0,3124$

Saf suya ayrı ayrı beherlerde olmak üzere 0,025 gr/250 ml ve 0,1 gr/250 ml siyah kumaş boyası ilave edilerek 30 dk boyunca lazer ışınlarına maruz bırakılmış olan numunelerden örnekler alınarak daha önce belirlenen dalga boyunda (563 nm) absorbans değerleri ölçülmüştür. Elde edilen veriler ışığında Grafik 5.9 oluşturularak Tablo 5.12 de belirtilen denklemler elde edilmiştir. Grafik 6.9'un y-ekseninde belirtilen "Saf Su + Siyah Kumaş Boyası_{Lazer} Abs (563 nm)" saf suya siyah kumaş boyası ilave edilerek lazer ışınına maruz bırakıldığındaki anlarda alınan örneklerin 563 nm de spektrofotometrede ölçülen Abs değerlerini ifade etmektedir.

Lazer ışınmasına maruz bırakılan siyah tekstil boyası içeren su örneğine 30 dakika boyunca lazer ışınlanması yapılması sırasında ilk 15 dakika boyunca KOİ değerinde absorbans değerinden daha belirgin bir düşüş olduğu gözlenmiştir. Daha sonra KOİ değerlerinde bir artış gözlenmiştir. Gözlenen kuadratik davranış daha önce atıksuda da gözlenen azalış ve artış davranışı ile uyumludur. Siyah tekstil boyası içeren su örneğindeki KOİ değişimi her iki farklı boya konsantrasyonunda da gözlenmiştir. KOİ değişimi aşağıda tabloda ikinci dereceden denklem olarak ifade edilmiştir.

Grafik 5.10. Saf Suya Siyah Kumaş Boyası İlave Edilerek Lazer Işını Uygulamasından Sonra KOİ Ölçüm Sonuçları (250 ml saf su, 0,025- 0,1 gr Boya, 20 W, 100 kHz, 500 mm/s)



Tablo 5.13. Saf Suya Siyah Kumaş Boyası İlave Edilerek Lazer Işını Uygulamasından Sonra KOİ Ölçüm Sonuçlarına Ait Verilerin Denklemleri (250 ml saf su, 0,025 – 0,1 gr Boya, 20 W, 100 kHz, 500 mm/s)

Veriler	Denklem
Siyah Kumaş Boyası (0,025 gr)	$y = 0,0167x^2 - 0,4333x + 52,667$ $R^2 = 0,8571$
Siyah Kumaş Boyası (0,1 gr)	$y = 0,085x^2 - 2,8833x + 198,33$ $R^2 = 0,8611$

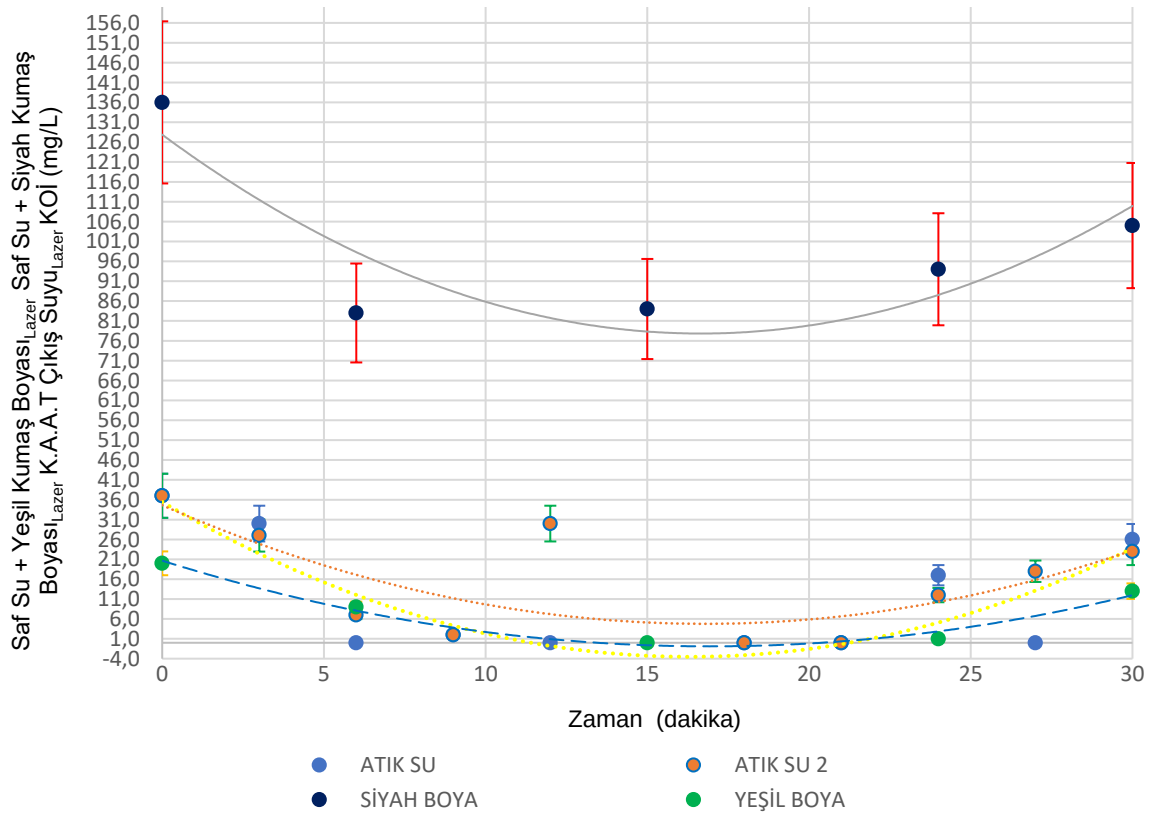
Saf suya ayrı ayrı beherlerde olmak üzere 0,025 gr/250 ml ve 0,1 gr/250 ml siyah kumaş boyası ilave edilerek 30 dk boyunca lazer ışınlarına maruz bırakılmış olan numunelerden belirli zamanlarda alınan örneklerden 2’şer ml alınarak KOİ değerleri ölçülmüştür. Elde edilen veriler ışığında Grafik 5.10. oluşturularak Tablo 5.13. de belirtilen denklemler elde edilmiştir. Grafik 5.10.’un y-ekseninde belirtilen “Saf Su + Siyah Kumaş Boyası_{Lazer} KOİ (mg/L)” saf suya siyah kumaş boyası ilave

edilerek lazer ışınına maruz bırakıldığındaki anlarda alınan örneklerin ölçülen KOİ değerlerini ifade etmektedir.

Tez çalışması sırasında iki farklı konsantrasyonda yeşil tekstil boyası içeren saf su örnekleri de lazer ışınlarına maruz bırakılmıştır. Deney protokolü gereği deney sırasında gözlenen sıcaklık değişimi, sıcaklık değişiminin konsantrasyonla olan bağlantısı incelenmiştir. Ayrıca ışınlama ile birlikte yeşil tekstil boyası içeren numunede absorbans ve KOİ değişimi olup olmadığı 30 dakika boyunca incelenmiştir.

Yeşil tekstil boyasının lazer ile ışınlanması sırasında atıksu numunesinin boya konsantrasyonu ısınma açısından bir fark oluşturmaktadır. İlk gözlemler boya konsantrasyonundaki artışın suyun ısınmasına pozitif katkısı olduğunu düşündürmektedir.

Grafik 5.11. Saf Suya Yeşil ve Siyah Kumaş Boyası İlavesi ile KAAT Çıkış Suyuna Lazer Işını Uygulamasından sonra KOİ Ölçüm Sonuçları (250 ml, 50 W, 100 kHz, 500 mm/s)

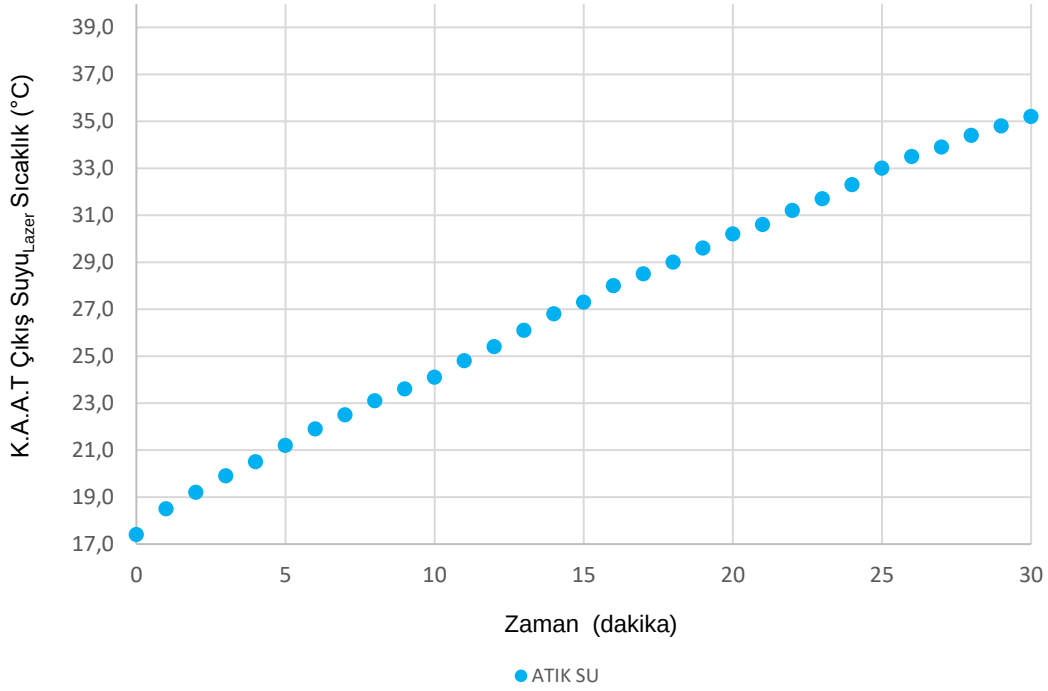


Tablo 5.14. Saf Suya Yeşil ve Siyah Kumaş Boyası İlavesi ile KAATÇıkış Suyuna Lazer Işını Uygulamasından Sonra KOİ Ölçüm Sonuçlarına Ait Verilerin Denklemleri (250 ml, 50 W, 100 kHz, 500 mm/s)

Veriler	Denklem
Atıksu	$y = 0,1462x^2 - 4,7729x + 35,435$ $R^2 = 0,7277$
Atıksu 2	$y = 0,1059x^2 - 3,5561x + 34,627$ $R^2 = 0,509$
Siyah Boya	$y = 0,1804x^2 - 6,0085x + 127,87$ $R^2 = 0,7903$
Yeşil Boya	$y = 0,0753x^2 - 2,5484x + 20,665$ $R^2 = 0,9779$

250 ml saf suya ilave edilen siyah ve yeşil kumaş boyaları ile KAAT çıkış suyunun 30 dk boyunca 50 W gücün de 100 kHz frekans ve 500 mm/s sahip lazer ışınlarına maruz bırakılmasından sonra numuneler alınarak KOİ kitleri ile KOİ değerleri belirlendi. Elde edilen veriler ışığında Grafik 5.11 oluşturularak Tablo 5.14 de belirtilen denklemler elde edilmiştir. Grafik 5.11'in y-ekseni "Saf Su + Yeşil Kumaş Boyası_{Lazer} Saf Su + Siyah Kumaş Boyası_{Lazer} K.A.A.T Çıkış Suyu_{Lazer} KOİ (mg/L)" saf suya siyah ve yeşil kumaş boyası ilave edildikten sonra lazer ışınına maruz bırakılan örneklerin KOİ değerlerini ifade etmektedir.

Grafik 5.12. KAAT Çıkış Suyuna Lazer Işını Uygulaması Sırasında Sıcaklık Değişimi (250 ml, 20 W, 100 kHz, 500 mm/s)

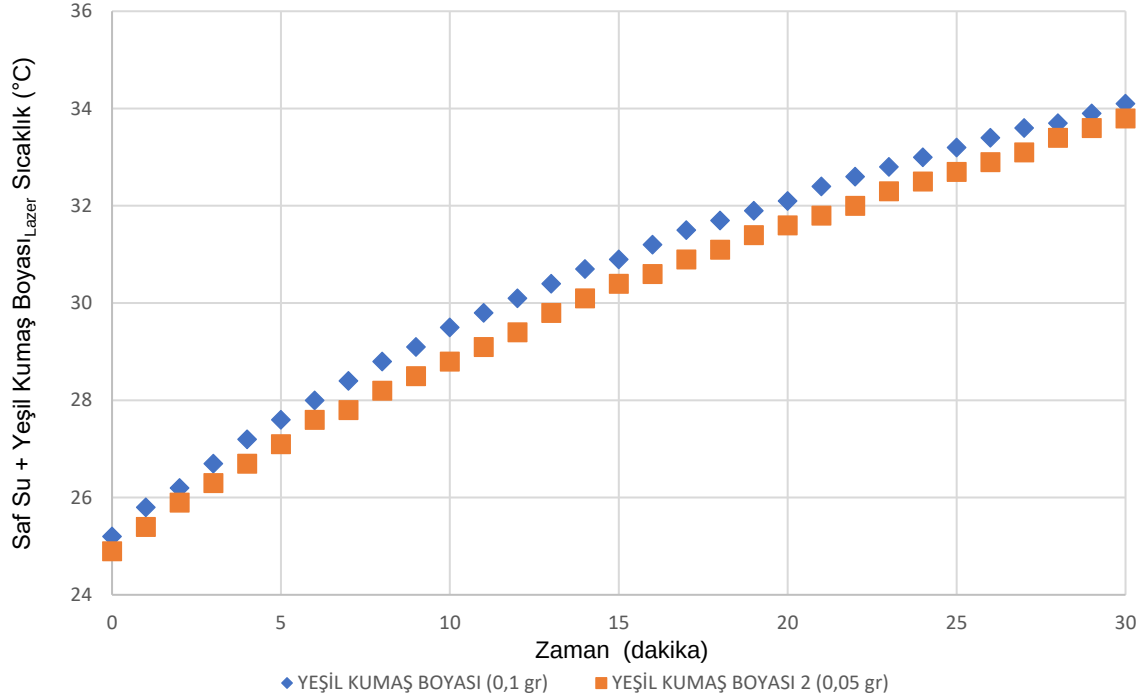


Tablo 5.15. KAAT Çıkış Suyuna Lazer Işını Uygulaması Sırasında Sıcaklık Değişimine Ait Verilerin Denklemleri (250 ml, 20 W, 100 kHz, 500 mm/s)

Veriler	Denklem
Atıksu	$y = -0,0035x^2 + 0,6912x + 17,736$ $R^2 = 0,9996$

KAAT çıkış suyundan alınarak 250 ml'lik behere koyulmuştur. KAAT çıkış suyu hiçbir işleme tabi tutulmadan doğrudan 20 W gücün de 100 kHz frekans ve 500 mm/s'lik lazer ışınlarına maruz bırakılmıştır. Manyetik karıştırıcı ile atıksuyun sürekli karıştırılması sağlanmıştır. Elde edilen veriler ışığında Grafik 5.12 oluşturularak Tablo 5.15 de belirtilen denklemler elde edilmiştir. Grafik 5.12'nin y-ekseninde belirtilen "KAATÇıkış Suyu_{Lazer} Sıcaklık (°C)" KAAT çıkış suyundan alınan numunelere lazer ışınına maruz bırakıldığındaki anlarda ölçülen sıcaklık değerlerini ifade etmektedir.

Grafik 5.13. Saf Suya Yeşil Kumaş Boyası İlavesi ile Lazer Işını Uygulamasından Sonra Sıcaklık Ölçüm Sonuçları (250 ml, 20 W, 100 kHz, 500 mm/s, 0,05- 0,1 gr boya)

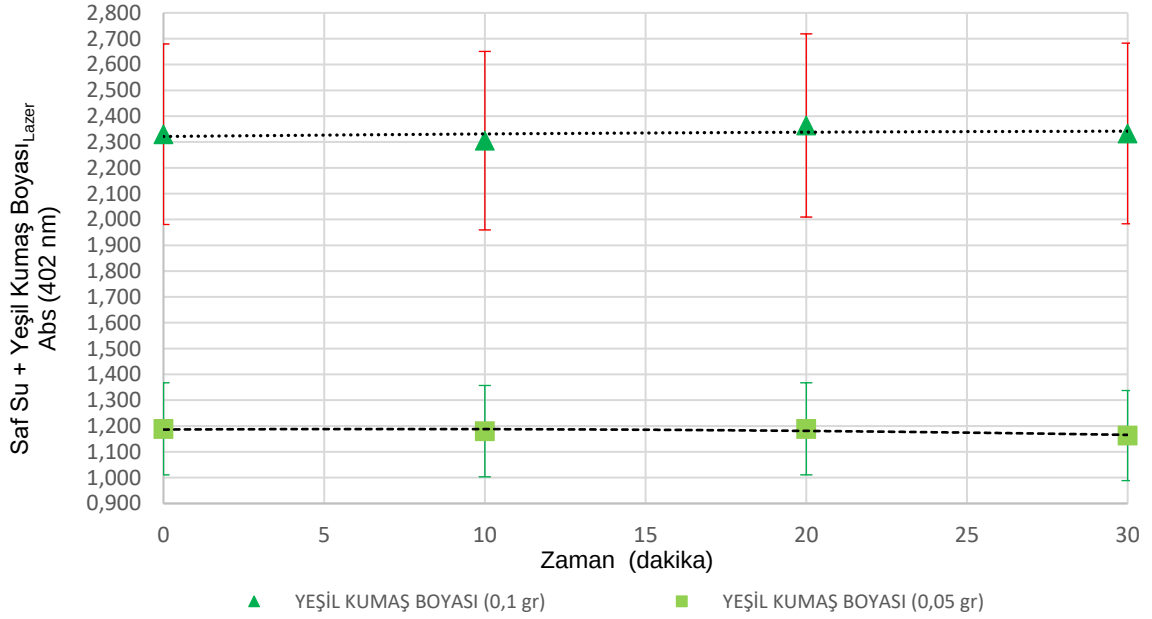


Tablo 5.16. Saf Suya Yeşil Kumaş Boyası İlavesi ile Lazer Işını Uygulamasından Sonra Sıcaklık Ölçüm Sonuçlarına Ait Verilerin Denklemleri (250 ml, 20 W, 100 kHz, 500 mm/s, 0,05- 0,1 gr boya)

Veriler	Denklem
Yeşil Kumaş Boyası (0,05 gr)	$y = -0,0043x^2 + 0,4142x + 25,081$ $R^2 = 0,9991$
Yeşil Kumaş Boyası (0,1 gr)	$y = -0,0057x^2 + 0,4565x + 25,396$ $R^2 = 0,999$

Saf suya ayrı ayrı olmak üzere 0,05 gr/250 ml ve 0,1 gr/250 ml yeşil kumaş boyası ilave edilerek numuneler 30 dk boyunca 20 W, 100 kHz, 500 mm/s'lik lazer ışınlarına maruz bırakılmıştır. Termometre yardımı ile sıcaklık değişimleri kayıt altına alınmıştır. Elde edilen veriler ışığında Grafik 5.13 oluşturularak Tablo 5.16 da belirtilen denklemler elde edilmiştir. Grafik 5.13'ün y-ekseninde belirtilen "Saf Su + Yeşil Kumaş Boyası_{Lazer} Sıcaklık (°C)" saf suya yeşil kumaş boyası ilave edilerek lazer ışınına maruz bırakıldığında sıcaklık değişimini ifade etmektedir.

Grafik 5.14. Saf Suya Yeşil Kumaş Boyası İlavesi ile Lazer Işını Uygulamasından Sonra ABS Ölçüm Sonuçları (250 ml, 20 W, 100 kHz, 500 mm/s, 0,05 – 0,1 gr boya)



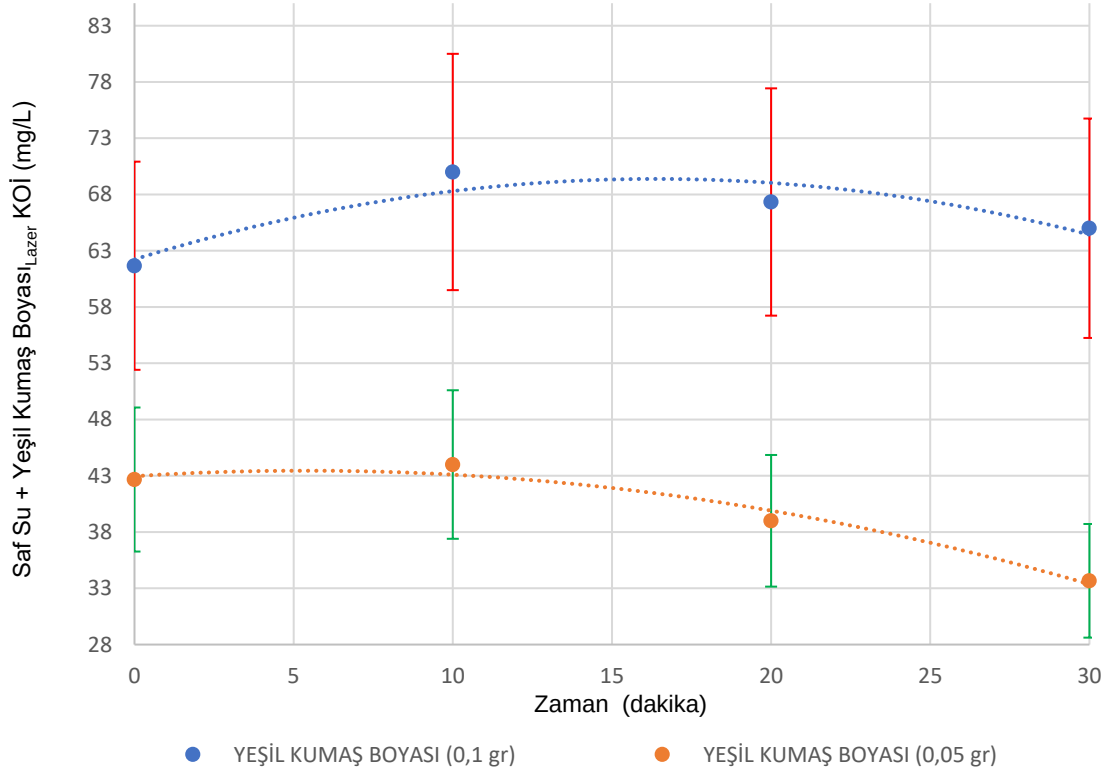
Tablo 5.17. Saf Suya Yeşil Kumaş Boyası İlavesi ile Lazer Işını Uygulamasından Sonra ABS Ölçüm Sonuçları Ait Verilerin Denklemleri (250 ml, 20 W, 100 kHz, 500 mm/s, 0,05 – 0,1 gr boya)

Veriler	Denklem
Yeşil Kumaş Boyası (0,05 gr)	$y = -4E-05x^2 + 0,0006x + 1,1864$ $R^2 = 0,6884$
Yeşil Kumaş Boyası (0,1 gr)	$y = -1E-05x^2 + 0,0011x + 2,3213$ $R^2 = 0,1369$

Saf suya ayrı ayrı beherlerde olmak üzere 0,05 gr/250 ml ve 0,1 gr/250 ml yeşil kumaş boyası ilave edilerek 30 dk boyunca lazer ışınlarına maruz bırakılmış olan numunelerden örnekler alınarak 402 nm dalga boyunda absorbans değerleri ölçülmüştür. Elde edilen veriler ışığında Grafik 5.14 oluşturularak Tablo 5.17 de belirtilen denklemler elde edilmiştir. Grafik 5.14'ün y-ekseninde belirtilen “Saf Su + Yeşil Kumaş Boyası_{Lazer} Abs (402 nm)” saf suya yeşil kumaş boyası ilave edilerek lazer ışınına maruz bırakıldığında anlarda alınan örneklerin 402 nm de spektrofotometre ölçülen Abs değerlerini ifade etmektedir.

Aşağıda yeşil tekstil boyasının lazer ile ışınlanması sonrasında da ölçülen KOİ değerleri görülmektedir. Grafikte verilen sonuçlara göre, yeşil tekstil boyası lazer ışınmasına maruz kalınca KOİ değerinde bir azalma gözlenmektedir. KOİ değerindeki azalma 30 dakikalık ışınlama süresince devam etmektedir.

Grafik 5.15. Saf Suya Yeşil Kumaş Boyası İlavesi ile Lazer Işını Uygulamasından Sonra KOİ Ölçüm Sonuçları (250 ml, 20 W, 100 kHz, 500 mm/s, 0,05 – 0,1 gr boya)



Tablo 5.18. Saf Suya Yeşil Kumaş Boyası İlavesi ile Lazer Işını Uygulamasından Sonra KOİ Ölçüm Sonuçlarına Ait Verilerin Denklemleri (250 ml, 20 W, 100 kHz, 500 mm/s, 0,05 – 0,1 gr boya)

Veriler	Denklem
Yeşil Kumaş Boyası (0,05 gr)	$y = -0,0167x^2 + 0,18x + 42,967$ $R^2 = 0,9719$
Yeşil Kumaş Boyası (0,1 gr)	$y = -0,0267x^2 + 0,8733x + 62,233$ $R^2 = 0,829$

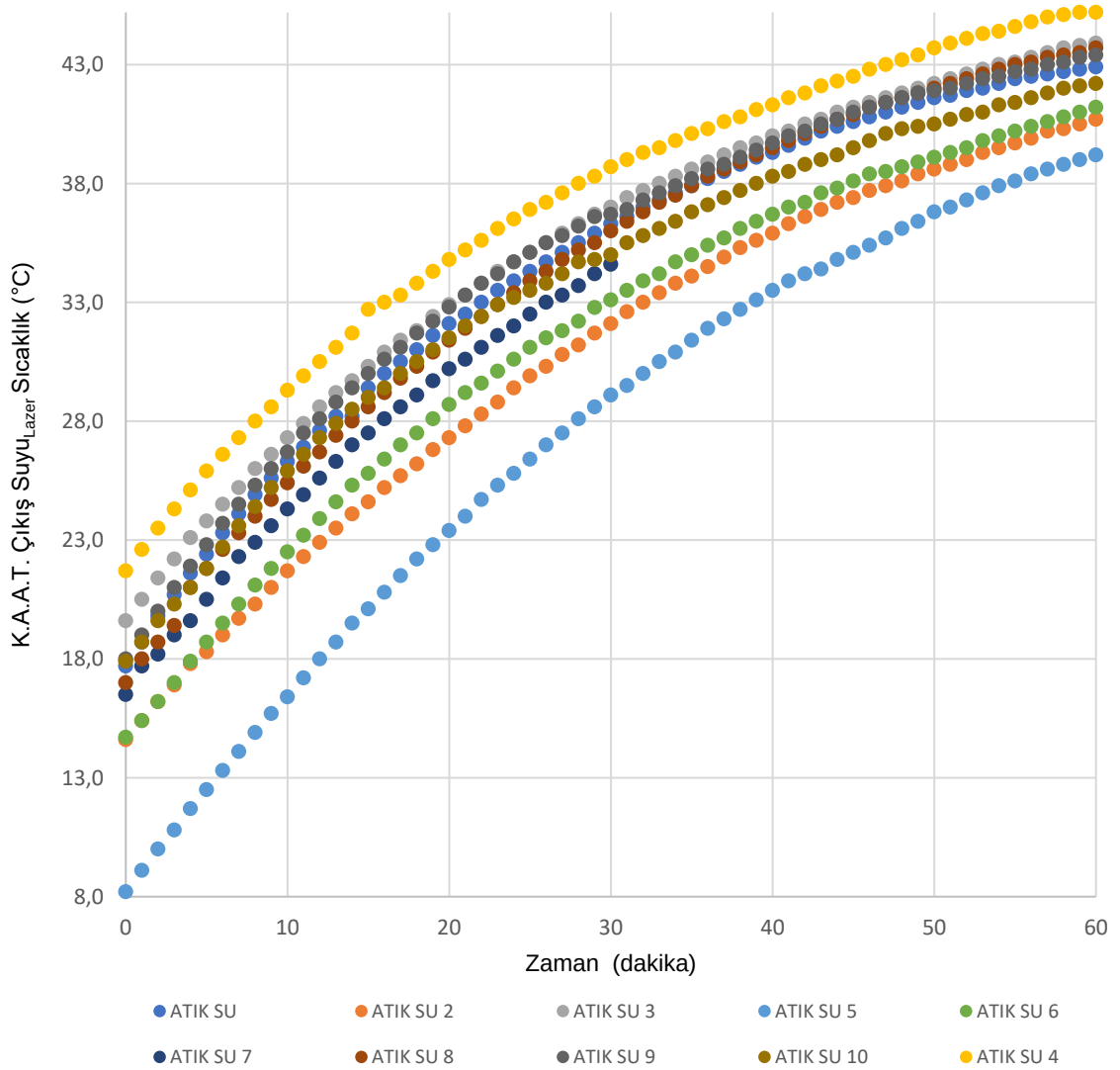
Saf suya ayrı ayrı beherlerde olmak üzere 0,05 gr/250 ml ve 0,1 gr/250 ml yeşil kumaş boyası ilave edilerek 30 dk boyunca lazer ışınlarına maruz bırakılmış olan numunelerden belirli zamanlarda alınan örneklerden 2'şer ml alınarak KOİ değerleri ölçülmüştür. Elde edilen veriler ışığında Grafik 5.15 oluşturularak Tablo

5.18 de belirtilen denklemler elde edilmiştir. Grafik 5.15'in y-ekseninde belirtilen “Saf Su + Yeşil Kumaş Boyası_{Lazer} KOİ (mg/L)” saf suya siyah kumaş boyası ilave edilerek lazer ışınına maruz bırakıldığında anlarda alınan örneklerin ölçülen KOİ değerlerini ifade etmektedir.

Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi Çıkış Suyu Lazer Çalışmaları

Kentsel atıksu arıtma tesisi çıkış suyuna lazer ışınının etkileri ve arıtma performansının incelenmesi aşamalı olarak araştırılmıştır. Öncelikle lazer ışınması ile birlikte sıcaklık değişiminin nasıl olduğu gözlenmiştir.

Grafik 5.16. KAAT Çıkış Suyuna Lazer Işını Uygulanması Sırasında Sıcaklık Değişimi (250 ml, 20 W, 40 kHz, 500 mm/s)



Tablo 5.19. KAAT Çıkış Suyuna Lazer Işını Uygulanması Sonrası Sıcaklık Değişimine Ait Verilerin Denklemleri (250 ml, 20 W, 40 kHz, 500 mm/s)

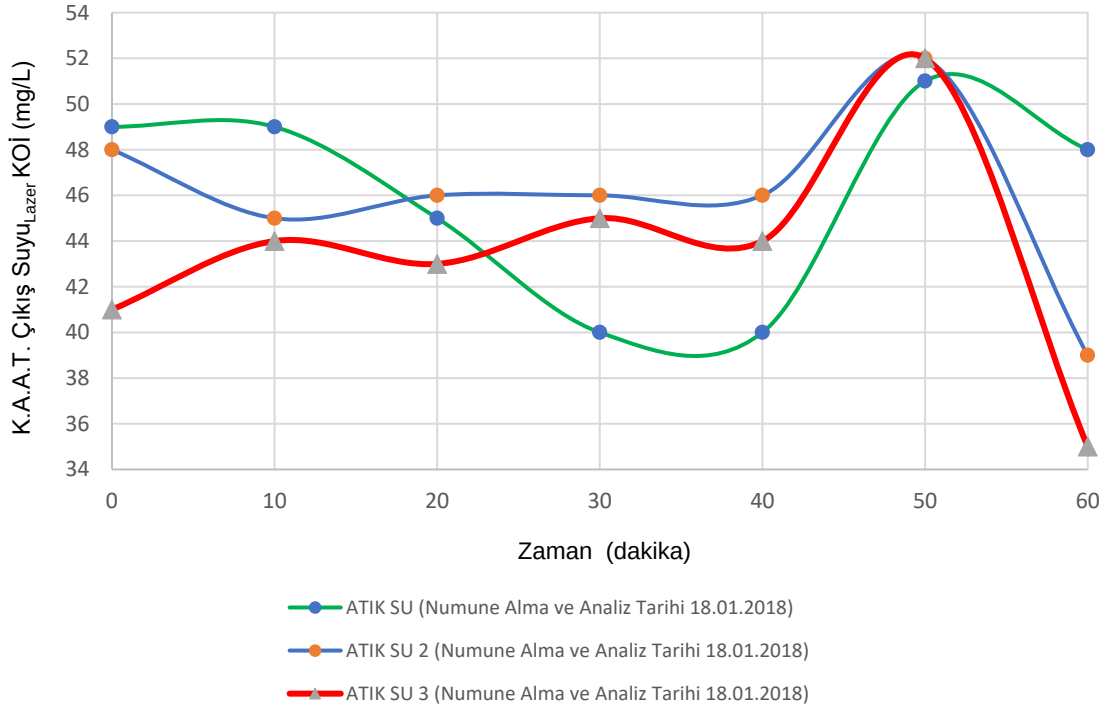
Veriler	Denklem
Atıksu	$y = -0,0064x^2 + 0,7801x + 18,726$ $R^2 = 0,9981$
Atıksu 2	$y = -0,005x^2 + 0,7256x + 14,815$ $R^2 = 0,9999$
Atıksu 3	$y = -0,0057x^2 + 0,7271x + 20,365$ $R^2 = 0,9985$
Atıksu 4	$y = -0,0055x^2 + 0,7008x + 22,611$ $R^2 = 0,9972$
Atıksu 5	$y = -0,006x^2 + 0,8681x + 8,3585$ $R^2 = 0,9998$
Atıksu 6	$y = -0,006x^2 + 0,7825x + 15,09$ $R^2 = 0,999$
Atıksu 7	$y = -0,0086x^2 + 0,8527x + 16,585$ $R^2 = 0,9996$
Atıksu 8	$y = -0,0062x^2 + 0,7965x + 17,768$ $R^2 = 0,9989$
Atıksu 9	$y = -0,0067x^2 + 0,7924x + 19,127$ $R^2 = 0,9966$
Atıksu10	$y = -0,0058x^2 + 0,7312x + 18,729$ $R^2 = 0,9965$

Uygun çalışma koşullarının belirlenmesinden sonra KAAT çıkış suyundan örnekler alınarak 250 ml'lik beherlere koyulmuştur. 20 W 40 kHz frekans ve 500 mm/s olan FLAST-NanoMark Fiber Lazer sisteminde 60 dk boyunca ışın uygulanarak sıcaklık ölçümleri, sıcaklık ölçüm sensörleri yardımıyla kayıt altına alınmıştır.

İkinci aşamada lazer ışımasının KAAT çıkış suyu KOİ değerleri üzerindeki zamana bağlı etkisi araştırılmıştır. KAAT çıkış suyu örnekleri farklı zamanlarda alınmış ve doğrudan laboratuvarında ışınlamaya götürülmüştür. KOİ ölçüm sonuçları kendi grubu içinde tutarlıdır. Öte yandan KOİ değerlerindeki değişim lazer ışımasının yapıldığı numuneye has bozunma özellikleri göstermektedir. Genellikle KOİ değerleri ışıma ve süre ile salınımlı azalmaktadır. Ancak numuneler arasında artan KOİ değerleri de ölçülmüştür.

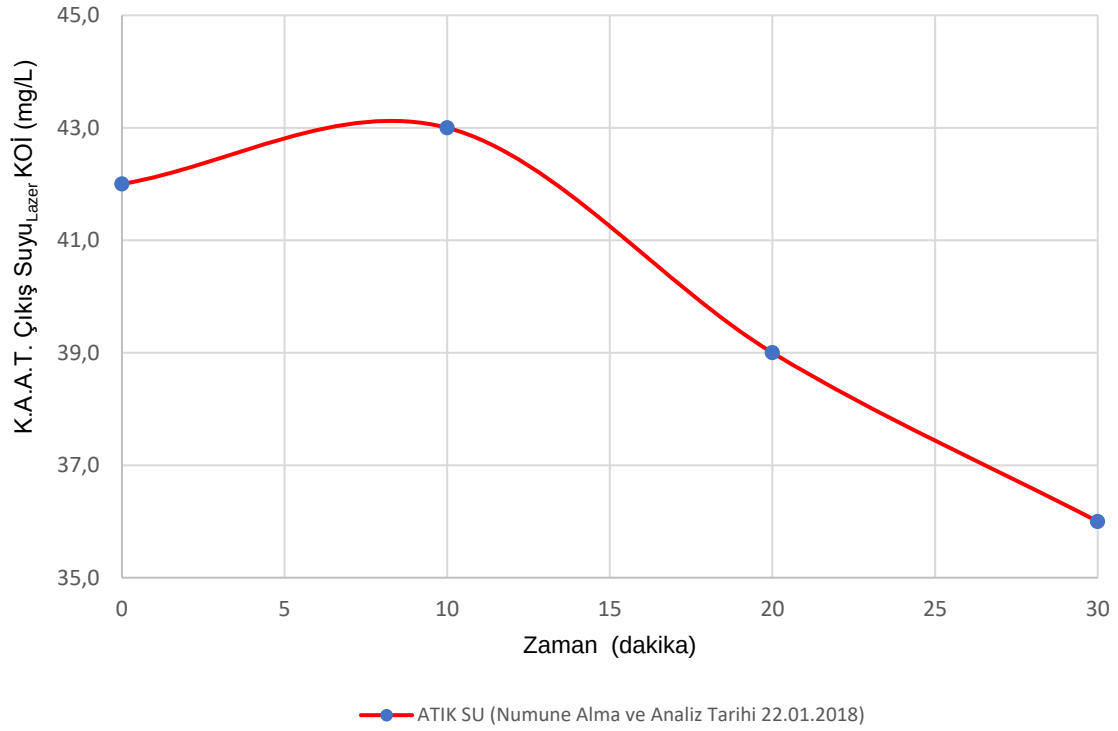
Bu durum KAAT çıkış suyundaki KOİ değerini sağlayan organik kirleticilerin farklı ve değişken olduğunu ve lazer ışımasında farklı tepki verdiklerini düşündürmektedir.

Grafik 5.17. 18.01.2018 tarihinde KAAT Çıkış Suyundan Alınan Numunelere Ait KOİ Ölçüm Sonuçları (250 ml, 20 W, 40 kHz, 500 mm/s)



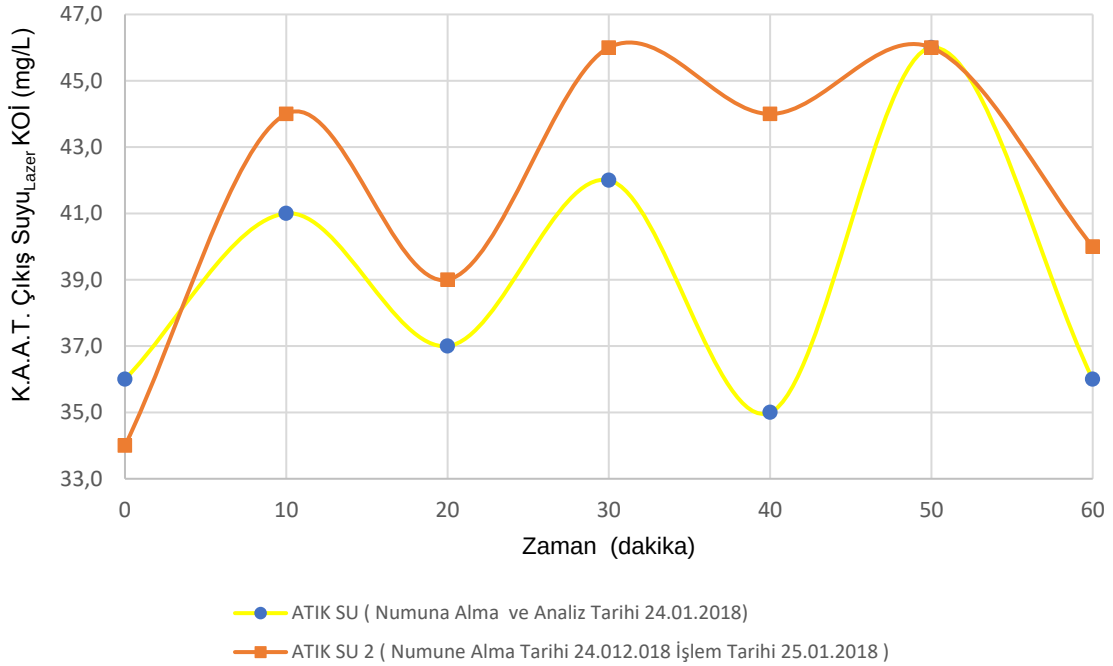
KAAT çıkış suyundan 18.01.2018 tarihinde alınan numuneler hiç bekletilmeden ve hiçbir işleme tabi tutulmadan 20 W 40 kHz frekans ve 500 mm/s olan FLAST-NanoMark Fiber Lazer ışınlarına maruz bırakılmıştır. 60 dk boyunca lazer ışınları uygulanan numunelerden 0, 10, 20, 30, 40, 50 ve 60. dk'larda 2'şer ml örnekler alınarak KOİ ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen veriler ışığında Grafik 5.17 oluşturulmuştur. Grafikte belirtilen atıksu'ya ait denklem $y = 0,0083x^2 - 0,5143x + 50,595$ $R^2 = 0,4909$, atıksu 2'ye ait denklem $y = -0,003x^2 + 0,1321x + 45,905$ $R^2 = 0,1497$, atıksu 3'e ait denklem $y = -0,0073x^2 + 0,4321x + 39,905$ $R^2 = 0,2884$ olarak bulunmuştur. Grafik 5.17'nin y-ekseinde belirtilen "KAAT Çıkış Suyu_{Lazer} KOİ (mg/L)" KAAT çıkış suyuna direk olarak hiçbir işleme tabi tutulmadan lazer ışını uygulanması sonrasında KOİ değişimlerini ifade etmektedir.

Grafik 5.18. 22.01.2018 tarihinde KAAT Çıkış Suyundan Alınan Numuneye Ait KOİ Ölçüm Sonuçları (250 ml, 20 W, 40 kHz, 500 mm/s)



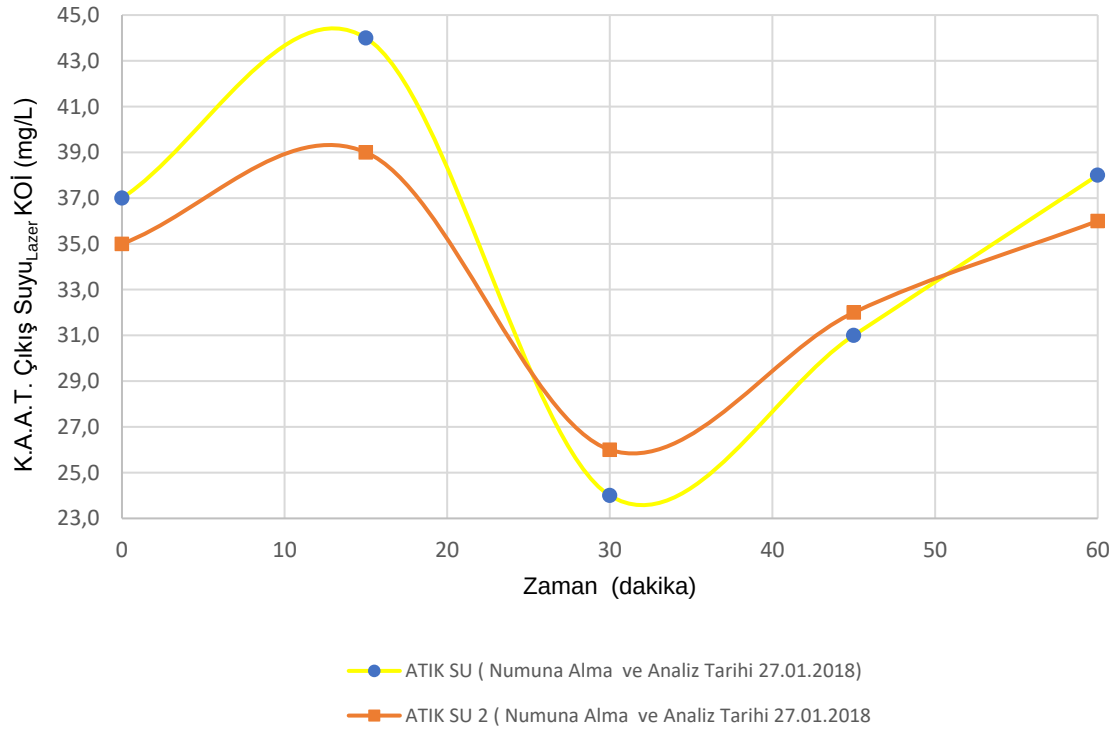
KAAT çıkış suyundan 22.01.2018 tarihinde alınan numuneler hiç bekletilmeden ve hiçbir işleme tabi tutulmadan 20 W 40 kHz frekans ve 500 mm/s olan FLAST-NanoMark Fiber Lazer ışınlarına maruz bırakılmıştır. 30 dk boyunca lazer ışınları uygulanan numunelerden 0, 10, 20, ve 30. dk'larda 2'şer ml örnekler alınarak KOİ ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen veriler ışığında Grafik 5.18 oluşturulmuştur. Grafikte belirtilen atıksu'ya ait denklem $y = -0,01x^2 + 0,08x + 42,3$ $R^2 = 0,94$ olarak bulunmuştur. Grafik 5.18'in y-ekseinde belirtilen "KAAT Çıkış Suyu_{Lazer} KOİ (mg/L)" KAAT çıkış suyuna direk olarak hiçbir işleme tabi tutulmadan lazer ışını uygulanması sonrasında KOİ değişimlerini ifade etmektedir.

Grafik 5.19. 24.01.2018 tarihinde KAAT Çıkış Suyundan Alınan Numunelerin 24.01.2018 Tarihi ile 25.01.2018 Tarihinde Yapılan Analizlere Ait KOİ Ölçüm Sonuçları (250 ml, 20 W, 40 kHz, 500 mm/s)



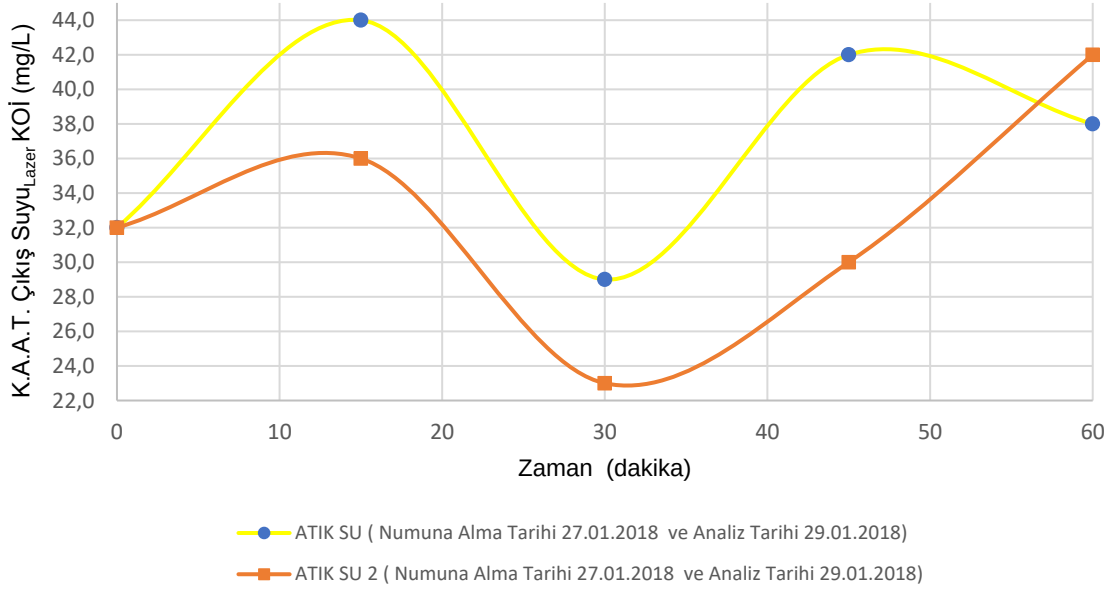
KAAT çıkış suyundan 24.01.2018 tarihinde alınan numuneler hiçbir işleme tabi tutulmadan ve hiç bekletilmeden 20 W 40 kHz frekans ve 500 mm/s olan FLAST-NanoMark Fiber Lazer ışınlarına maruz bırakılmıştır. 24.01.2018 tarihinde alınan numunelerin uygun koşullarda saklanmasından sonra 25.01.2018 tarihinde 20 W 40 kHz frekans ve 500 mm/s olan FLAST-NanoMark Fiber Lazer ışınlarına maruz bırakılmıştır. 60 dk boyunca lazer ışınları uygulanan numunelerden 0, 10, 20, 30, 40, 50 ve 60. dk'larda 2'şer ml örnekler alınarak KOİ ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen veriler ışığında Grafik 5.19. oluşturulmuştur. Grafikte belirtilen atıksu'ya ait denklem $y = -0,0029x^2 + 0,2x + 36,714$ $R^2 = 0,0914$, atıksu 2'ye ait denklem $y = -0,0075x^2 + 0,5464x + 35,214$ $R^2 = 0,6271$ olarak bulunmuştur. Grafik 5.19.'un y-ekseinde belirtilen "KAAT Çıkış Suyu_{Lazer} KOİ (mg/L)" KAAT çıkış suyuna direk olarak hiçbir işleme tabi tutulmadan lazer ışını uygulanması sonrasında KOİ değişimlerini ifade etmektedir.

Grafik 5.20. 27.01.2018 tarihinde KAAT Çıkış Suyundan Alınan Numunelere Ait KOİ Ölçüm Sonuçları (250 ml, 20 W, 40 kHz, 500 mm/s)



KAAT çıkış suyundan 27.01.2018 tarihinde alınan numuneler hiç bekletilmeden ve hiçbir işleme tabi tutulmadan 20 W 40 kHz frekans ve 500 mm/s olan FLAST-NanoMark Fiber Lazer ışınlarına maruz bırakılmıştır. 60 dk boyunca lazer ışınları uygulanan numunelerden 0, 15, 30, 45 ve 60. dk'larda 2'şer ml örnekler alınarak KOİ ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen veriler ışığında Grafik 5.20 oluşturulmuştur. Grafikte belirtilen atıksu'ya ait denklem $y = 0,0086x^2 - 0,5876x + 40,857$ $R^2 = 0,278$, atıksu 2'ye ait denklem $y = 0,006x^2 - 0,3952x + 37,314$ $R^2 = 0,291$ olarak bulunmuştur. Grafik 5.20.'nin y-ekseinde belirtilen "KAAT Çıkış Suyu_{Lazer} KOİ (mg/L)" KAATçıkış suyuna direk olarak hiçbir işleme tabi tutulmadan lazer ışını uygulanması sonrasında KOİ değişimlerini ifade etmektedir.

Grafik 5.21. 27.01. 2018 tarihinde KAAT Çıkış Suyundan Alınan Numunelerin 29.01.2018 tarihinde Yapılan Analizlere Ait KOİ Ölçüm Sonuçları (250 ml, 20 W, 40 kHz, 500 mm/s)



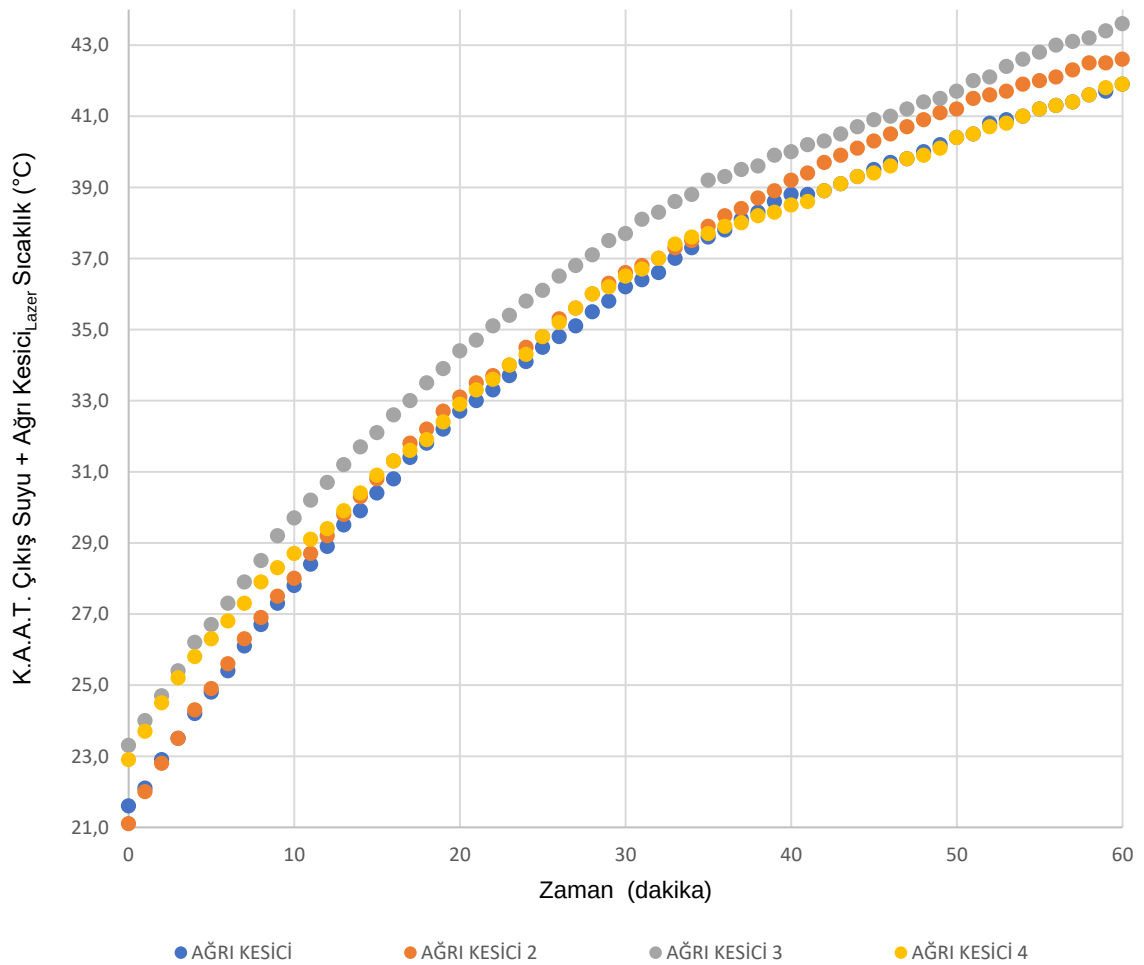
KAAT çıkış suyundan 27.01.2018 tarihinde alınan numuneler uygun koşullarda saklandıktan sonra hiçbir işleme tabi tutulmadan 20 W 40 kHz frekans ve 500 mm/s olan FLAST-NanoMark Fiber Lazer ışınlarına maruz bırakılmıştır. 60 dk boyunca lazer ışınları uygulanan numunelerden 0, 15, 30, 45 ve 60. dk'larda 2'şer ml örnekler alınarak KOİ ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen veriler ışığında Grafik 5.21 oluşturulmuştur. Grafikte belirtilen atıksu'ya ait denklem $y = -0,0013x^2 + 0,1429x + 34,429$ $R^2 = 0,0679$, atıksu 2'ye ait denklem $y = 0,0114x^2 - 0,5924x + 34,943$ $R^2 = 0,5631$ olarak bulunmuştur. Grafik 5.21'in y-ekseninde belirtilen "KAAT Çıkış Suyu_{Lazer} KOİ (mg/L)" KAAT çıkış suyuna direk olarak hiçbir işleme tabi tutulmadan lazer ışını uygulanması sonrasında KOİ değişimlerini ifade etmektedir.

Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi Çıkış Suyuna Ağrı Kesici İlavesi Sonrasında Yapılan Çalışmalar

Flurbiprofen ilave edilen kentsel atıksu arıtma tesisi çıkış suyunda lazer ışınlaması ile birlikte oluşan sıcaklık ve KOİ değerindeki değişim zamana bağlı izlenmiştir. Sonuçlar lazer ışınlaması ile birlikte 60 dakika içinde yaklaşık 20 °C artan sıcaklık değerleri olduğunu ortaya koymaktadır.

KOİ değerlerinde genel olarak önce azalan daha sonra görece artan quadratik bir salınım gözlenmiştir. Bu değişimin atıksu matrisinin kompleks yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir. Lazer ışınlaması deneylerde kullanılan yaklaşım ile flurbiprofen gideriminde sınırlı bir etkinlik göstermektedir.

Grafik 5.22. KAAT Çıkış Suyuna Ağrı Kesici İlavesi Sonrasında Lazer Işını Uygulanması Sırasında Sıcaklık Ölçüm Sonuçları (250 ml, 0,1 gr Ağrı Kesici, 20 W, 40 kHz, 500 mm/s)

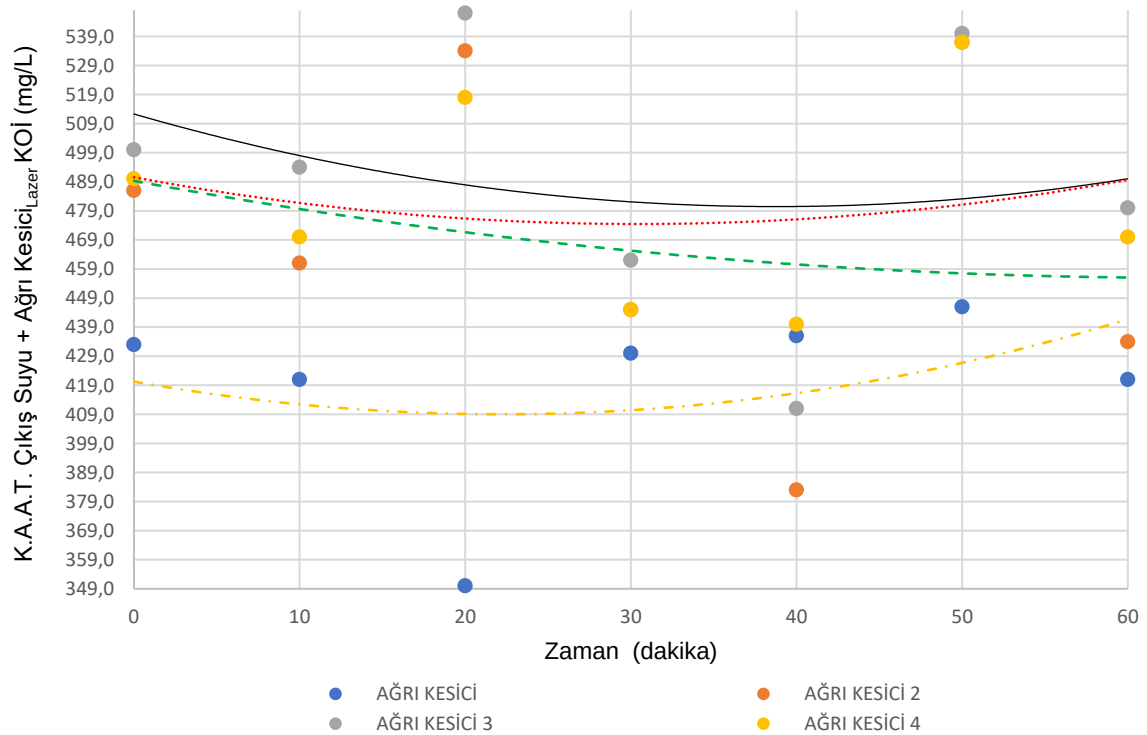


Tablo 5.20. KAAT Çıkış Suyuna Ağrı Kesici İlavesi Sonrasında Lazer Işını Uygulanması Sırasında Sıcaklık Ölçüm Sonuçlarına Ait Verilerin Denklemleri (250 ml, 0,1 gr Ağrı Kesici, 20 W, 40 kHz, 500 mm/s)

Veriler	Denlem
Ağrı Kesici	$y = -0,005x^2 + 0,6212x + 21,958$ $R^2 = 0,9985$
Ağrı Kesici 2	$y = -0,005x^2 + 0,6393x + 21,951$ $R^2 = 0,9979$
Ağrı Kesici 3	$y = -0,0047x^2 + 0,5992x + 23,949$ $R^2 = 0,9971$
Ağrı Kesici 4	$y = -0,0042x^2 + 0,5484x + 23,541$ $R^2 = 0,9981$

KAAT çıkış suyundan alınan numunelere 0,1 gr Mazejik flurbiprofen (100 mg film tablet) ilave edilerek manyetik karıştırıcı yardımıyla bir süre karıştırılmış ve daha sonra cam şişelere alınarak 24 saat boyunca çözünmesi beklenmiştir. Çözünme işleminden sonra 250 ml'lik beherlere koyulan numuneler 20 W 40 kHz frekans ve 500 mm/s'lik lazer ışınlarına 60 dk boyunca maruz bırakılmıştır. Sıcaklık ölçüm sensörleri yardımıyla sıcaklık değişimleri kayıt altına alınmıştır.

Grafik 5.23. KAAT Çıkış Suyuna Ağrı Kesici İlavesi Sonrası Lazer Işını Uygulanması Sonrasında KOİ Ölçüm Sonuçları (250 ml, 0,1 gr Ağrı Kesici, 20 W, 40 kHz, 500 mm/s)



Tablo 5.21. KAAT Çıkış Suyuna Ağrı Kesici İlavesi Sonrasında Lazer Işını Uygulanması Sırasında KOİ Ölçüm Sonuçlarına Ait Verilerin Denklemleri (250 ml, 0,1 gr Ağrı Kesici, 20 W, 40 kHz, 500 mm/s)

Veriler	Denklem
Ağrı Kesici	$y = 0,0229x^2 - 1,0143x + 420,29$ $R^2 = 0,1305$
Ağrı Kesici 2	$y = 0,0082x^2 - 1,0464x + 489,29$ $R^2 = 0,0497$
Ağrı Kesici 3	$y = 0,0212x^2 - 1,6429x + 512,31$ $R^2 = 0,0588$
Ağrı Kesici 4	$y = 0,0174x^2 - 1,0571x + 490,55$ $R^2 = 0,0326$

60 dk boyunca lazer ışını uygulanan numunelerden örnekler alınarak 0-1500 mg/L ölçüm aralığına sahip KOİ kitlerine 2 ml koyularak 148 °C ve 150 °C de ısıtılmaya bırakılmıştır. Soğuması beklendikten sonra kalorimetre yardımıyla KOİ değerleri ölçülmüştür. KOİ ölçümlerinde 2 ayrı ısıtıcı reaktör ve bu reaktörlere uygun 2 ayrı KOİ kitleri kullanılmıştır. Kullanılan KOİ kitlerinin ölçüm aralıkları 0-1500 mg/L'dir.

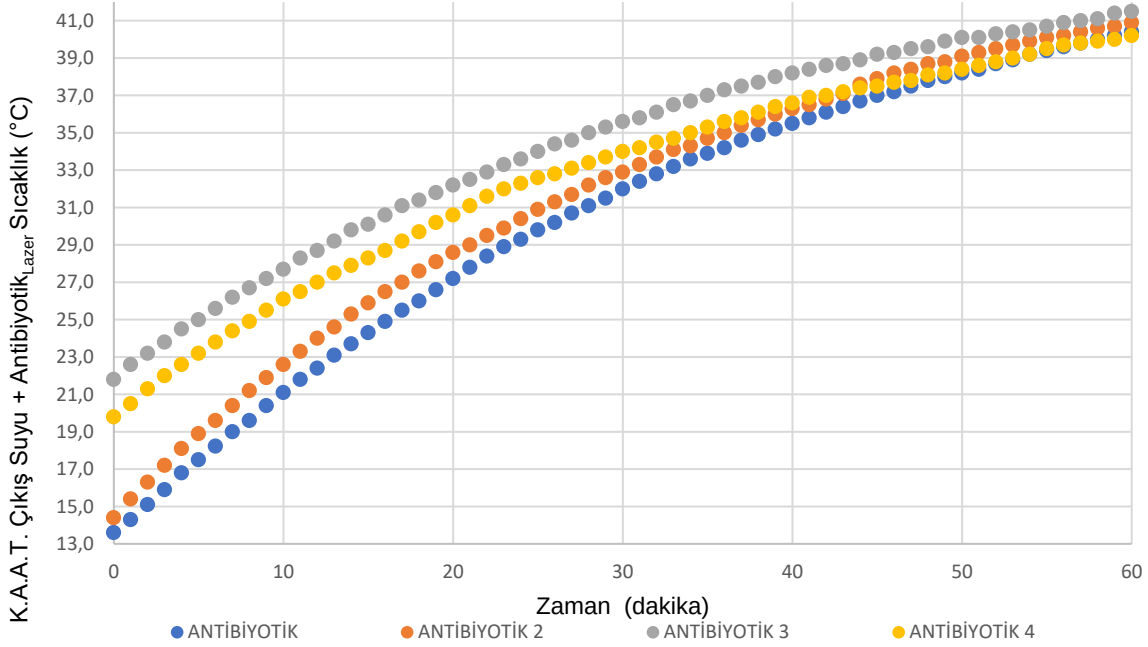
Atıksu Arıtma Tesisi Çıkış Suyuna Antibiyotik İlavesi Sonrasında Yapılan Çalışmalar

Amoksisilin/klavulanik asit ilave edilen kentsel atıksu arıtma tesisi çıkış suyunda lazer ışınlanması ile birlikte oluşan sıcaklık ve KOİ değerindeki değişim zamana bağlı izlenmiştir.

Sonuçlar lazer ışınlanması ile birlikte 60 dakika içinde yaklaşık 20 ila 29 °C artan sıcaklık değerleri olduğunu ortaya koymaktadır.

Amoksisilin/klavulanik asit içeren atıksularda lazer ışınlamasının KOİ değerlerinde artan değerlere neden olduğu gözlenmiştir. Bu değişimin Amoksisilin/klavulanik asit molekülündeki azotlu grupların lazer ile bozunması sonrasında KOİ ölçümüne interferans oluşturması veya reaksiyonlar sonrası KOİ oluşturabilecek daha küçük moleküllerin ortaya çıkması ile açıklanabilir. Lazer ışınlanması deneylerde kullanılan yaklaşım ile Amoksisilin/klavulanik asit gideriminde sınırlı bir etkinlik göstermektedir.

Grafik 5.24. KAAT Çıkış Suyuna Antibiyotik İlavesi Sonrasında Lazer Işını Uygulanması Sırasında Sıcaklık Ölçüm Sonuçları (250 ml, 0,1 gr Ağrı Kesici, 20 W, 40 kHz, 500 mm/s)

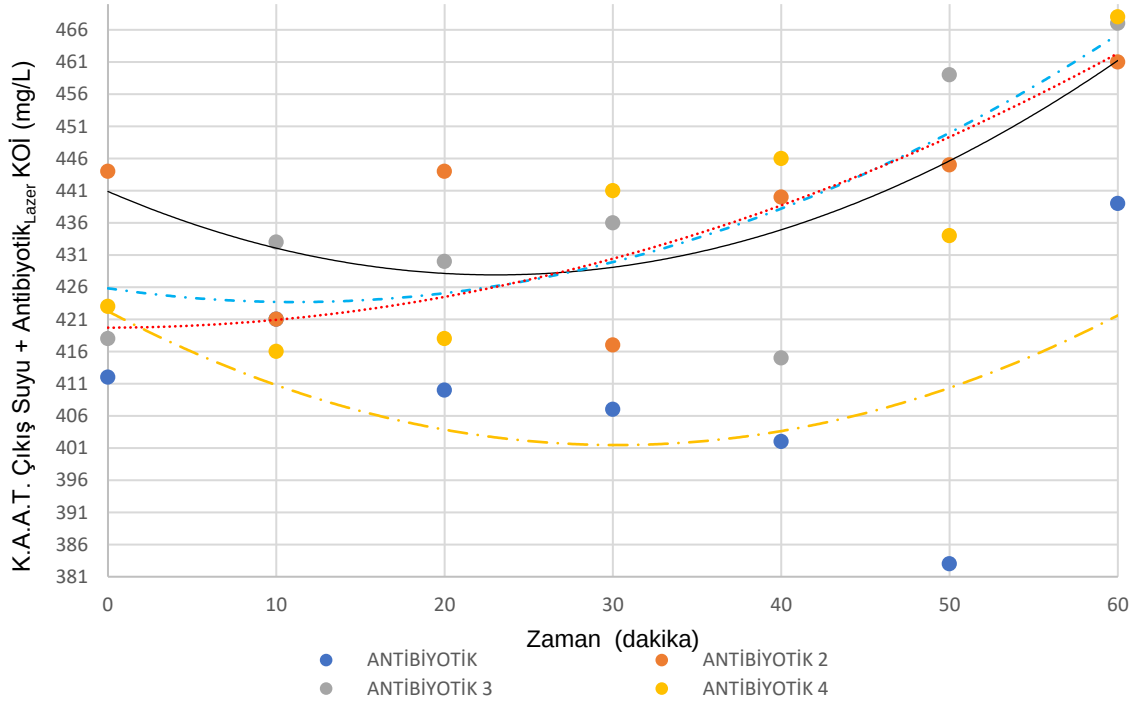


Tablo 5.22. KAAT Çıkış Suyuna Antibiyotik İlavesi Sonrasında Lazer Işını Uygulanması Sırasında Sıcaklık Ölçüm Sonuçlarına Ait Verilerin Denklemleri (250 ml, 0,1 gr Ağrı Kesici, 20 W, 40 kHz, 500 mm/s)

Veriler	Denklem
Antibiyotik	$y = -0,0056x^2 + 0,7712x + 13,851$ $R^2 = 0,9995$
Antibiyotik 2	$y = -0,0057x^2 + 0,7634x + 15,279$ $R^2 = 0,9985$
Antibiyotik 3	$y = -0,0044x^2 + 0,5743x + 22,306$ $R^2 = 0,9991$
Antibiyotik 4	$y = -0,0044x^2 + 0,5838x + 20,44$ $R^2 = 0,9981$

KAAT çıkış suyundan alınan numunelere 0,1 gr Augumentin (BID 1000 mg film tablet) ilave edilerek manyetik karıştırıcı yardımıyla bir süre karıştırılmış ve daha sonra cam şişelere alınarak 24 saat boyunca çözünmesi beklenmiştir. Çözünme işleminden sonra 250 ml'lik beherlere koyulan numuneler 20 W 40 kHz frekans ve 500 mm/s'lik lazer ışınlarına 60 dk boyunca maruz bırakılmıştır. Sıcaklık ölçüm sensörleri yardımıyla sıcaklık değişimleri kayıt altına alınmıştır.

Grafik 5.25. KAAT Çıkış Suyuna Antibiyotik İlavesi Sonrasında Lazer Işını Uygulanması Sırasında KOİ Ölçüm Sonuçları (250 ml, 0,1 gr Ağırlı Kesici, 20 W, 40 kHz, 500 mm/s)



Tablo 5.23. KAAT Çıkış Suyuna Antibiyotik İlavesi Sonrasında Lazer Işını Uygulanması Sırasında KOİ Ölçüm Sonuçlarına Ait Verilerin Denklemleri (250 ml, 0,1 gr Ağırlı Kesici, 20 W, 40 kHz, 500 mm/s)

Veriler	Denklem
Antibiyotik	$y = 0,0227x^2 - 1,375x + 422,26$ $R^2 = 0,2461$
Antibiyotik 2	$y = 0,0244x^2 - 1,125x + 440,88$ $R^2 = 0,5966$
Antibiyotik 3	$y = 0,0174x^2 - 0,3857x + 425,83$ $R^2 = 0,6375$
Antibiyotik 4	$y = 0,0118x^2 + 0,0036x + 419,71$ $R^2 = 0,7502$

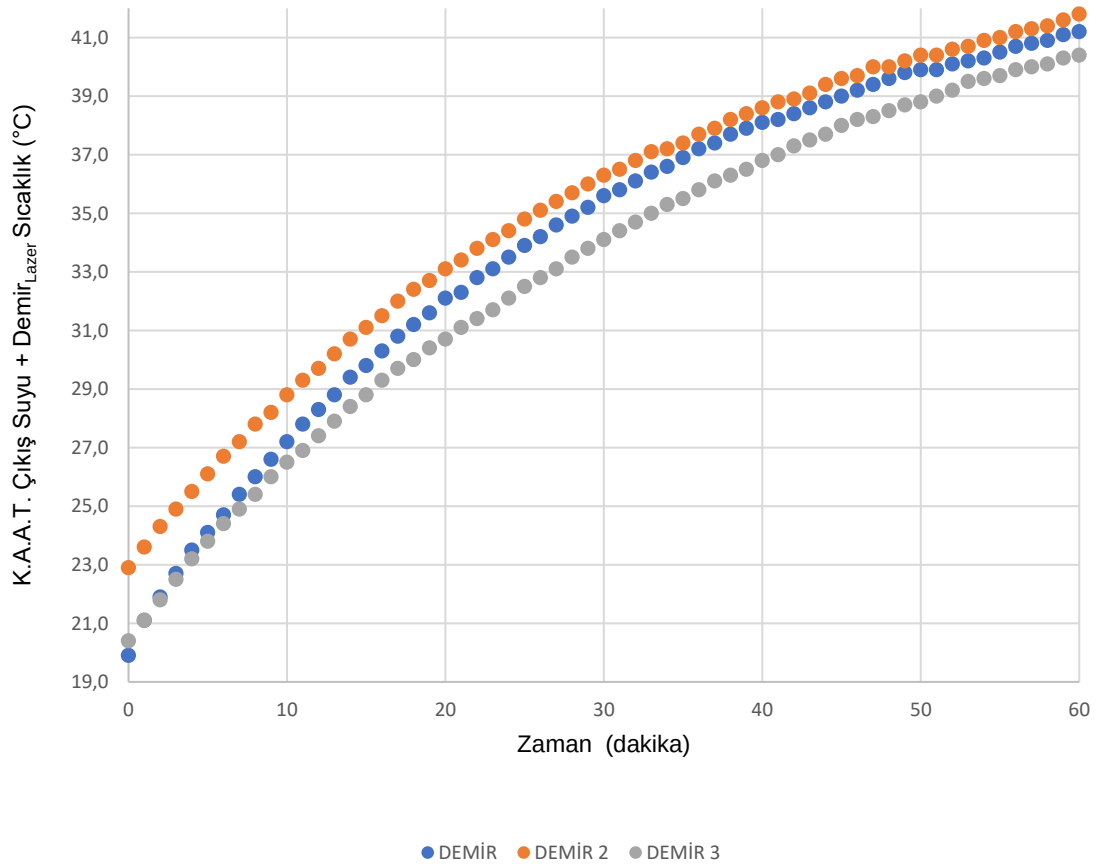
60 dk boyunca lazer ışını uygulanan numunelerden örnekler alınarak 0-1500 mg/L ölçüm aralığına sahip KOİ kitlerine 2 ml koyularak 148 °C ve 150 °C de ısıtılmaya bırakılmıştır. Soğuması beklendikten sonra kalorimetre yardımıyla KOİ değerleri ölçülmüştür. KOİ ölçümlerinde 2 ayrı ısıtıcı reaktör ve bu reaktörlere uygun 2 ayrı KOİ kitleri kullanılmıştır. Kullanılan KOİ kitlerinin ölçüm aralıkları 0-1500 mg/L'dir.

Atıksu Arıtma Tesisi Çıkış Suyuna Demir İlavesi Sonrasında Yapılan Çalışmalar

Son aşamada atıksuya katalizör olabilecek bir kimyasal eklenmesi durumunda KOİ giderim verimliliğinin artması sağlanabilir mi sorusunun cevabı aranmıştır. Bu amaçla Fenton prosesinde de kullanılan demirsülfat, atıksuya eklenmiştir. Kimyasal reaksiyonlar için katalizör seçiminin belli bir sistematik ve teorik kimya bilgi birikimi ile sağlanması sağlanması gerektiği bilinmektedir. Tez çalışması kapsamında ilk ampirik yaklaşımı ortaya koymayı ve daha sonra yapılması planlanan araştırmalara öncülük edilmesi hedeflenmiştir.

Elde edilen sonuçlardan kentsel atıksuyuna demir ilavesi sonrasında lazer ile yapılan ışınlamanın atıksuda daha iyi KOİ giderimi sağlayabileceği görülmüştür.

Grafik 5.26. KAAT Çıkış Suyuna Demir İlavesi Sonrasında Lazer Işını Uygulanması Sırasında Sıcaklık Ölçüm Sonuçları (250 ml, 0,1 gr $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 20 W, 40 kHz, 500 mm/s)

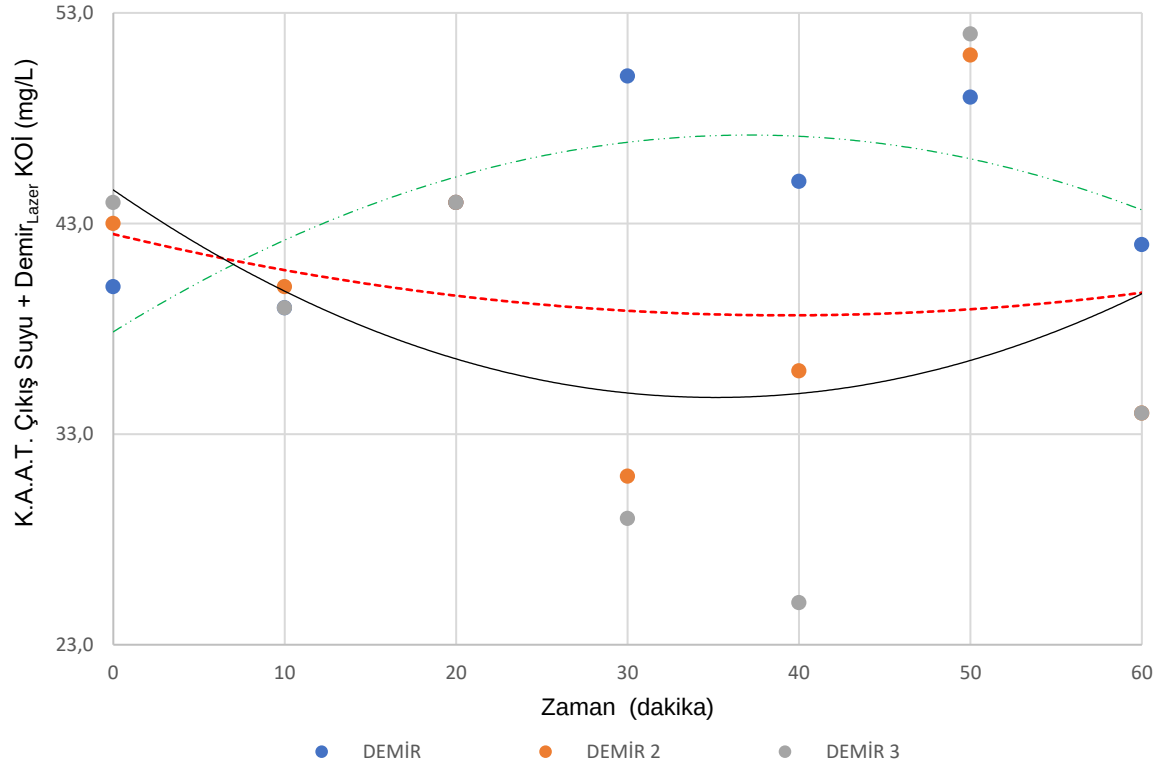


Tablo 5.24. KAAT Çıkış Suyuna Demir İlavesi Sonrasında Lazer Işını Uygulanması Sırasında Sıcaklık Ölçüm Sonuçlarına Ait Verilerin Denklemleri (250 ml, 0,1 gr FeSO₄.7H₂O, 20 W, 40 kHz, 500 mm/s)

Veriler	Denklem
Demir	$y = -0,0053x^2 + 0,644x + 21,016$ $R^2 = 0,9978$
Demir 2	$y = -0,0043x^2 + 0,556x + 23,485$ $R^2 = 0,9985$
Demir 3	$y = -0,004x^2 + 0,5556x + 21,076$ $R^2 = 0,9988$

KAAT çıkış suyuna 0,1 gr FeSO₄.7H₂O ilave edilerek manyetik karıştırıcı yardımı ile bir süre karıştırılmıştır. 24 saat süre ile söz konusu karışımın çözülmesi beklendikten sonra 250 ml'lik beherlere alınarak 20 W 40 kHz frekans ve 500 mm/s'lik lazer ışınları uygulanmıştır. 60 dk boyunca uygulanan lazer ışınları sonucunda sıcaklık sensörleri yardımıyla sıcaklık değişimleri kayıt altına alınmıştır.

Grafik 5.27. KAAT Çıkış Suyuna Demir İlavesi Sonrasında Lazer Işını Uygulanması Sırasında KOİ Ölçüm Sonuçları (250 ml, 0,1 gr FeSO₄.7H₂O, 20 W, 40 kHz, 500 mm/s)



Tablo 5.25. KAAT Çıkış Suyuna Demir İlavesi Sonrasında Lazer Işını Uygulanması Sırasında KOİ Ölçüm Sonuçlarına Ait Verilerin Denklemleri (250 ml, 0,1 gr FeSO₄.7H₂O, 20 W, 40 kHz, 500 mm/s)

Veriler	Denklem
Demir	$y = -0,0068x^2 + 0,5036x + 37,857$ $R^2 = 0,6056$
Demir 2	$y = 0,0025x^2 - 0,1964x + 42,5$ $R^2 = 0,0405$
Demir 3	$y = 0,008x^2 - 0,5607x + 44,595$ $R^2 = 0,1352$

KAAT çıkış suyuna 0,1 gr FeSO₄.7H₂O ilave edildikten sonra numune 60 dk boyunca lazer ışınlarına maruz bırakılmıştır. Belirli aralıklarla örnekler alınmıştır sonra kalorimetre yardımıyla KOİ değerleri ölçülmüştür. Bu çalışmada da iki farklı ısıtıcı reaktör ve KOİ kitleri kullanılmıştır. Kullanılan KOİ kitleri ısıtıcı reaktörlere uygun olarak seçilmiştir.

6. TARTIŞMA

Atıksularda fenton prosesi ile yapılan çalışmalar değerlendirilerek optimum şartlar altında KAAT çıkış suyuna fenton prosesi uygulandığında arıtım verimi elde edildiği görülmektedir. Fenton prosesi için optimum pH'ın 3 olduğu baz alınarak KAAT çıkış suyuna 0,25 g/250 ml $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ve 0,08 ml/250 ml H_2O_2 ilavesi ile %9,52 - %28,57 arasında verimler elde edildiği yapılan çalışma ile ortaya koyulmaktadır. Ayrıca KAAT çıkış suyuna 0,1 gr/250 ml ağırlık kesici ilave edilerek fenton uygulanması sonucu %75,2 - %80,1 aralığında, 0,1 gr/250 ml antibiyotik ilave edilerek fenton uygulanması sonucunda ise %57,5 – %60,4 aralığına verim elde edilmiştir. Buradan da anlaşılabileceği üzere atıksu arıtma tesislerinde fiziksel, kimyasal ve biyolojik işlemlerden geçirilerek ilgili yönetmelikler kapsamında belirtilen standartlara uygun olarak doğaya salınan suların tekrar fenton prosesi ile arıtımı yapılabildiği anlaşılmaktadır. KAAT'lerde konvansiyonel sistemlerle arıtılan suların içerisinde hala az miktarda da olsa kirleticiler olduğu bilinmektedir. Çevre Koruma Ajansının belirtmiş olduğu öncelikli kirleticilerin bu arıtılmış olan suların içerisinde olduğu düşünülmektedir. Bu öncelikli kirleticilerin az miktarda yüksek etkiye sahip olması ve zamanla etkisini göstermesi nedeniyle arıtılması gerekliliği birçok kaynaklarda ifade edilmektedir. Bir ileri arıtma yöntemi olan fenton prosesi ile KAAT'lerde arıtılarak doğaya verilen suların tekrar arıtılması sağlanarak çevresel etki en aza indirilebilmektedir.

Fenton Prosesine eş değer olarak düşünülebilecek bir yöntem olan FLAST-NanoMark Fiber Lazer sistemiyle suya ışınlar göndererek kirlilik oranını düşürme imkanı da bu çalışmada değerlendirilmiştir. FLAST-NanoMark Fiber Lazer sistemi ile yapılan çalışmalarda atıksuyun içerisinde bulunan parçalanmamış organik maddelerin tekrar parçalanarak arıtılması sağlanabilmektedir. FLAST-NanoMark model Fiber Lazer Sistemi kullanarak yapmış olduğumuz çalışmalarda lazer ışınlarının atıksu da bulunan organik maddelere çarpması ile parçalanmanın meydana gelmesi ve bundan dolayı da kimyasal oksijen ihtiyacının arttığı gözlenmektedir. Daha sonra lazer ışınlarına maruz kalan atıksuyun parçalanmış olan organik maddeleri yaktığı düşünüldüğünden kimyasal oksijen ihtiyacı düşmektedir. 1 sa süresince lazer ışını verilen atıksuyun kimyasal oksijen ihtiyacı değerlendirildiğinde başlarda artışlar-azalışlar olduğu daha sonra tekrar azalış

olduğu ve tekrar artış ve tekrar azalış olduğu görülmektedir. KAAT çıkış suyuna lazer verildiğinde 20 W, 40 kHz, 500 mm/s şartları altında 0-30 dk aralığında %35'lere kadar arıtım verimi elde edildiği görülmektedir.

KAAT çıkış suyuna ağır kesici ilave edilerek lazer ışını verilen çalışmalarda ise 20 W, 40 kHz, 500 mm/s şartları altında 0-30 dk aralığında %9'lara kadar arıtım verimi elde edildiği görülmektedir.

KAAT çıkış suyuna antibiyotik ilave edilerek lazer ışını verilen çalışmalarda ise 20 W, 40 kHz, 500 mm/s şartları altında 0-30 dk aralığında %6'lara kadar arıtım verimi elde edildiği görülmektedir.

KAAT çıkış suyuna $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ilave edilerek lazer ışını verilen çalışmalarda ise 20 W, 40 kHz, 500 mm/s şartları altında 0-30 dk aralığında %34'lere kadar arıtım verimi elde edildiği görülmektedir.

FLAST-NanoMark Fiber Lazer sistemi ile yapmış olduğumuz bütün çalışmalarda 0-60 dk arasında KOİ değerlerinde artışlar ve azalışlar görülmektedir. KOİ değerlerinde meydana gelen bu dalgalanmaların atıksuyun içerisinde bulunan katı maddelerin parçalanmasından meydana gelmektedir. Nitekim Zeytinyağı üretim atıklarının elektrokimyasal uygulamasında katı maddelerinin varlığı oksidasyon sürecini etkilediği ve KOİ değerlerinde artışa neden olduğu değerlendirilmiştir [50]. FLAST-NanoMark Fiber Lazer sisteminde de atıksu içerisinde bulunan katı maddelerin arıtma verimini olumsuz yönde etkilediği yapmış olduğumuz çalışmalarda ortaya koyulmuştur. FLAST-NanoMark Fiber Lazer sisteminde arıtım verimi elde edilse de organik maddelerin yavaş parçalanması ve temas süresinin uzun olması gerektiğinden fenton prosesine göre maliyet açısından daha yüksek olduğu değerlendirilmektedir.

Fenton prosesinde herhangi bir sıcaklık değişimi gözlenmezken FLAST-NanoMark Fiber Lazer sisteminde sıcaklığın sürekli artışı gözlemlenmiştir. Sıcaklık artışının belirli seviyelere kadar çıkması söz konusu lazer uygulamaların başka kademelerde kullanılabilirliğinin de araştırılmasında önemli bir faktör olarak ortaya çıkmaktadır.

Sonuç olarak;

1-Fenton prosesi uygulamalarının atıksu arıtma tesisinde belirli işlemlerden geçmiş olan atıksulara uygulandığında yüksek oranlarda bir verim elde edilemediği görülmüştür.

2- Fiber Lazer sistemi uygulamalarında ise ilk 30 dk. boyunca KOİ değerlerinde azalma olduğu sonraki 30 dk. ise KOİ değerinde tekrar artış olduğu gözlemlenmiştir. Söz konusu sistemin etki ettiği alan, işlevsel olarak küçük olması, etki-tepki süresinin kısa olması gibi nedenler göz önünde bulundurulursa arıtma teknolojileri arasında kullanılabilirliği değerlendirilebilir.

3-Antibiyotik ve Ağrı kesici ilave edilerek yapılan lazer çalışmalarında elde edilen veriler ışığında değerlendirme yapılırsa lazer sisteminin arıtma tesislerinde çıkış suyunda değilde önceki kademelerde kullanılması sistemin kullanılabilirliğine artı yönde katkısı olacağı düşünülmektedir.

4-Atıksu arıtma süreçlerinde sıcaklığın önemli bir yeri vardır. Örneğin anaerobik arıtma uygulayabilmek için tesisin sıcak iklim bölgelerine inşa edilmesi daha uygun olmaktadır. Özellikle biyolojik arıtma yapılan tesislerde sıcaklık önemlidir. Biyolojik tesislerde sıcaklık değişimlerinin arıtmada rol oynayan bakteriyel popülasyonun sıcaklığa karşı duyarlı olmaları ve yaşayabilmeleri için belli bir sıcaklık aralığının oluşması gereklidir. Lazer sisteminde belirli bir süre sonucunda sıcaklıkların belirli bir seviyede tutulabileceği değerlendirilmektedir. Yüzey alanının artırılması ve su hacmine göre lazer sisteminin tasarlanması ile sıcaklığın hem belirli bir seviyede sabit tutularak sıcaklık değerinin sağlanması hem de arıtım işleminin gerçekleşmesi sağlanabilir. Örneğin Soğuk iklimlerde inşa edilen bir arıtma tesisinde biyolojik arıtma kademesinde çöktürme havuzunda bekletme süresi sıcaklıkla bağlantılı olduğundan çöktürme havuzuna giren atıksuyun sıcaklığı lazer sistemi ile ayarlanarak hem arıtma işleminin gerçekleşmesinin hemde bekletme süresinin kısaltılmasının sağlanabileceği düşünülmektedir. Aynı şekilde havalandırma lagünlerinde düşük sıcaklıklarda bakterilerin performanslarında azalma ve buz oluşumu nedeniyle sıcaklık etkisinin değerlendirilmesi gereklidir. Bu kademedен önce veya birlikte kullanılacak olan bir lazer sisteminin gerekli tasarımlarının yapılarak sıcaklığın ayarlanmasında ve arıtım verimliliğinde önemli bir etken olacağı tahmin edilmektedir.

5-Evsel atıksuların aksine endüstriyel atıksuların sıcaklığı çoğunlukla ortam sıcaklığından daha yüksek olmaktadır. Lazer cihazı ile yapılan çalışmalardan yola çıkarak söz konusu sistemin endüstriyel atıksu arıtma sistemlerinde kullanılabileceği de değerlendirilebilir.

6- Tez çalışmasında Fenton prosesine göre daha düşük kirletici verimi sağlamış olsada lazer sistemi gerek kısa zamanda sonuç alınması gereksede herhangi bir katalizör veya kimyasal madde kullanılmaması nedeniyle proses olarak optimize edildikten sonra daha etkili kirletici giderim verimi sağlayabileceği değerlendirilmiştir.

7- Lazer ışınlaması ve uygun katalizör kullanılarak kirletici giderimi sağlayacak bir proses geliştirilebileceği ortaya konmuştur.

8- Kentsel atıksu karakterizasyonunda kullanılan KOİ parametresini oluşturan bileşenlerinin bilinmesi ileri arıtmada verimli giderimi sağlamak için gereklidir.

KAYNAKLAR

- [1] Anonim, Ekonomi ve Strateji Danışmanlık Hizmetleri (ESDH), <http://www.esdh.com.tr/pdf/dunyatoplamken1950-2025.pdf>, (Haziran 2010) Erişim Tarihi: **Ocak 2018**.
- [2] T.C. Resmi Gazete, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (2004). Sayı: 25687, 31 Aralık **2004**.
- [3] Adalı, N., Su Kirliliği Açısından Hassas Alanların ve Su Kalitesi Hedeflerinin Belirlenmesi ile Hassas Alanların Yönetimine İlişkin Esaslar, Uzmanlık Tezi, T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Sayfa 1, **2014**.
- [4] Çakmakci M., Özkaya, B., Bilgili, M., Apaydın, Ö., Sarısoy, İ., “Atıksu Arıtımı Eylem Planı (2014–2023), Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Sayfa, 121, 151, 152, 154, 163, 2014.
- [5] Topal, M., Topal, E. I. A., “Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi Çıkış Sularının Kehli Deresi Su Kalitesi Üzerine Etkisinin Belirlenmesi” BEÜ Fen Bilim. Derg., vol. 3, no. 1, pp. 53–64, **2014**.
- [6] Ünlü A., Tunç M. S., Evsel atıksu deşarjı öncesinde ve sonrasında Kehli Deresi'nin su kalitesi değişiminin incelenmesi, itüdergisi/e su kirlenmesi kontrolü 17(2): 65-75, **2007**.
- [7] Serpone N., Artemev Y., Ryabchuk V., Emeline A., Horikoshi S., Light-driven advanced oxidation processes in the disposal of emerging pharmaceutical contaminants in aqueous media: A brief review, ol: 6 pp: 18-33, **2017**
- [8] Brodin T, Piovano S, Fick J, Klaminder J, Heynen M, Jonsson M: Ecological effects of pharmaceuticals in aquatic systems – impacts through behavioral alterations. Philos. Trans. R. Soc. B., 369:20130580, **2014**.
- [9] Ikehata K, Naghashkar NJ, El-Din MG: Degradation of aqueous pharmaceuticals by ozonation and advanced oxidation processes: a review. Ozone Sci. Eng., 28:353–414, **2006**.
- [10] Sönmez, G., Işık, M., Sulardaki İlaç Kalıntılarının İleri Oksidasyon Yöntemleri İle Giderimi, Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi 6 (1): 68-73, SSN: 1308-0040, E-ISSN: 2146-0132, **2013**.
- [11] Chung KT, Stevens SEJ. Degradation of azo dyes by environmental microorganisms and helminths. Environmental Toxicology and Chemistry; 54:435e41, **1993**.
- [12] Kang SF, Liao CH, Chen MC. Pre-oxidation and coagulation of textile wastewater by the Fenton process. Chemosphere; 46:923e8, **2002**.

- [13] Arslan I, Balcioglu IA, Bahnemann DW. Advanced chemical oxidation of reactive dyes in simulated dyehouse effluents by ferrioxalateFenton/UV-A and TiO₂/UV-A processes. *Dyes and Pigments*; 47:207e18, **2000**.
- [14] Feng J, Hu X, Yue PL, Zhu HY, Lu GQ. Discoloration and mineralization of Reactive Red HE-3B by heterogeneous photoFenton reaction. *Water Research*; 37:3776e84, **2003**.
- [15] Gürtekin, E., Şekerdag, N., Fenton Proses İle Tekstil Atıksularından Renk Giderimi, *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, Derleme Makalesi, Cilt 6, Sayı 3*, **2008**.
- [16] Park H, Choi W. Visible light and Fe(III)-mediated degradation of Acid Orange in the absence of H₂O₂. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*; 159:241e7, **2003**.
- [17] Glaze WH, Kang JW, Chapin DH: The chemistry of water treatment processes involving ozone, hydrogen peroxide and UV-radiation. *Ozone Sci. Eng.*, 9:335–352, **1987**.
- [18] ŞILTU, E., Su Ortamında Bulunabilecek Tehlikeli Maddelerin Önceliklendirilmesi Açısından Türkiye'de Uygulanabilecek Metodolojinin Belirlenmesi, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Uzmanlık Tezi, **2015**.
- [19] EPA, Toxic and Priority Pollutants Under the Clean Water Act, <https://www.epa.gov/eg/toxic-and-priority-pollutants-under-clean-water-act#toxic>, **Erişim Tarihi: Ocak 2018**
- [20] Eur-Lex, Official Journal of the European Communities, Directive 2000/60/Ec Of The European Parliament And Of The Council Of 23 October 2000, L 327/1, https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8-756d3d694eeb.0004.02/DOC_1&format=PDF, **Erişim Tarihi: Ocak 2018**
- [21] T.C. Resmi Gazete, Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (2012). Sayı: 28483, **31 Aralık 2004**
- [22] EPA, Priority Pollutant List, <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/priority-pollutant-list-epa.pdf>, **Erişim Tarihi: Ocak 2018**.
- [23] T.C. Resmi Gazete, Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği, Sayı: 26047, 2006.
- [24] Erdoğan, A. O., Zengin, G. E., Orhon, D., "Türkiye'de evsel atıksu oluşum miktarları ve karakterizasyonu," *itüdergisi/e su kirlenmesi kontrolü*, cilt. 15, sayfa 57–69, **2009**.
- [25] Kukul, Y. S., Çalışkan, A.D. Ü., Anaç, S., Arıtılmış Atıksuların Tarımda Kullanılması ve İnsan Sağlığı Yönünden Riskler, *Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, Sayfa, 101-116, **2007**.

- [26] Gürtekin, E., Şekerdağ, N., "Bir İleri Oksidasyon Prosesi : Fenton Prosesi", Pamukkale Üniv., Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt:14, Sayı:3, Sayfa: 229-236, **2008**.
- [27] Maletzky P., Bauer R., "The Photo-Fenton Method-Degradation of Nitrogen Containing Organic Compounds", Chemosphere, 37, 5, 899–909, **1998**.
- [28] Anotai, J. , Lu, M. C. And Chewpreecha, P. "Kinetics of aniline degradation by Fenton and electro-fenton processes". Water Research. (9), **2006**.
- [29] Aydın, A. F. Ve Sarıkaya, H. Z. "Biyolojik proseslerle arıtılmış afyon alkaloidleri endüstrisi Atıksularının fenton oksidasyonu ile ileri arıtımı", İTÜ Dergisi. 1 (1), **2002**.
- [30] Arslan-Alaton, I., Dogruel, S. , "Pre-treatment of penicillin formulation effluent by advanced oxidation processes," Journal of Hazardous Materials, vol. 112, no. 1-2, pp. 105- 113, **2004**.
- [31] Boyraz, İ., Yıldız, A., Lazer Çeşitleri ve yüksek yoğunluklu lazer kullanımı, J CONTEMP MED 2016;6 (Case Reports): 104-109 REVIEW DOI: 10.16899/ctd. 55797, **2016**.
- [32] Naeser MA, Hahn KA, Lieberman BE, Branco KF. Carpal tunnel syndrome pain treated with low-level laser and microamperes transcutaneous electric nerve stimulation: A controlled study. Arch Phys Med Rehabil 2002;83(7):978-988.
- [33] Snyder-Mackler L, Bork C.E. Effect of helium-neon laser irradiation on peripheral sensory nerve latency. Phys Ther; 68(2):223-225, **1988**.
- [34] Anonim, Lazerlerin Çalışma Prensibi, <https://prezi.com/ebzxmpah6jel/lazerler-ve-calisma-prensipleri/>, Erişim Tarihi: Ocak, **2018**
- [35] Püskülcü, G., Koçlular, F., Lazer Kaynak Yönetimi ve Uygulamaları, Mühendis ve Makina Dergisi, cilt 50, sayı 599, Sayfa, 8-17, **2009**.
- [36] Anonim, Lazerlerin Çalışma Prensibi, <http://www.lazermak.com.tr/s/lazerlerin-calisma-prensipleri-14/>, Erişim Tarihi: Ocak, **2018**.
- [37] Chang, W., Principles of Lasers and optics, Cambridge Universtiy Press, İngiltere, 2005.
- [38] Ion, J. C., Laser processing of Engineering Materials, Elsevier Butterworth-Heinemann, MA-ABD, **2005**.
- [39] Değermenci, G., D., Bayhan, Y., K., Değermenci, N., Yüksek Organik Madde İçeren Endüstriyel Bir Atıksuyun Fenton Prosesi ile Arıtılabilirliğinin Araştırılması, Araştırma Makalesi, Iğdır Üni. Fen Bilimleri Enst. Der., 4(2): 17-22, **2014**.

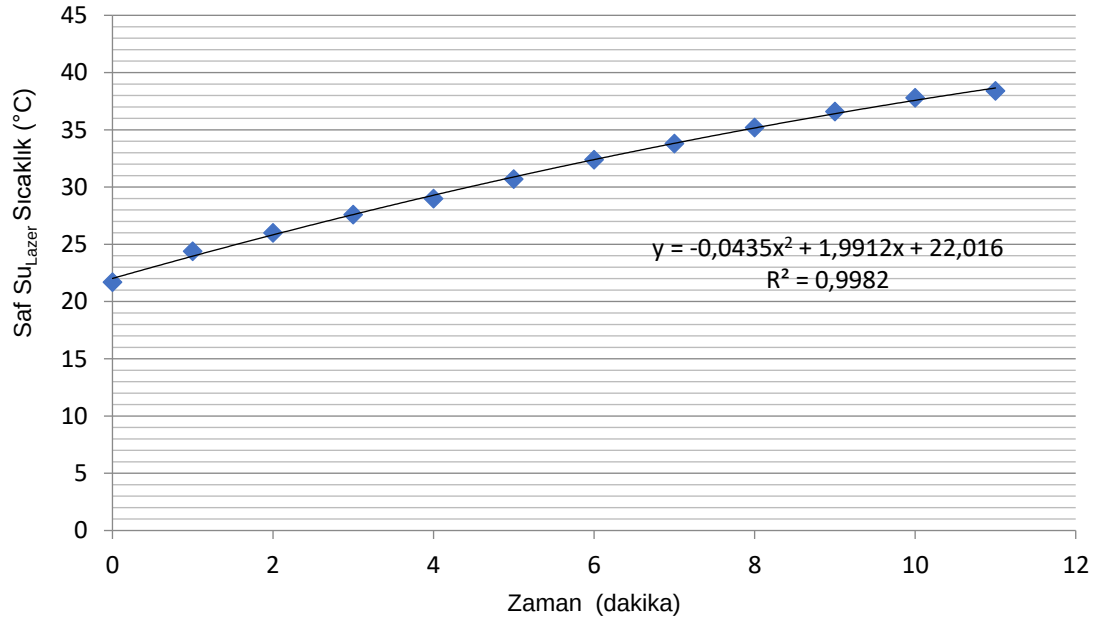
- [40] Birgöl, A., Solmaz Akal, S.K., Tekstil Endüstrisi Atıksuları Üzerinde İleri Oksidasyon ve Kimyasal Arıtma Prosesleri Kullanılarak KOİ ve Renk Gideriminin Araştırılması. *Ekoloji*, 15(62): 72-80, **2007**.
- [41] Üstün Odabaşı, S., Maryam, B., Büyükgüngör H., Fenton ve Fotofenton Prosesleri ile Atıksudaki Aspirinin Giderim Verimliliğinin Karşılaştırılması, *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi Cilt 6 (ICOCEE 2017 Özel Sayı)* 326-332, **2017**.
- [42] Alaton, İ. A. ve Gürses, F., Penisilin prokain Gantibiyotik formülasyon atıksuyunun Fenton-benzeri ve Foto-fenton-benzeri ileri oksidasyon prosesleri ile arıtılabilirliğinin incelenmesi. *Su Kirlenmesi ve Kontrolü Dergisi*. (1), 11-16, **2004**.
- [43] Zoh, K. D. And Stenstrom, M. K. "Fenton oxidation of hexahydro-1,3,5-trinitro-1,3,5-triazine (RDX) and octahydro-1,3,5,7-tetranitro-1,3,5,7-tetrazocine (HMX)". *Water Research*. (5), **2002**.
- [44] Xu, X. R, Zhao, Z. Y. and Li, X. Y. "Chemical oxidative degradation of methyl tert-butyl ether in aqueous solution by Fenton's reagent". *Chemosphere*. (1), **2004**
- [45] Tamobosi, J.L., Domenico, M. Di And Schirmer, W. N. "Treatment of paper and pulp wastewater and removal of odorous compounds by a Fenton-like process at the pilot scale". *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. (8), **2006**
- [46] Rivas, F. J., Beltran, F. J., Gimeno, O. And Alvarez, P., "Optimisation of Fenton's reagent usage as a pre-treatment for fermentation brines". *Journal of Hazardous Materials*. (2-3), **2003**
- [47] Rivas, F. J., Beltran, F.J., Gimeno, O. and FRADES, J. "Treatment of olive oil mill wastewater by Fenton's reagent". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. (4), **2001**
- [48] Anonim, Fiber Lazer Markalama Makinası, <https://www.fiberlast.com.tr/urunler/lazer-markalama-makinasi/>, Erişim Tarihi: Şubat, **2018**.
- [49] Samuk, B., İlaç endüstrisi formülasyon ve antibiyotik atıksularının biyolojik arıtılabilirliğinin artırılması, Yüksek Lisans tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, **2002**.
- [50] Kotta, E., Kalogerakis, N., and Dionissios Mantzavinos, "The effect of solids on the electrochemical treatment of olive mill effluents". **2007**

EKLER

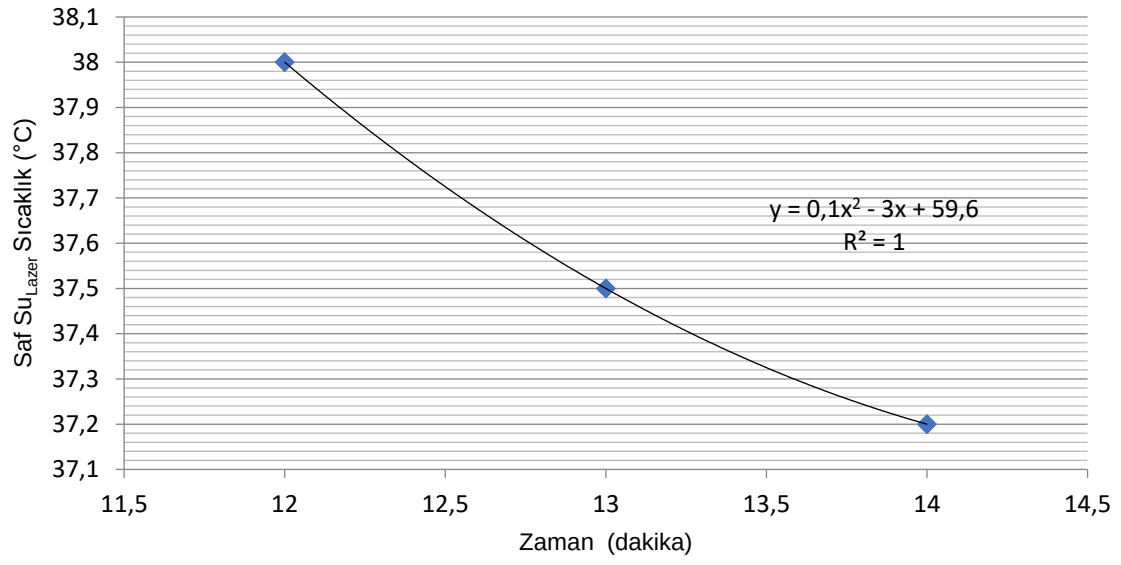
Ek-1 Fiber Lazer Sisteminin Potansiyel Kentsel Atıksu Arıtma Prosesi Olarak Araştırılması

Saf Suya Lazer Işını Uygulanması Sırasında Sıcaklık Değişimi (250 ml, 50 W, 200 kHz, 500 mm/s)

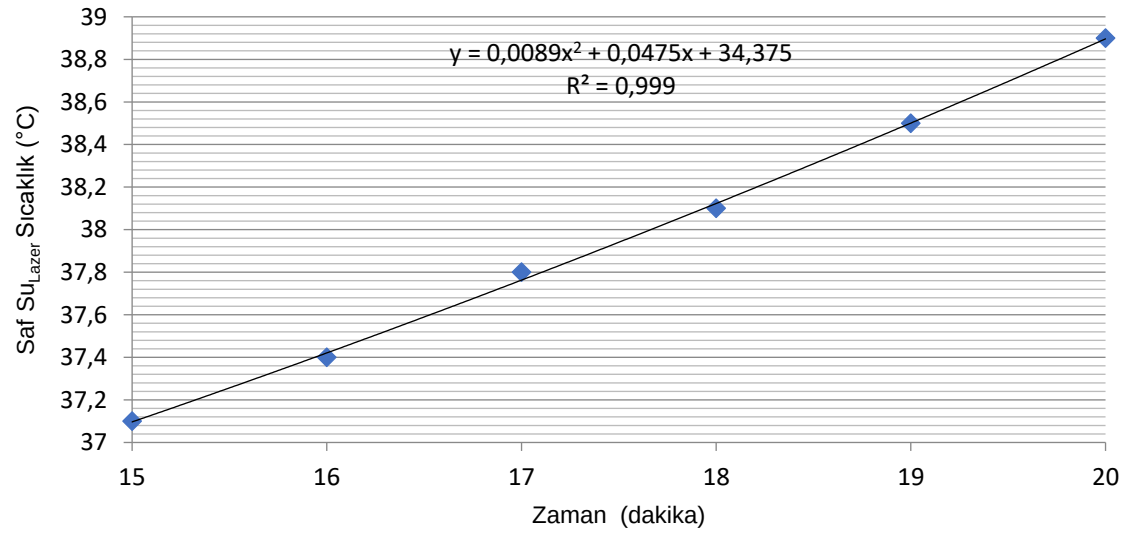
Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)
0	21.7
1	24.4
2	26.0
3	27.6
4	29.0
5	30.7
6	32.4
7	33.8
8	35.2
9	36.6
10	37.8
11	38.4



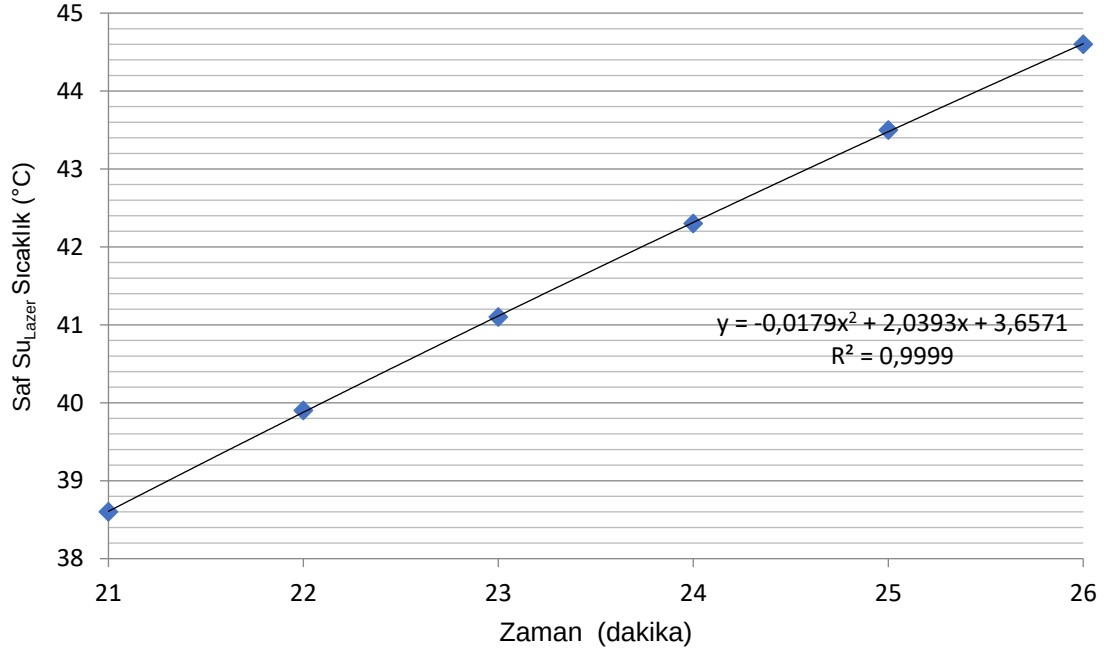
Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)
12	38,0
13	37,5
14	37,2



Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)
15	37.1
16	37.4
17	37.8
18	38.1
19	38.5
20	38.9

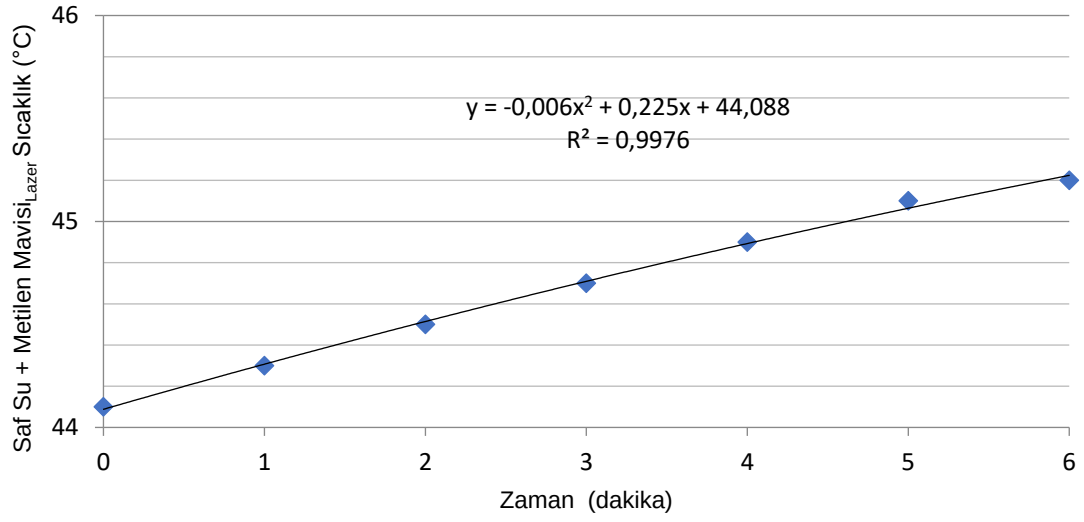


Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)
21	38.6
22	39.9
23	41.1
24	42.3
25	43.5
26	44.6

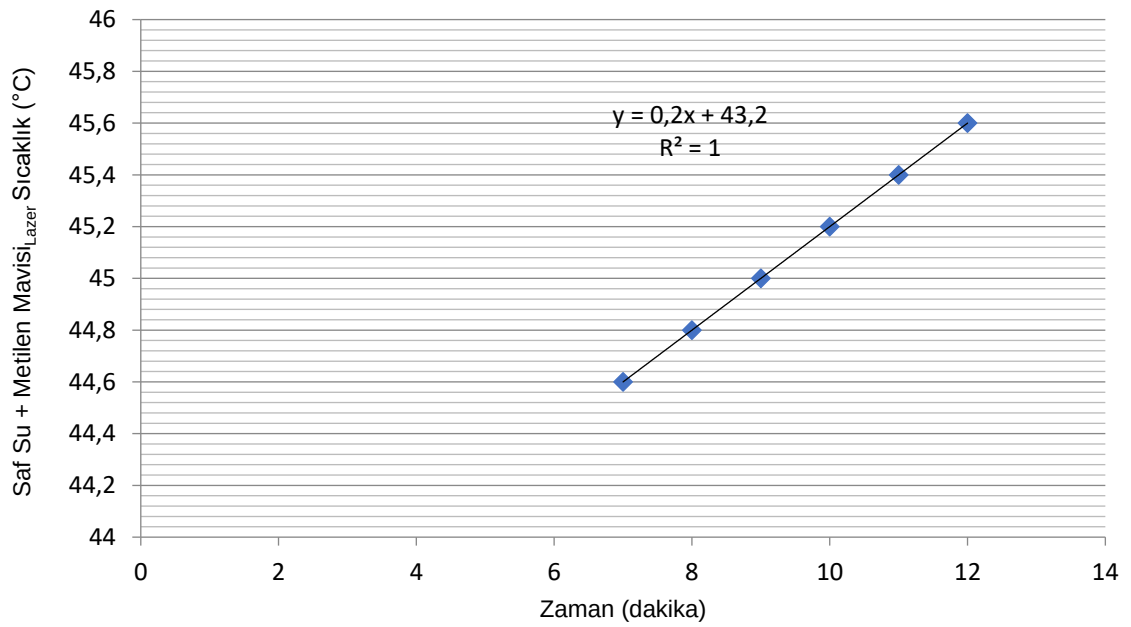


Saf Suya Metilen Mavisi İlavesi Sonrası Lazer Işını Uygulanması Sırasında Sıcaklık Değişimi (250 ml, 50 , 100 kHz, 500 mm/s)

Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)
0	44.1
1	44.3
2	44.5
3	44.7
4	44.9
5	45.1
6	45.2

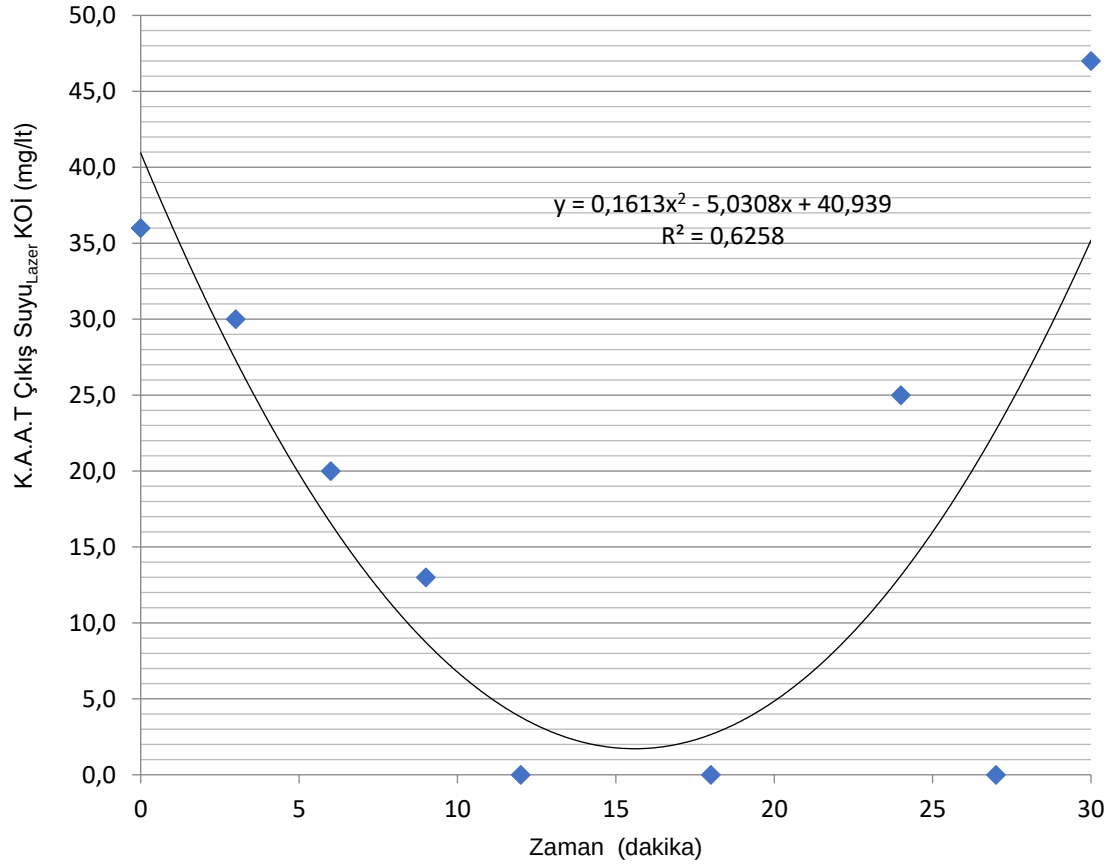


Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)
7	44.6
8	44.8
9	45.0
10	45.2
11	45.4
12	45.6



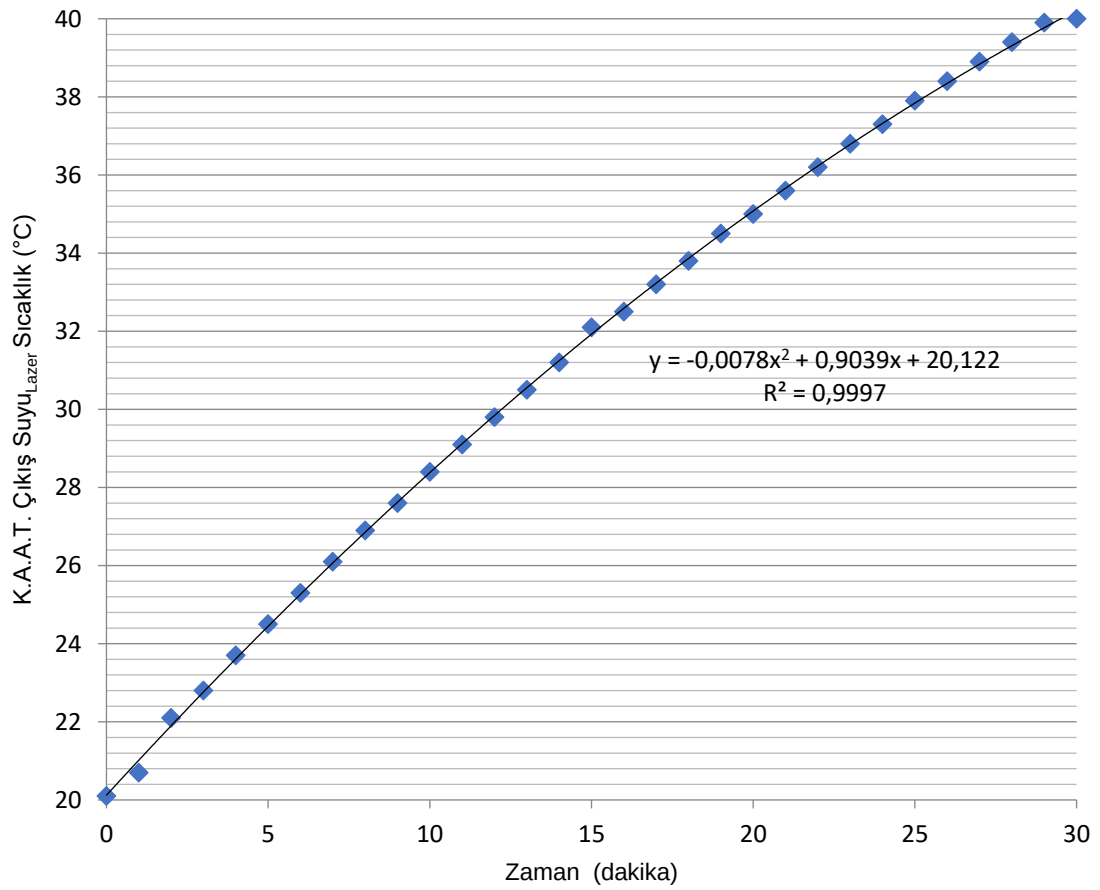
KAAT Çıkış Suyuna Lazer Işını Uygulanması Sonrası KOİ Sonuçları (250 ml, 50 W, 100 kHz, 500 mm/s)

Zaman (dakika)	KOİ (mg/L)
0	36,0
3	30,0
6	20,0
9	13,0
12	0 (LİMİT)
18	0 (LİMİT)
24	25,0
27	0 (LİMİT)
30	47,0

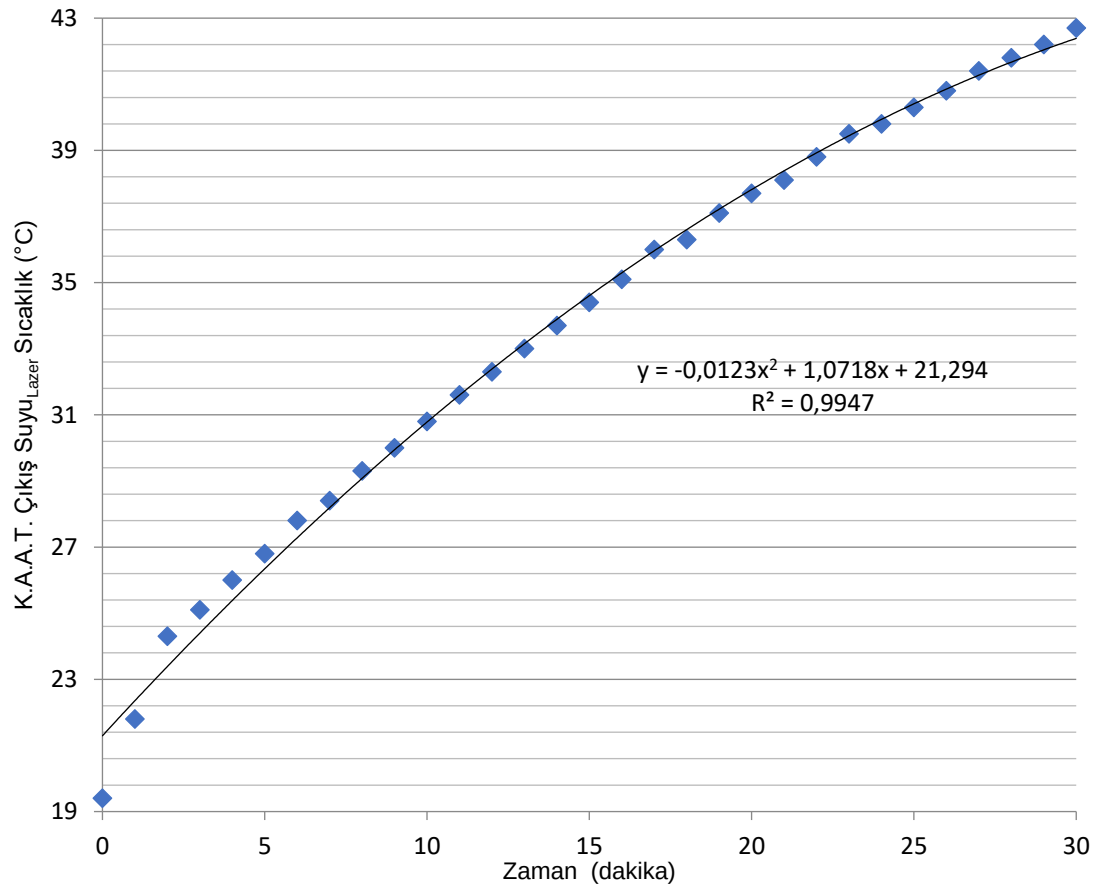


KAAT Çıkış Suyuna Lazer Işını Uygulanması Sırasında Sıcaklık Değişimi (250 ml, 50 W, 100 kHz, 500 mm/s)

t (dk)	°C	t (dk)	°C
0	20,1	16	32,5
1	20,7	17	33,2
2	22,1	18	33,8
3	22,8	19	34,5
4	23,7	20	35,0
5	24,5	21	35,6
6	25,3	22	36,2
7	26,1	23	36,8
8	26,9	24	37,3
9	27,6	25	37,9
10	28,4	26	38,4
11	29,1	27	38,9
12	29,8	28	39,4
13	30,5	29	39,9
14	31,2	30	40,0
15	32,1		

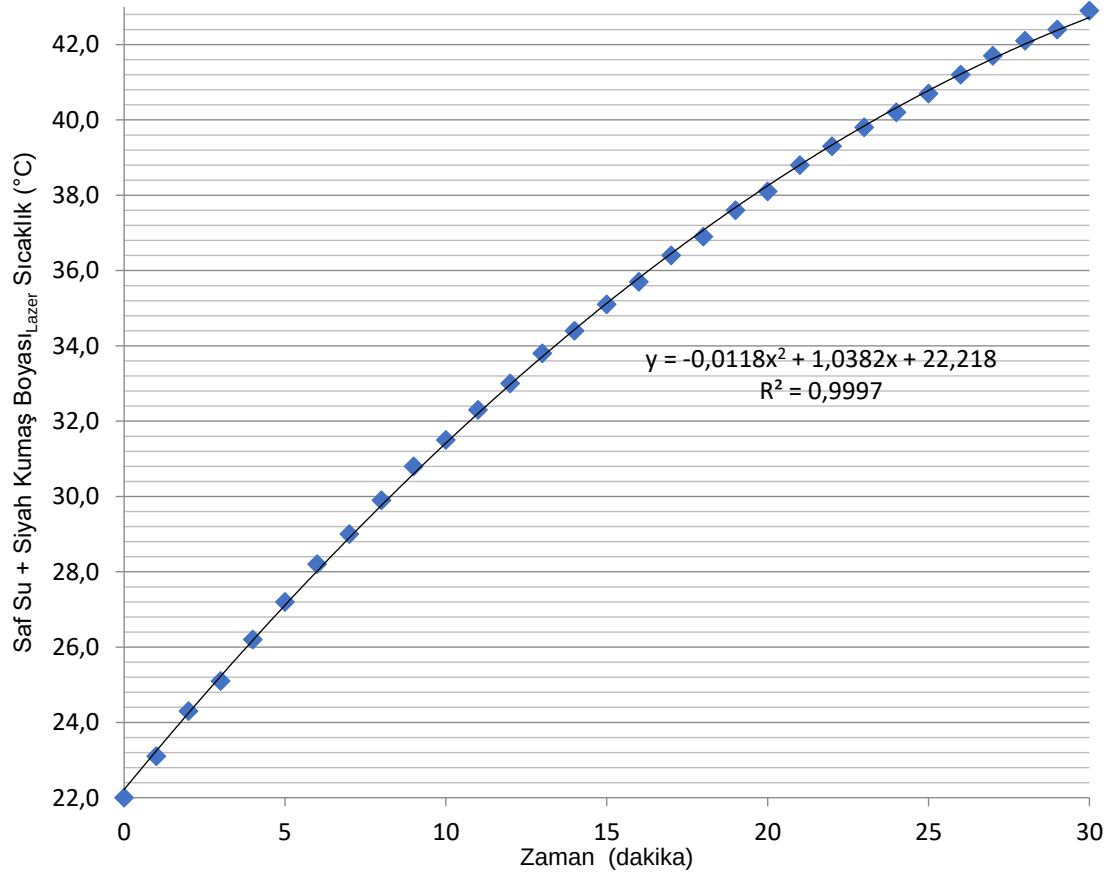


Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)
0	19,4	16	35,1
1	21,8	17	36,0
2	24,3	18	36,3
3	25,1	19	37,1
4	26,0	20	37,7
5	26,8	21	38,1
6	27,8	22	38,8
7	28,4	23	39,5
8	29,3	24	39,8
9	30,0	25	40,3
10	30,8	26	40,8
11	31,6	27	41,4
12	32,3	28	41,8
13	33,0	29	42,2
14	33,7	30	42,7
15	34,4		

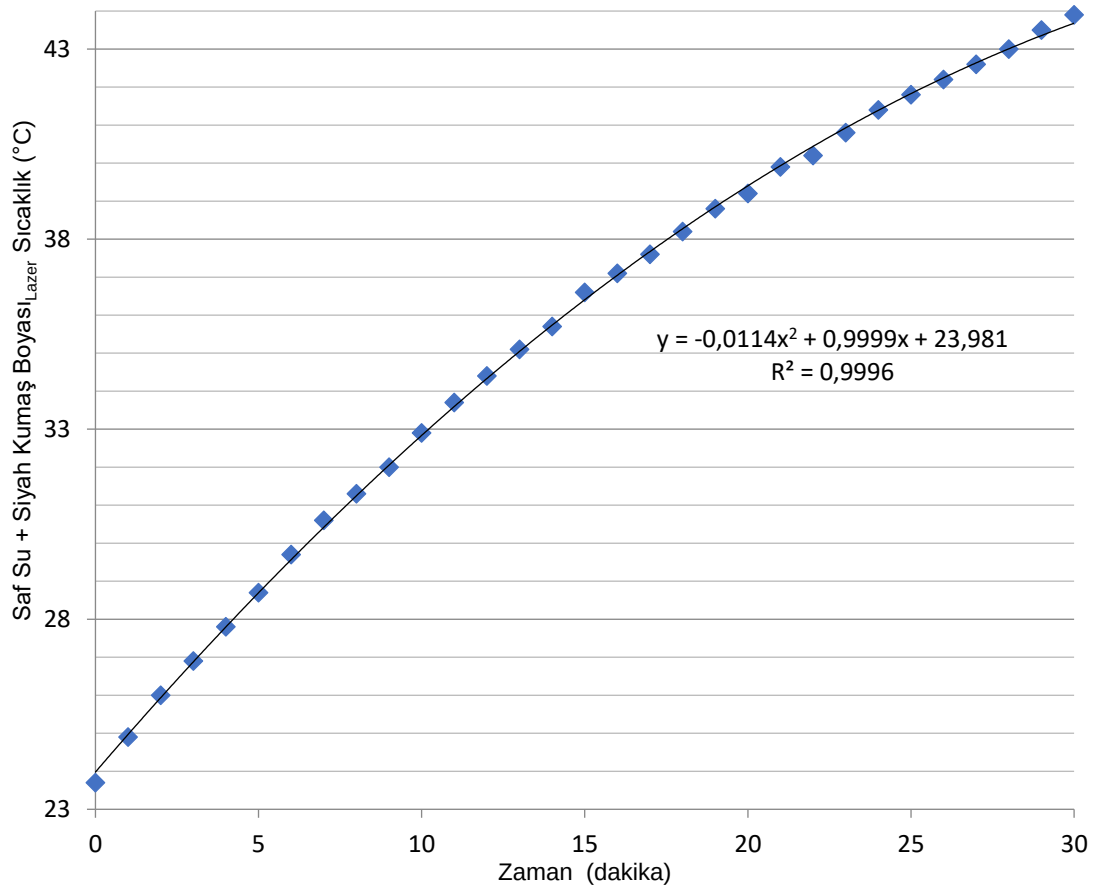


Saf Su + Siyah Kumaş Boyası İlavesi Sonrası Lazer Işını Verildikten Sonra Sıcaklık Değişimi (250 ml, 50 W, 100 kHz, 500 mm/s)

Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)
0	22,0	16	35,7
1	23,1	17	36,4
2	24,3	18	36,9
3	25,1	19	37,6
4	26,2	20	38,1
5	27,2	21	38,8
6	28,2	22	39,3
7	29,0	23	39,8
8	29,9	24	40,2
9	30,8	25	40,7
10	31,5	26	41,2
11	32,3	27	41,7
12	33,0	28	42,1
13	33,8	29	42,4
14	34,4	30	42,9
15	35,1		

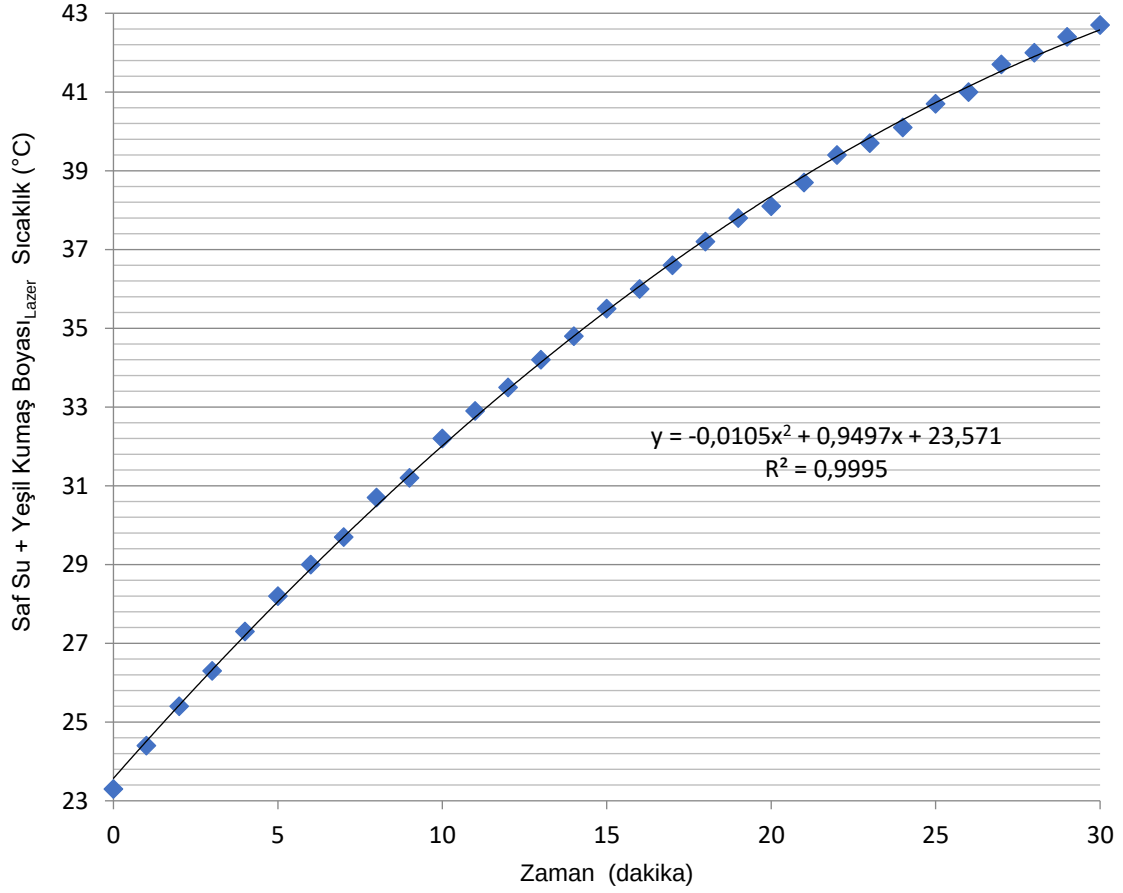


Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)
0	23,7	16	37,1
1	24,9	17	37,6
2	26,0	18	38,2
3	26,9	19	38,8
4	27,8	20	39,2
5	28,7	21	39,9
6	29,7	22	40,2
7	30,6	23	40,8
8	31,3	24	41,4
9	32,0	25	41,8
10	32,9	26	42,2
11	33,7	27	42,6
12	34,4	28	43,0
13	35,1	29	43,5
14	35,7	30	43,9
15	36,6		

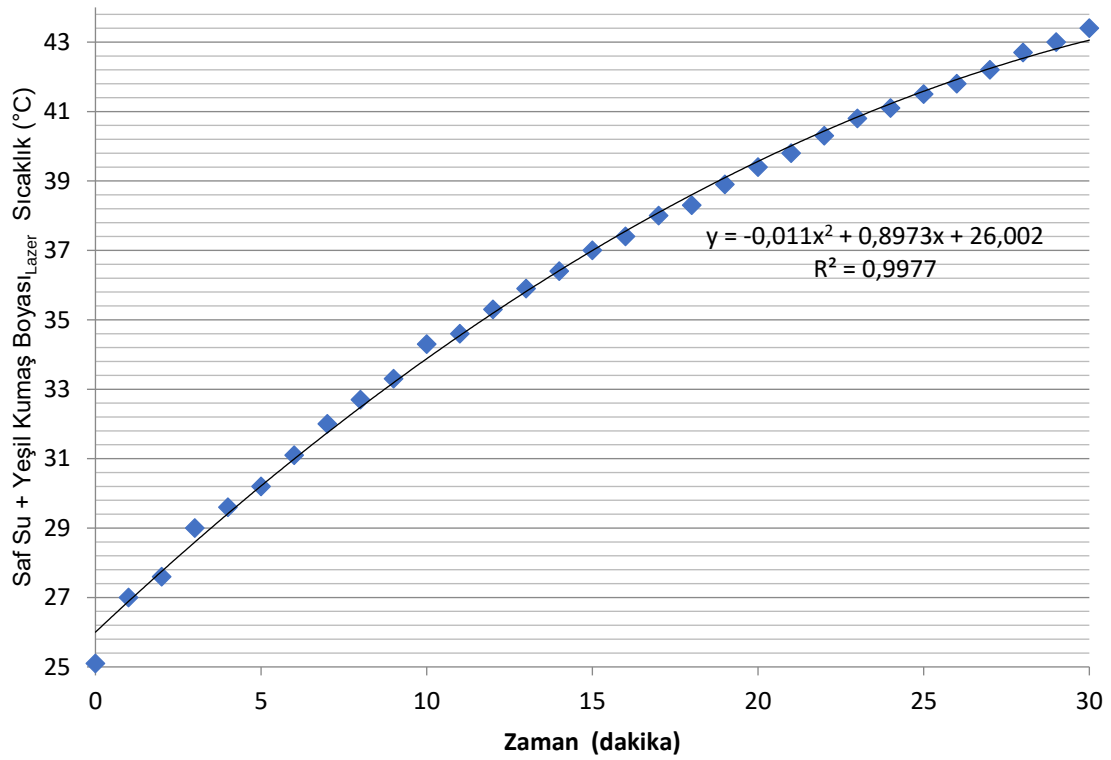


Saf Su + Yeşil Kumaş Boyası İlavesi Sonrası Lazer Işını Verildikten Sonra Sıcaklık Değişimi (250 ml, 50 W, 100 kHz, 500 mm/s)

Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)
0	23,3	16	36,0
1	24,4	17	36,6
2	25,4	18	37,2
3	26,3	19	37,8
4	27,3	20	38,1
5	28,2	21	38,7
6	29,0	22	39,4
7	29,7	23	39,7
8	30,7	24	40,1
9	31,2	25	40,7
10	32,2	26	41,0
11	32,9	27	41,7
12	33,5	28	42,0
13	34,2	29	42,4
14	34,8	30	42,7
15	35,5		

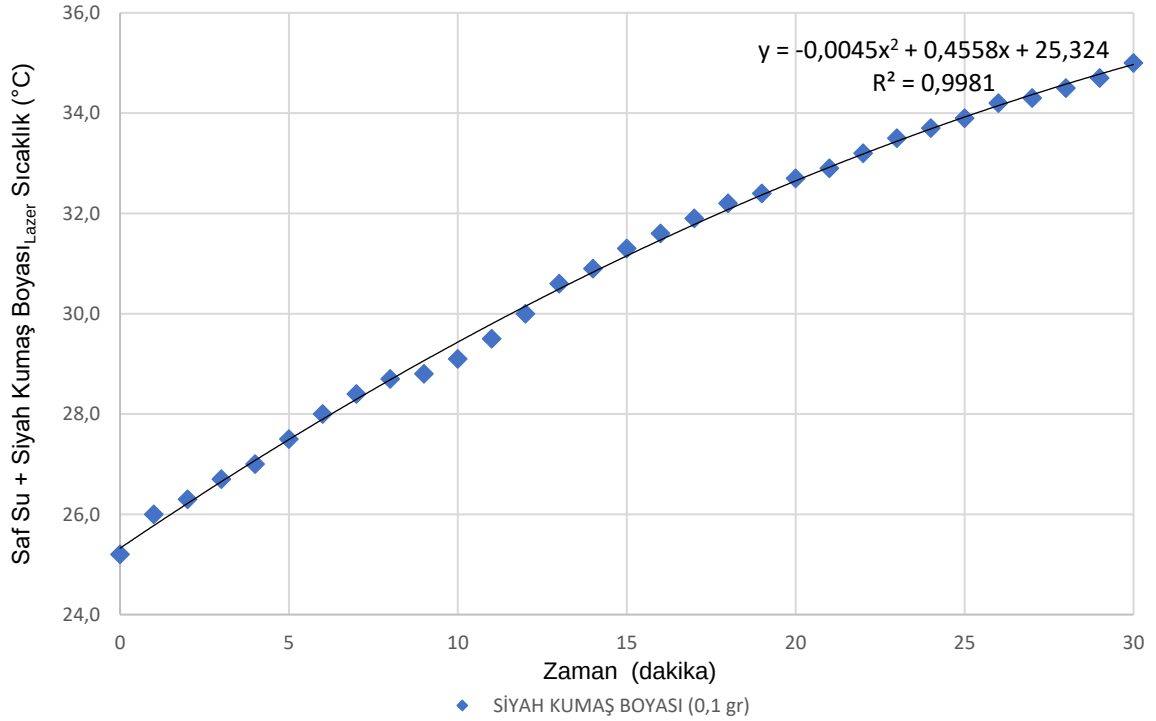


Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)
0	25,1	16	37,4
1	27,0	17	38,0
2	27,6	18	38,3
3	29,0	19	38,9
4	29,6	20	39,4
5	30,2	21	39,8
6	31,1	22	40,3
7	32,0	23	40,8
8	32,7	24	41,1
9	33,3	25	41,5
10	34,3	26	41,8
11	34,6	27	42,2
12	35,3	28	42,7
13	35,9	29	43,0
14	36,4	30	43,4
15	37,0		

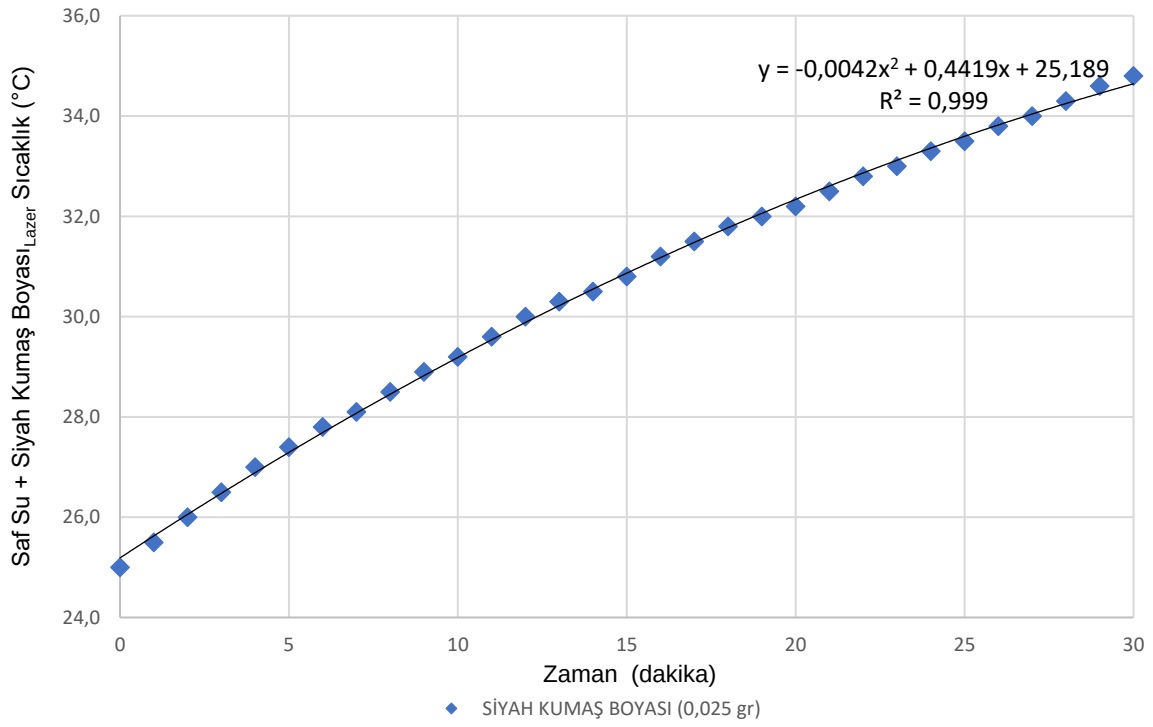


Saf Suya Siyah Kumaş Boyası İlave Edilerek Lazer Işını Uygulamasından Sonra Sıcaklık Ölçüm Sonuçları (250 ml saf su, 0,025 – 0,1 gr Boya, 20 W, 100 kHz, 500 mm/s)

Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)
0	25,2	16	31,6
1	26,0	17	31,9
2	26,3	18	32,2
3	26,7	19	32,4
4	27,0	20	32,7
5	27,5	21	32,9
6	28,0	22	33,2
7	28,4	23	33,5
8	28,7	24	33,7
9	28,8	25	33,9
10	29,1	26	34,2
11	29,5	27	34,3
12	30,0	28	34,5
13	30,6	29	34,7
14	30,9	30	35,0
15	31,3		

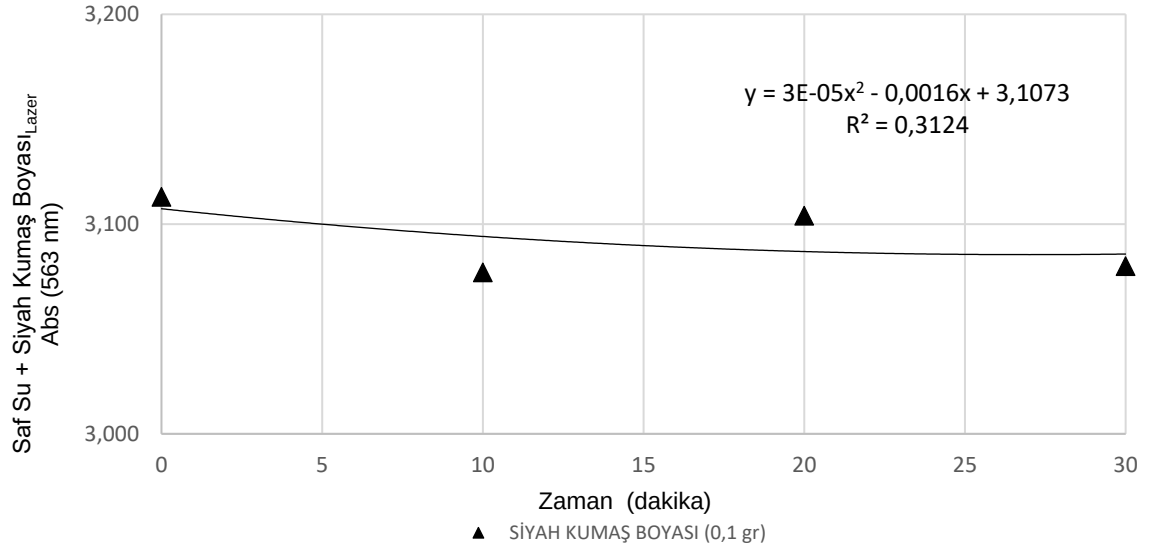


Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)
0	25,0	16	31,2
1	25,5	17	31,5
2	26,0	18	31,8
3	26,5	19	32,0
4	27,0	20	32,2
5	27,4	21	32,5
6	27,8	22	32,8
7	28,1	23	33,0
8	28,5	24	33,3
9	28,9	25	33,5
10	29,2	26	33,8
11	29,6	27	34,0
12	30,0	28	34,3
13	30,3	29	34,6
14	30,5	30	34,8
15	30,8		

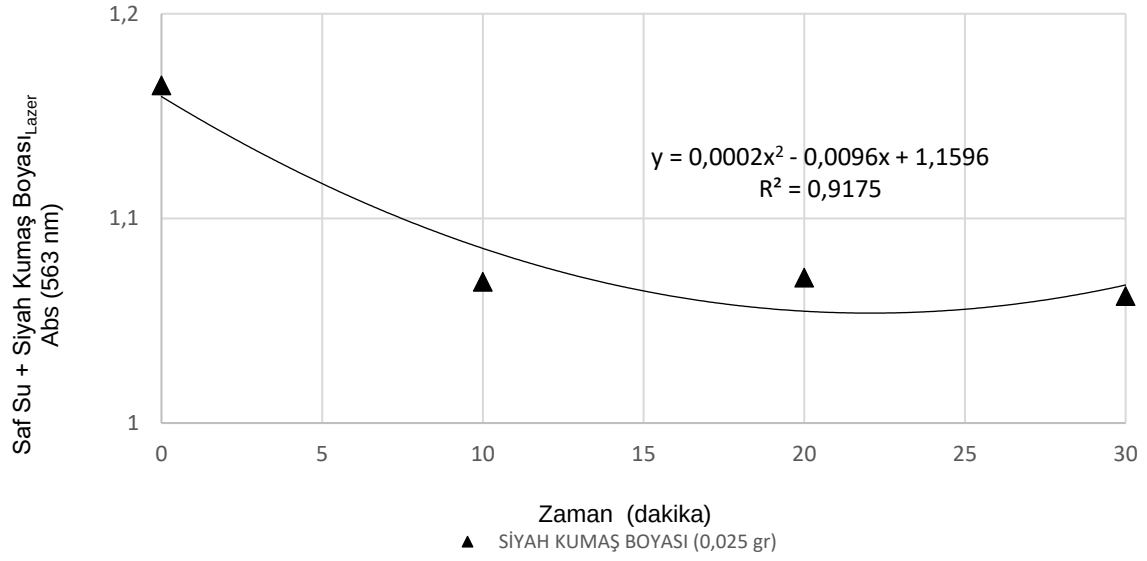


Saf Suya Siyah Kumaş Boyası İlave Edilerek Lazer Işını Uygulamasından Sonra ABS Ölçüm Sonuçları (250 ml saf su, 0,025- 0,1 gr Boya, 20 W, 100 kHz, 500 mm/s)

Zaman (dakika)	ABS (563 nm)
0	3,113
10	3,077
20	3,104
30	3,080

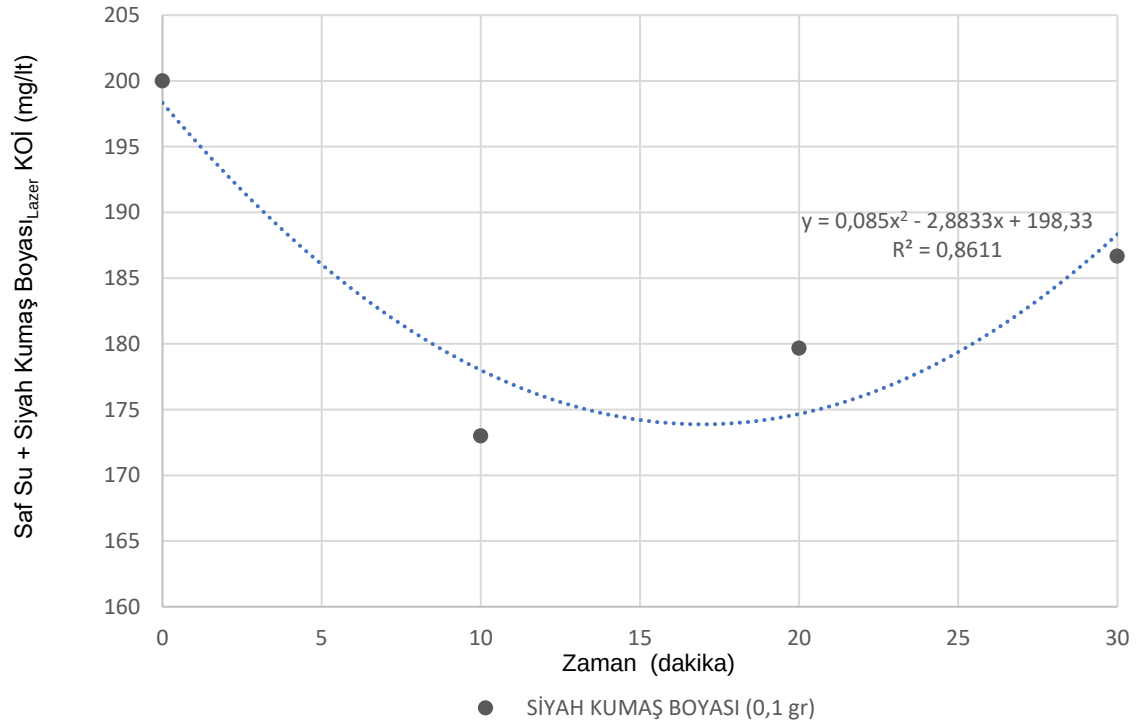


Zaman (dakika)	ABS (563 nm)
0	1,165
10	1,069
20	1,071
30	1,062

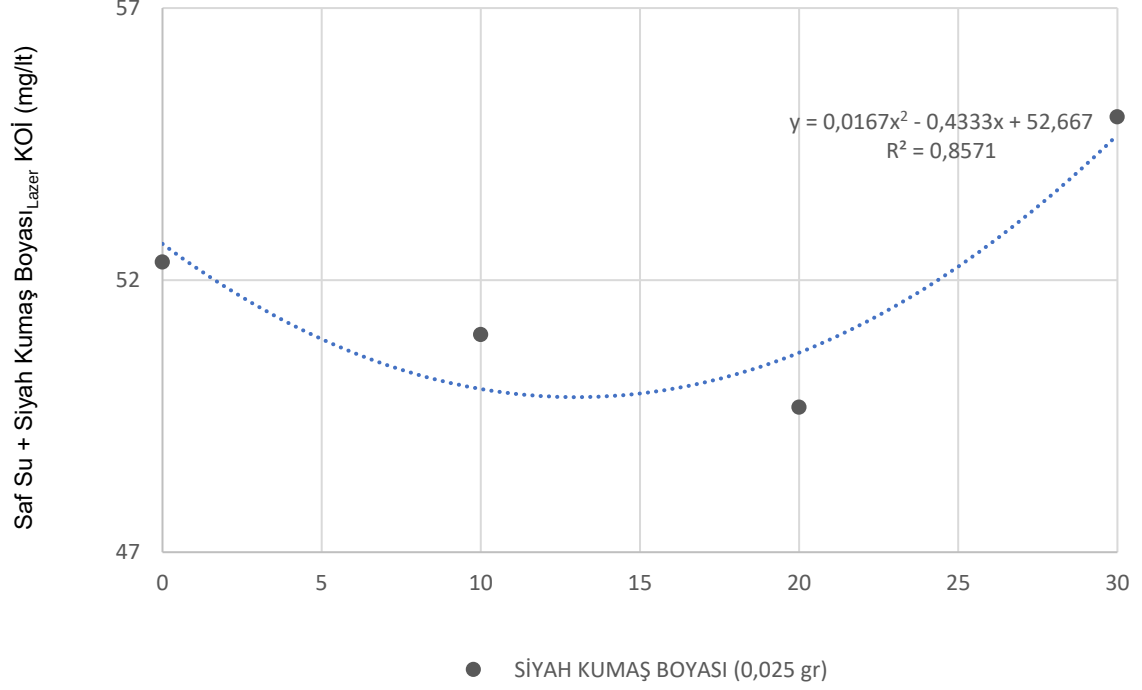


Saf Suya Siyah Kumaş Boyası İlave Edilerek Lazer Işını Uygulamasından Sonra KOİ Ölçüm Sonuçları (250 ml saf su, 0,025- 0,1 gr Boya, 20 W, 100 kHz, 500 mm/s)

Zaman (dakika)	KOİ (mg/L)
0	200
10	173
20	180
30	187

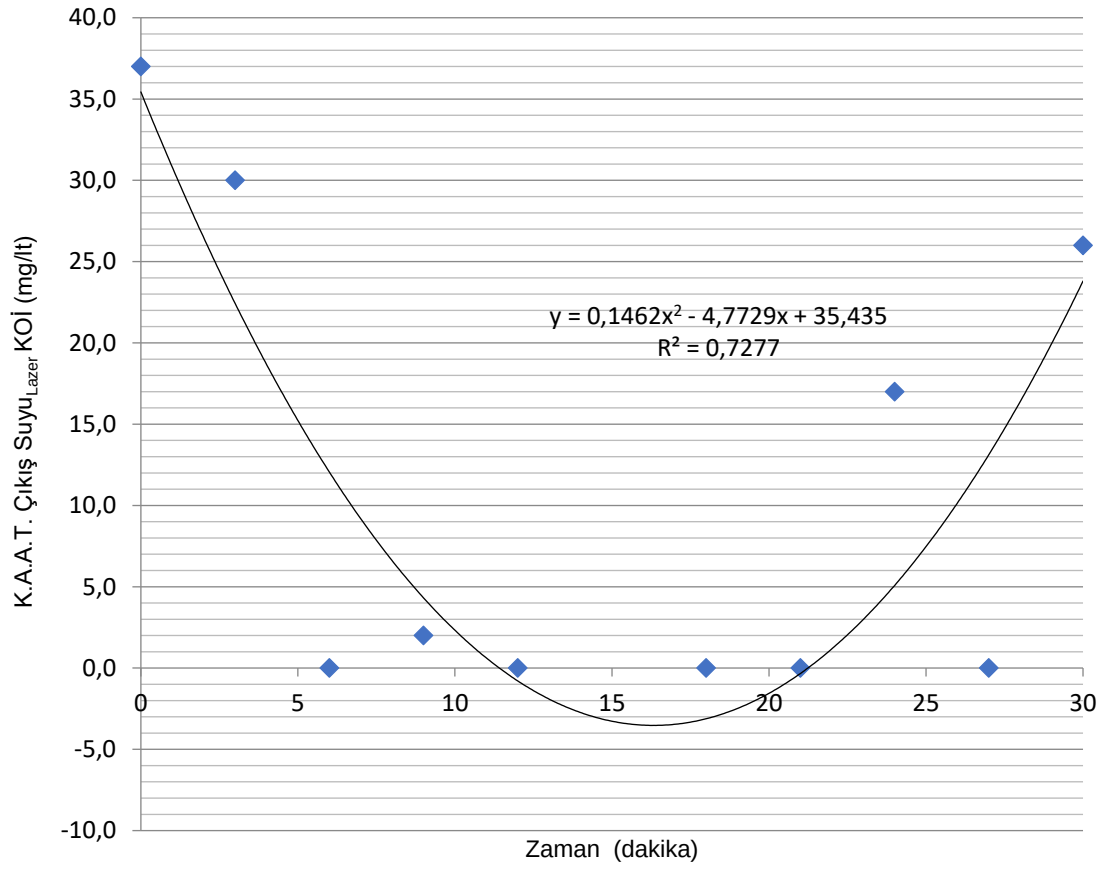


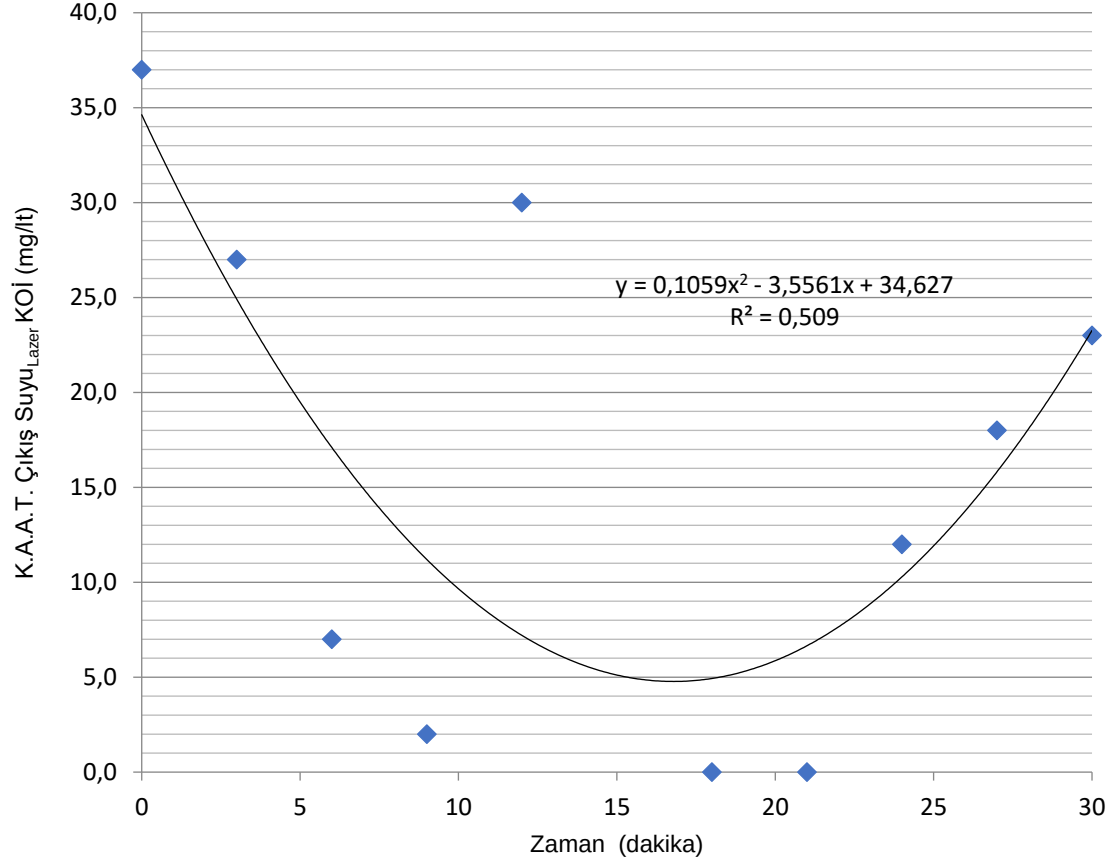
Zaman (dakika)	KOİ (mg/L)
0	52
10	51
20	50
30	55



KAAT Çıkış Suyuna Lazer Işını Verilmesi Sonrası KOİ Ölçüm Sonuçları (250 ml, 50 W, 100 kHz, 500 mm/s)

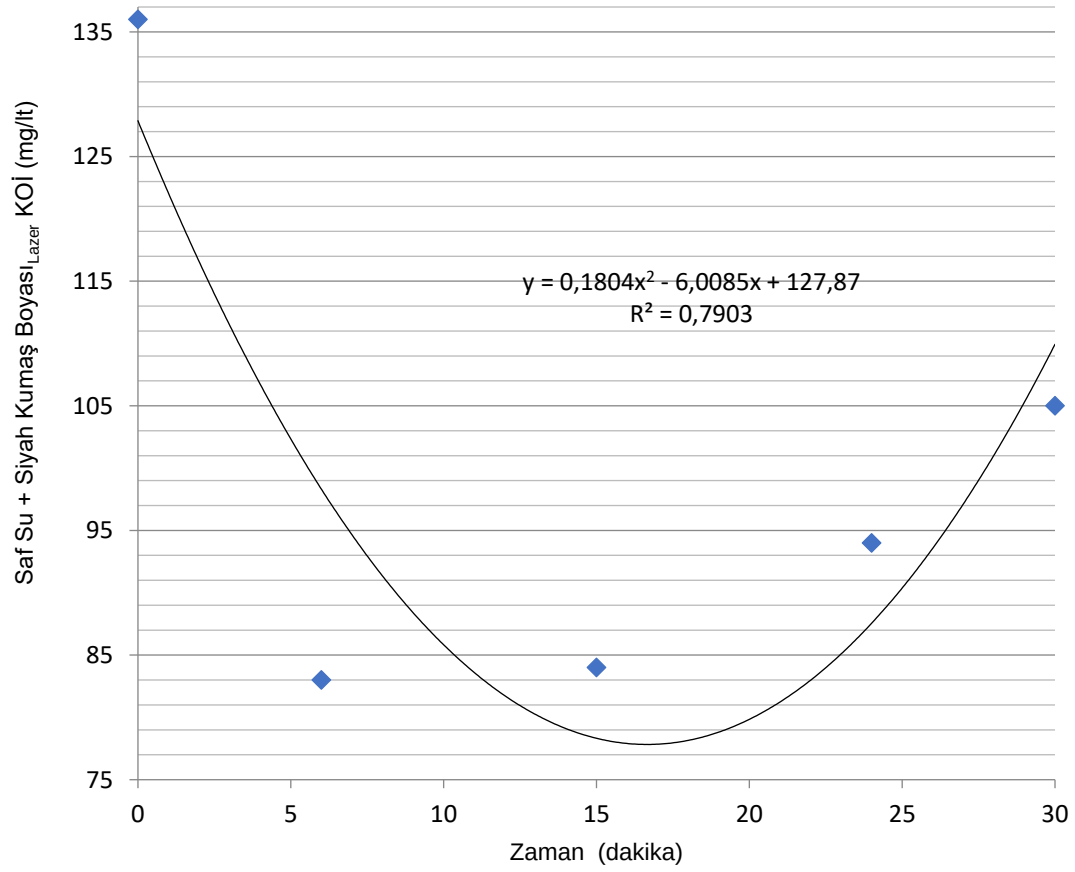
Zaman (dakika)	KOİ (mg/L)
0	37,0
3	30,0
6	0 (LİMİT)
9	2,0
12	0 (LİMİT)
18	0 (LİMİT)
21	0 (LİMİT)
24	17,0
27	0 (LİMİT)
30	26,0





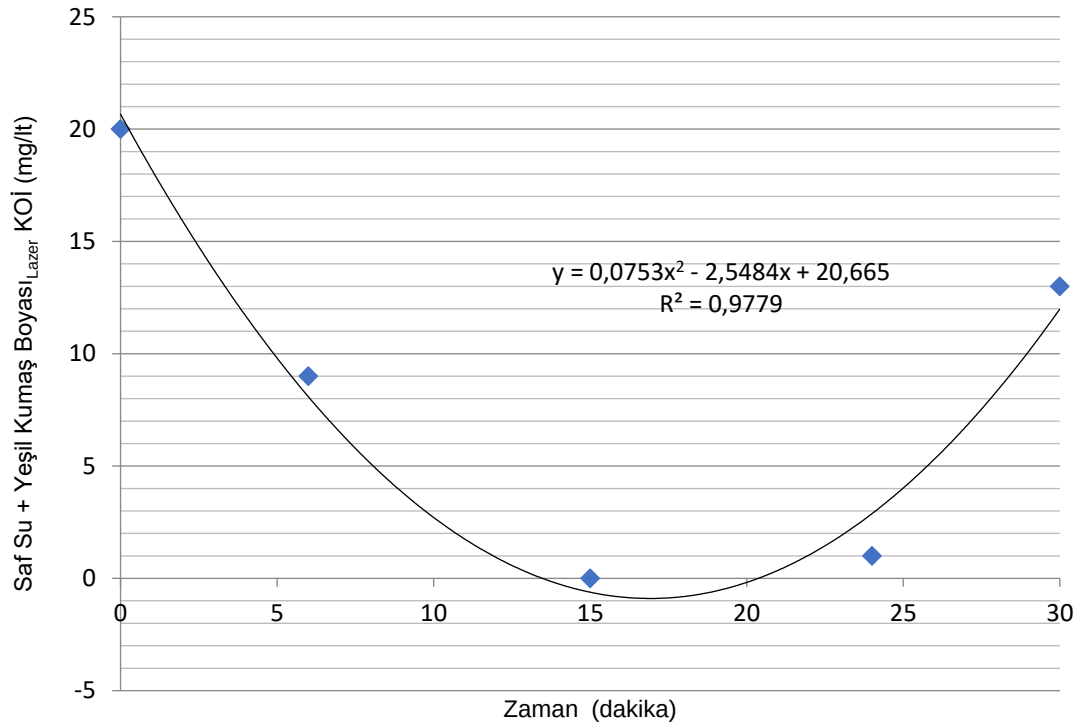
Saf Suya Siyah Kumaş Boyası İlavesi Sonrası Lazer Işını Uygulanmasından Sonra KOİ Ölçüm Sonuçları (250 ml, 50 W, 100 kHz, 500 mm/s)

Zaman (dakika)	KOİ (mg/L)
0	136
6	83
15	84
24	94
30	105



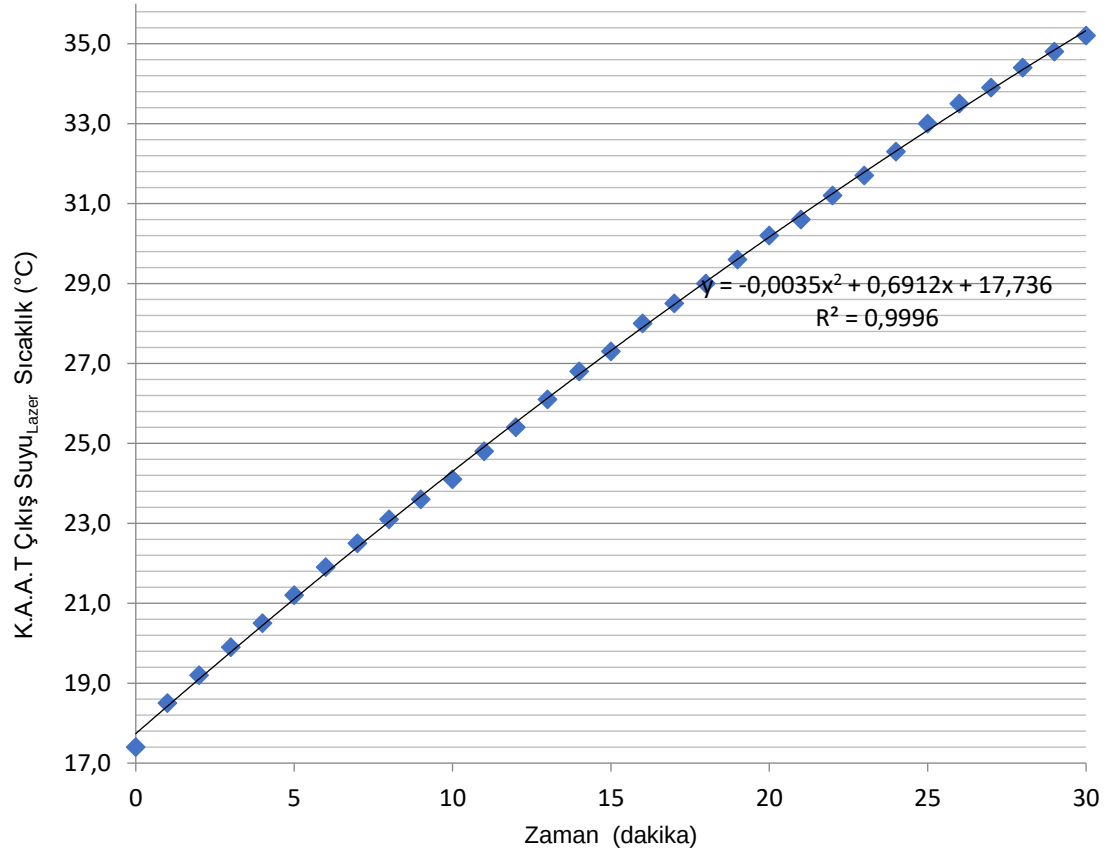
Saf Suya Yeşil Kumaş Boyası İlavesi Sonrası Lazer Işını Uygulanmasından Sonra KOİ Ölçüm Sonuçları (250 ml, 50 W, 100 kHz, 500 mm/s)

Zaman (dakika)	KOI (mg/L)
0	20
6	9
15	0
24	1
30	13



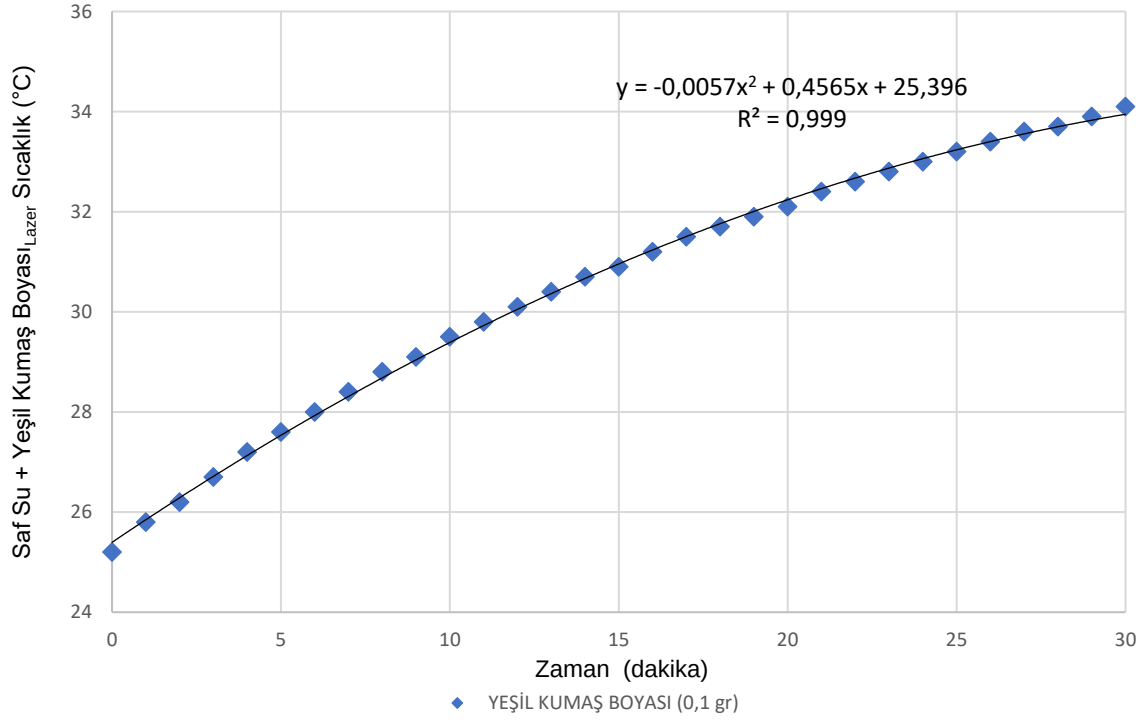
KAATÇIKIŞ Suyuna Lazer Işını Uygulaması Sırasında Sıcaklık Değişimi (250 ml, 20 W, 100 kHz, 500 mm/s)

Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)
0	17,4	16	28,0
1	18,5	17	28,5
2	19,2	18	29,0
3	19,9	19	29,6
4	20,5	20	30,2
5	21,2	21	30,6
6	21,9	22	31,2
7	22,5	23	31,7
8	23,1	24	32,3
9	23,6	25	33,0
10	24,1	26	33,5
11	24,8	27	33,9
12	25,4	28	34,4
13	26,1	29	34,8
14	26,8	30	35,2
15	27,3		

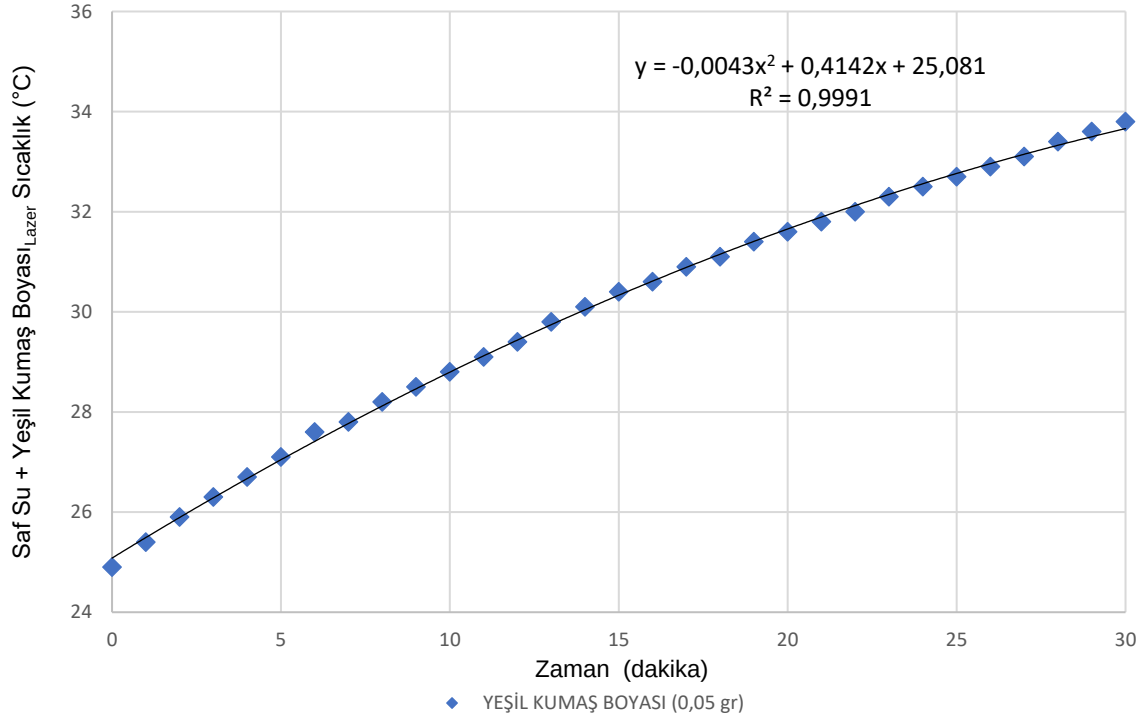


Saf Suya Yeşil Kumaş Boyası İlavesi ile Lazer Işını Uygulamasından Sonra Sıcaklık Ölçüm Sonuçları (250 ml, 20 W, 100 kHz, 500 mm/s, 0,05- 0,1 gr boya)

Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)
0	25,2	16	31,2
1	25,8	17	31,5
2	26,2	18	31,7
3	26,7	19	31,9
4	27,2	20	32,1
5	27,6	21	32,4
6	28	22	32,6
7	28,4	23	32,8
8	28,8	24	33
9	29,1	25	33,2
10	29,5	26	33,4
11	29,8	27	33,6
12	30,1	28	33,7
13	30,4	29	33,9
14	30,7	30	34,1
15	30,9		

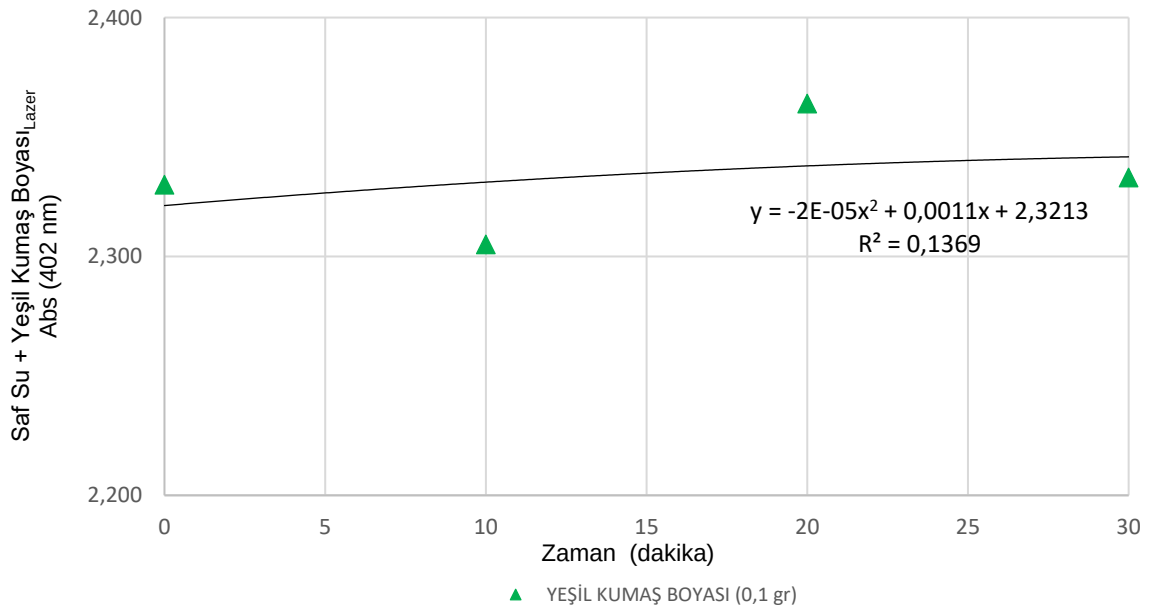


Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)
0	24,9	16	30,6
1	25,4	17	30,9
2	25,9	18	31,1
3	26,3	19	31,4
4	26,7	20	31,6
5	27,1	21	31,8
6	27,6	22	32
7	27,8	23	32,3
8	28,2	24	32,5
9	28,5	25	32,7
10	28,8	26	32,9
11	29,1	27	33,1
12	29,4	28	33,4
13	29,8	29	33,6
14	30,1	30	33,8
15	30,4		

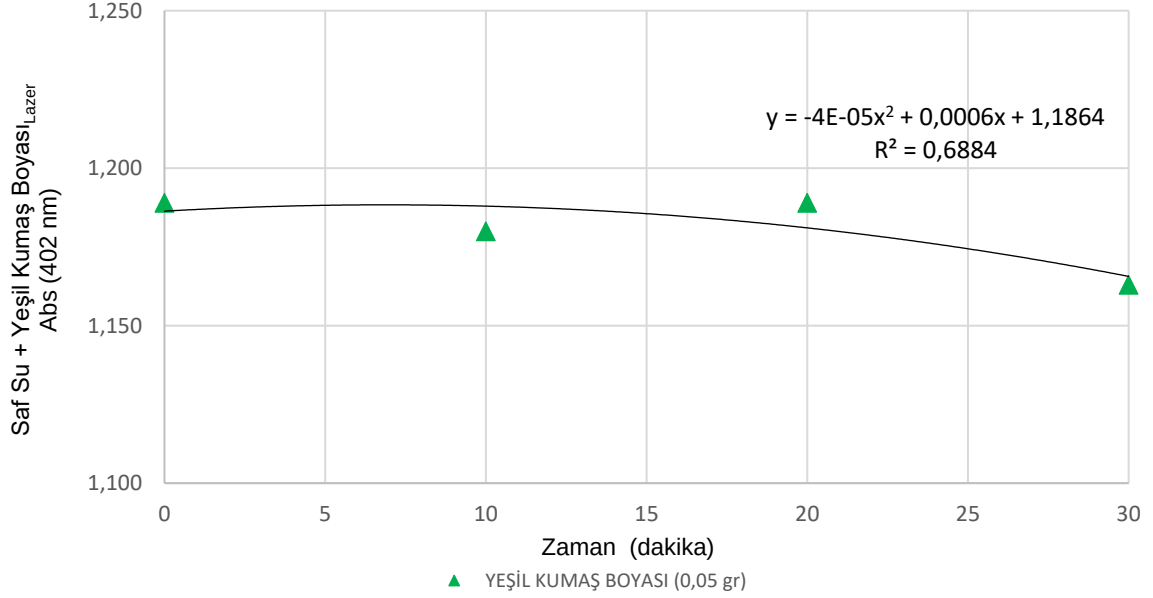


Saf Suya Yeşil Kumaş Boyası İlavesi ile Lazer Işını Uygulamasından Sonra ABS Ölçüm Sonuçları (250 ml, 20 W, 100 kHz, 500 mm/s, 0,05 – 0,1 gr boya)

Zaman (dakika)	ABS (402 nm)
0	2,330
10	2,305
20	2,364
30	2,333

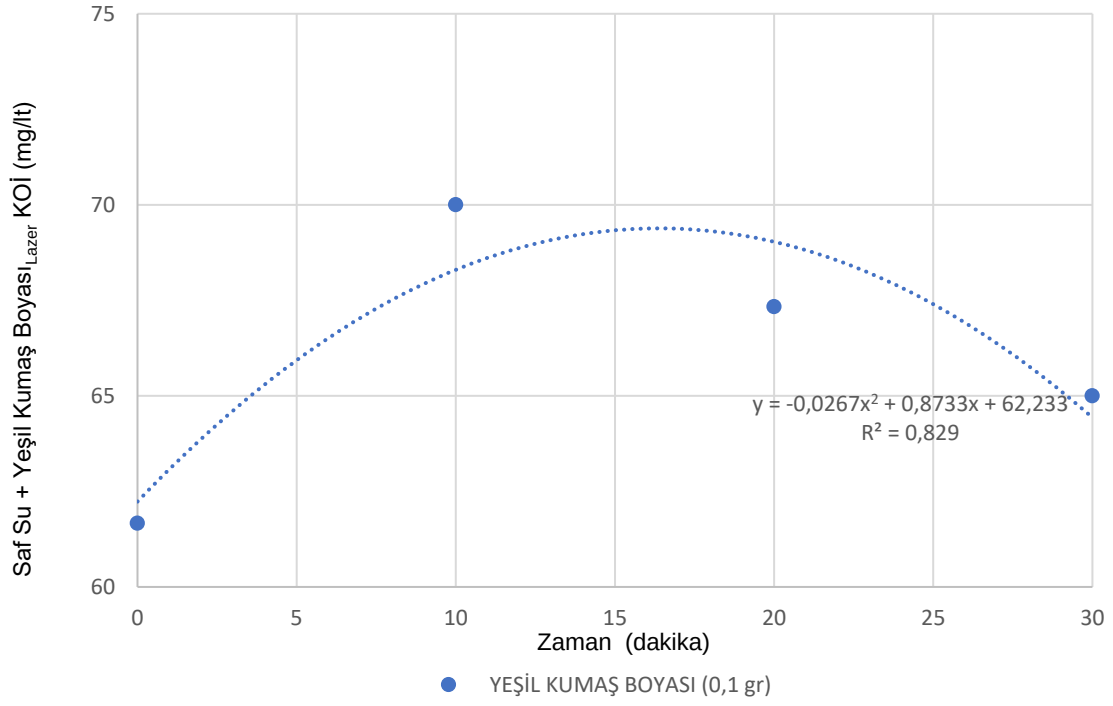


Zaman (dakika)	ABS (402 nm)
0	1,189
10	1,180
20	1,189
30	1,163

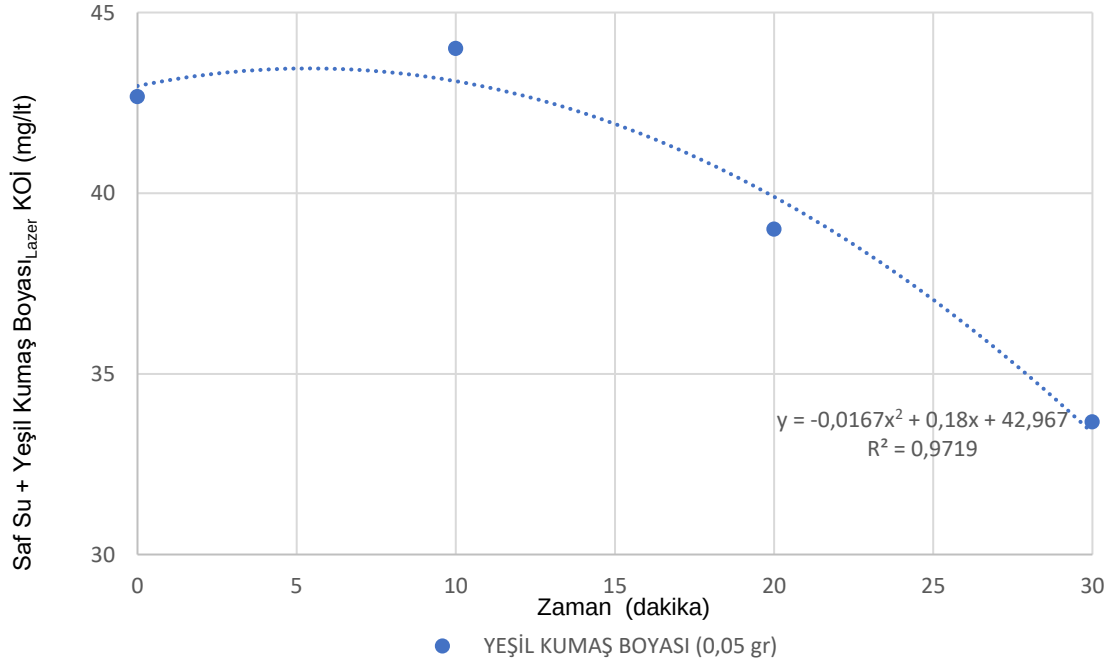


Saf Suya Yeşil Kumaş Boyası İlavesi ile Lazer Işını Uygulamasından Sonra KOİ Ölçüm Sonuçları (250 ml, 20 W, 100 kHz, 500 mm/s, 0,05 – 0,1 gr boya)

Zaman (dakika)	KOİ (mg/L)
0	62
10	70
20	67
30	65



Zaman (dakika)	KOİ (mg/L)
0	43
10	44
20	39
30	34



Saf Suya Yeşil Kumaş Boyası İlavesi Sonrası KOİ Ölçüm Sonuçları (250 ml saf su, 0,05 gr Boya, lazersiz)

Örnek (0 dk)	KOİ (mg/L)
1.Ölçüm Denemesi	36
2.Ölçüm Denemesi	39
3.Ölçüm Denemesi	34
Ortalama	36

Saf Suya Siyah Kumaş Boyası İlavesi Sonrası KOİ Ölçüm Sonuçları (250 ml saf su, 0,05 gr Boya, lazersiz)

Örnek (0 dk)	KOİ (mg/L)
1.Ölçüm Denemesi	69
2.Ölçüm Denemesi	73
3.Ölçüm Denemesi	66
Ortalama	69

Saf Suya Siyah Kumaş Boyası İlavesi Sonrası ABS Ölçüm Sonuçları (250 ml saf su, 0,05 gr Boya, lazersiz, 563 nm)

Örnek (0 dk)	ABS (563 nm)
1.Ölçüm Denemesi	1,476
2.Ölçüm Denemesi	1,475
3.Ölçüm Denemesi	1,471
4.Ölçüm Denemesi	1,471
5.Ölçüm Denemesi	1,474
6.Ölçüm Denemesi	1,473
7.Ölçüm Denemesi	1,477
8.Ölçüm Denemesi	1,474
9.Ölçüm Denemesi	1,475
10.Ölçüm Denemesi	1,473
Ortalama	1,474

Saf Suya Siyah Kumaş Boyası İlavesi Sonrası ABS Ölçüm Sonuçları (250 ml saf su, 0,025 gr Boya, lazersiz, 563 nm)

Örnek (0 dk)	ABS (563 nm)
1.Ölçüm Denemesi	1,290
2.Ölçüm Denemesi	1,289
3.Ölçüm Denemesi	1,290
4.Ölçüm Denemesi	1,293
5.Ölçüm Denemesi	1,290
6.Ölçüm Denemesi	1,289
Ortalama	1,290

Saf Suya Siyah Kumaş Boyası İlavesi Sonrası ABS Ölçüm Sonuçları (250 ml saf su, 0,1 gr Boya, lazersiz, 563 nm)

Örnek (0 dk)	ABS (563 nm)
1.Ölçüm Denemesi	3,072
2.Ölçüm Denemesi	3,104
3.Ölçüm Denemesi	3,085
4.Ölçüm Denemesi	3,082
5.Ölçüm Denemesi	3,083
6.Ölçüm Denemesi	3,076
7.Ölçüm Denemesi	3,085
8.Ölçüm Denemesi	3,084
Ortalama	3,084

Saf Suya Yeşil Kumaş Boyası İlavesi Sonrası ABS Ölçüm Sonuçları (250 ml saf su, 0,05 gr Boya, lazersiz, 402 nm)

Örnek (0 dk)	ABS (402 nm)
1.Ölçüm Denemesi	0,800
2.Ölçüm Denemesi	0,829
3.Ölçüm Denemesi	0,798
4.Ölçüm Denemesi	0,803
5.Ölçüm Denemesi	0,811
6.Ölçüm Denemesi	0,815
7.Ölçüm Denemesi	0,816
8.Ölçüm Denemesi	0,816
9.Ölçüm Denemesi	0,812
10.Ölçüm Denemesi	0,820
11.Ölçüm Denemesi	0,820
12.Ölçüm Denemesi	0,805
13.Ölçüm Denemesi	0,806
Ortalama	0,812

Saf Suya Yeşil Kumaş Boyası İlavesi Sonrası ABS Ölçüm Sonuçları (250 ml saf su, 0,06 gr Boya, lazersiz, 402 nm)

Örnek (0 dk)	ABS (402 nm)
1.Ölçüm Denemesi	1,562
2.Ölçüm Denemesi	1,529
3.Ölçüm Denemesi	1,533
4.Ölçüm Denemesi	1,517
5.Ölçüm Denemesi	1,507
6.Ölçüm Denemesi	1,546
7.Ölçüm Denemesi	1,539
Ortalama	1,533

Saf Suya Yeşil Kumaş Boyası İlavesi Sonrası ABS Ölçüm Sonuçları (250 ml saf su, 0,1 gr Boya, lazersiz, 402 nm)

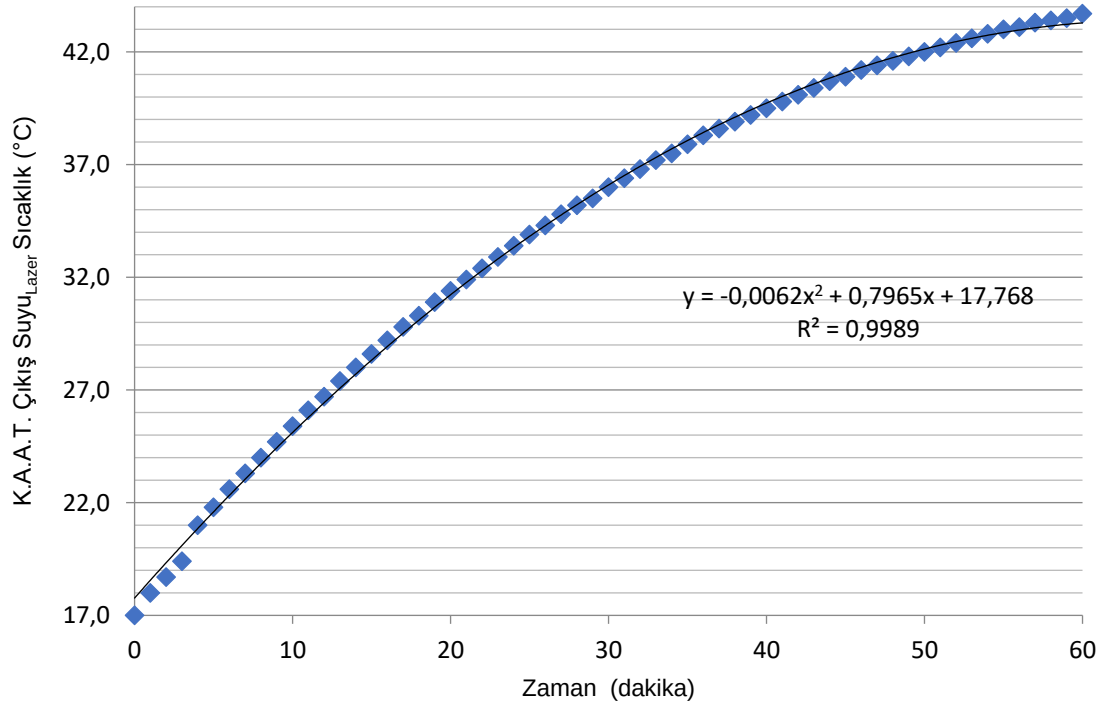
Örnek (0 dk)	ABS (402 nm)
1.Ölçüm Denemesi	2,424
2.Ölçüm Denemesi	2,471
3.Ölçüm Denemesi	2,469
4.Ölçüm Denemesi	2,457
5.Ölçüm Denemesi	2,439
6.Ölçüm Denemesi	2,446
Ortalama	2,451



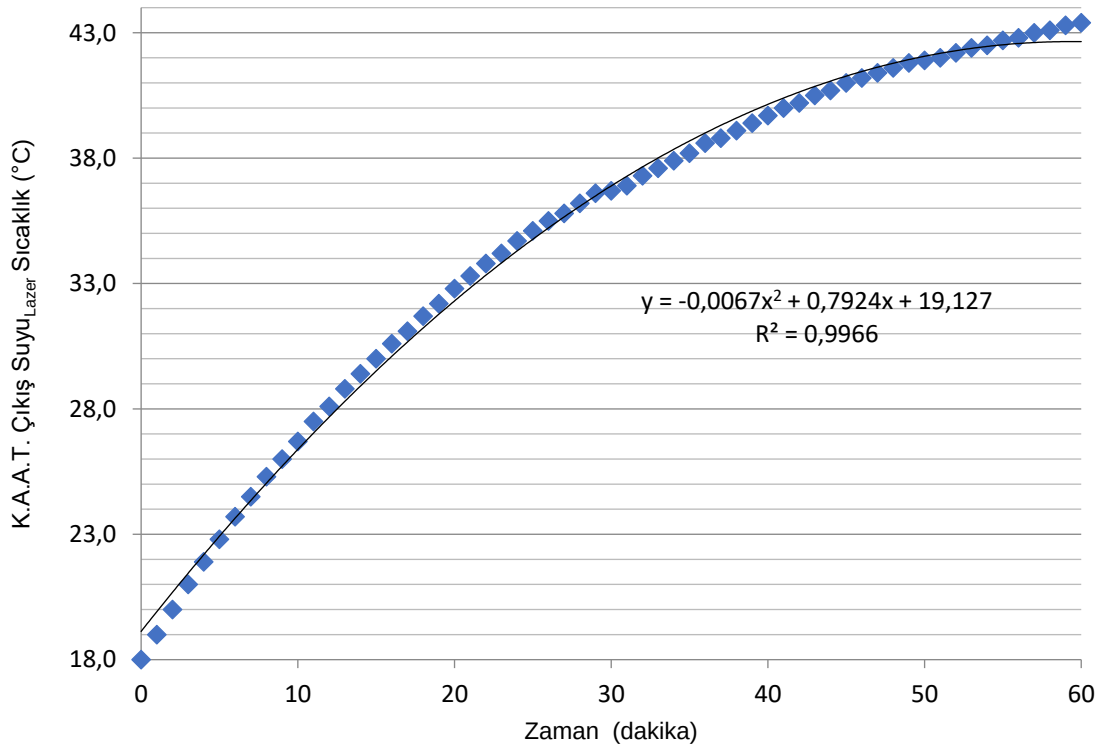
Ek-2 Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi Çıkış Suyu Lazer Çalışmaları

KAAT Çıkış Suyuna Lazer Işını Uygulanması Sırasında Sıcaklık Değişimi (250 ml, 20 W, 40 kHz, 500 mm/s)

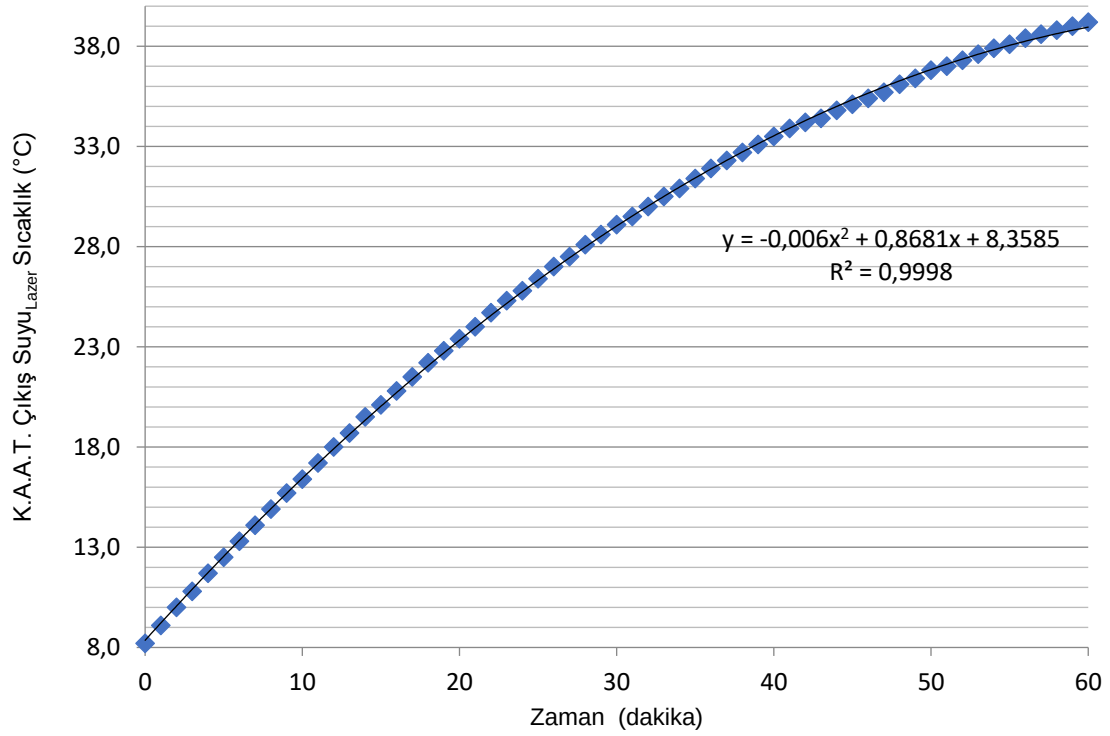
Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)
0	17,0	16	29,2	32	36,8	48	41,6
1	18,0	17	29,8	33	37,2	49	41,8
2	18,7	18	30,3	34	37,5	50	42,0
3	19,4	19	30,9	35	37,9	51	42,2
4	21,0	20	31,4	36	38,3	52	42,4
5	21,8	21	31,9	37	38,6	53	42,6
6	22,6	22	32,4	38	38,9	54	42,8
7	23,3	23	32,9	39	39,2	55	43,0
8	24,0	24	33,4	40	39,5	56	43,1
9	24,7	25	33,9	41	39,8	57	43,3
10	25,4	26	34,3	42	40,1	58	43,4
11	26,1	27	34,8	43	40,4	59	43,5
12	26,7	28	35,2	44	40,7	60	43,7
13	27,4	29	35,5	45	40,9		
14	28,0	30	36,0	46	41,2		
15	28,6	31	36,4	47	44,4		



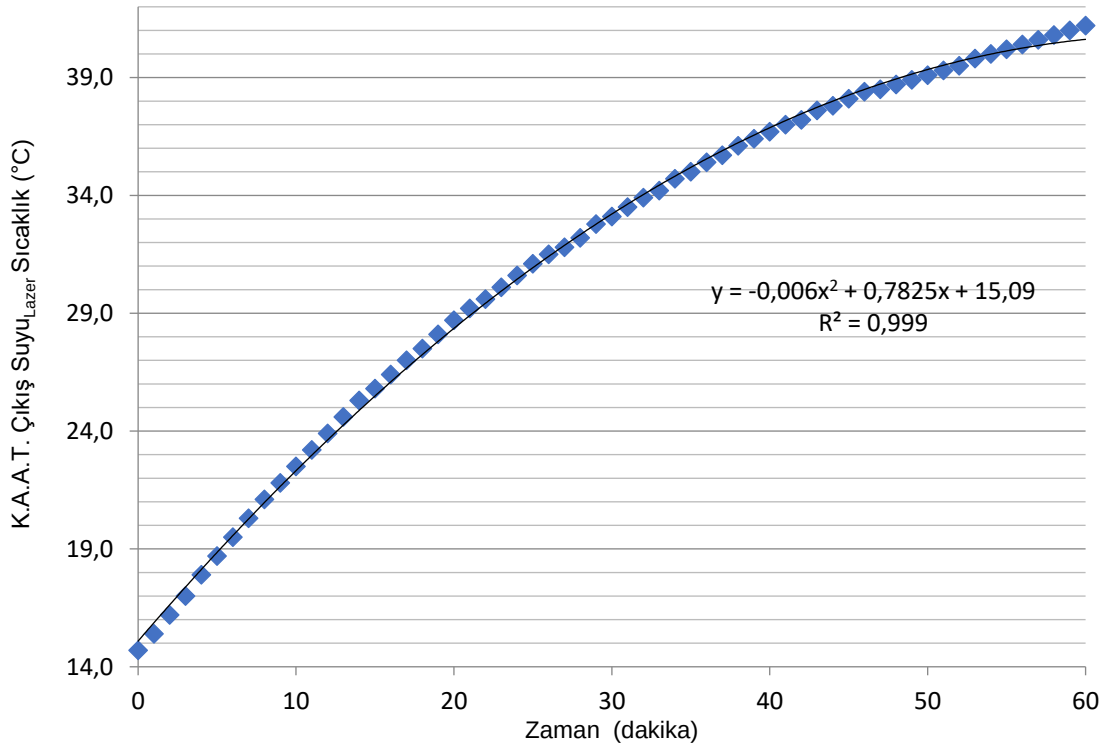
Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)
0	18,0	16	30,6	32	37,3	48	41,6
1	19,0	17	31,1	33	37,6	49	41,8
2	20,0	18	31,7	34	37,9	50	41,9
3	21,0	19	32,2	35	38,2	51	42,0
4	21,9	20	32,8	36	38,6	52	42,2
5	22,8	21	33,3	37	38,8	53	42,4
6	23,7	22	33,8	38	39,1	54	42,5
7	24,5	23	34,2	39	39,4	55	42,7
8	25,3	24	34,7	40	39,7	56	42,8
9	26,0	25	35,1	41	40,0	57	43,0
10	26,7	26	35,5	42	40,2	58	43,1
11	27,5	27	35,8	43	40,5	59	43,3
12	28,1	28	36,2	44	40,7	60	43,4
13	28,8	29	36,6	45	41,0		
14	29,4	30	36,7	46	41,2		
15	30,0	31	36,9	47	41,4		



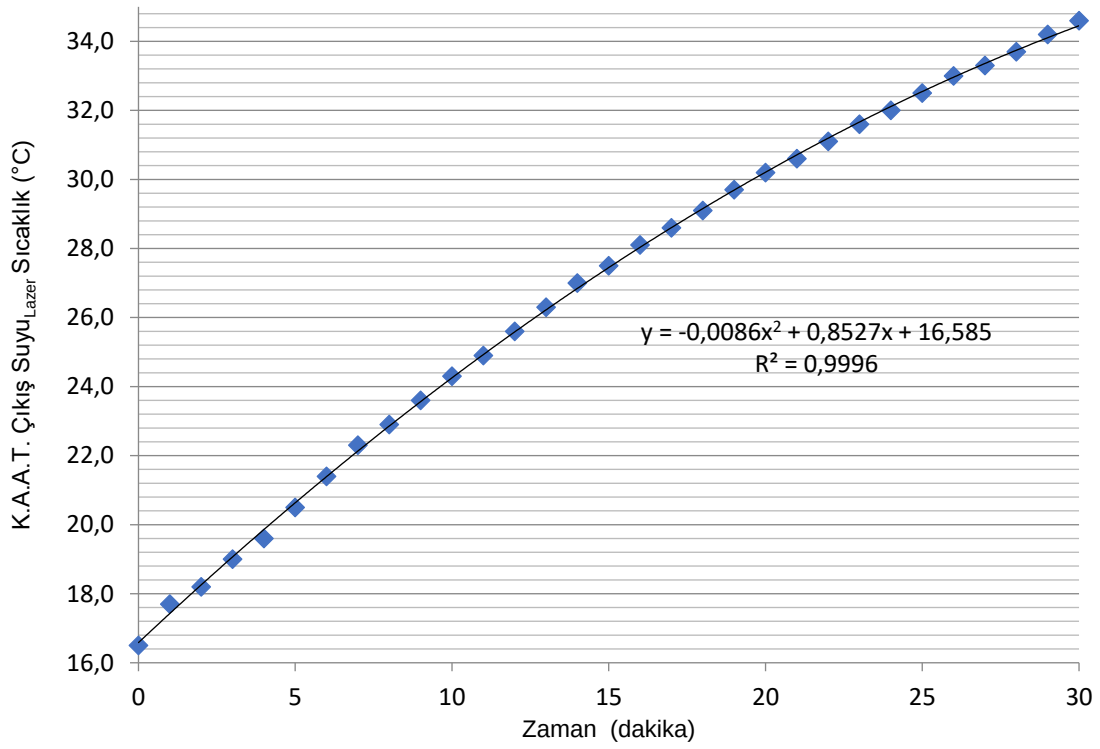
Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)
0	8,2	16	20,8	32	30,0	48	36,1
1	9,1	17	21,5	33	30,5	49	36,4
2	10,0	18	22,2	34	30,9	50	36,8
3	10,8	19	22,8	35	31,4	51	37,0
4	11,7	20	23,4	36	31,9	52	37,3
5	12,5	21	24,0	37	32,3	53	37,6
6	13,3	22	24,7	38	32,7	54	37,9
7	14,1	23	25,3	39	33,1	55	38,1
8	14,9	24	25,8	40	33,5	56	38,4
9	15,7	25	26,4	41	33,9	57	38,6
10	16,4	26	27,0	42	34,2	58	38,8
11	17,2	27	27,5	43	34,4	59	39,0
12	18,0	28	28,1	44	34,8	60	39,2
13	18,7	29	28,6	45	35,1		
14	19,5	30	29,1	46	35,4		
15	20,1	31	29,5	47	35,7		



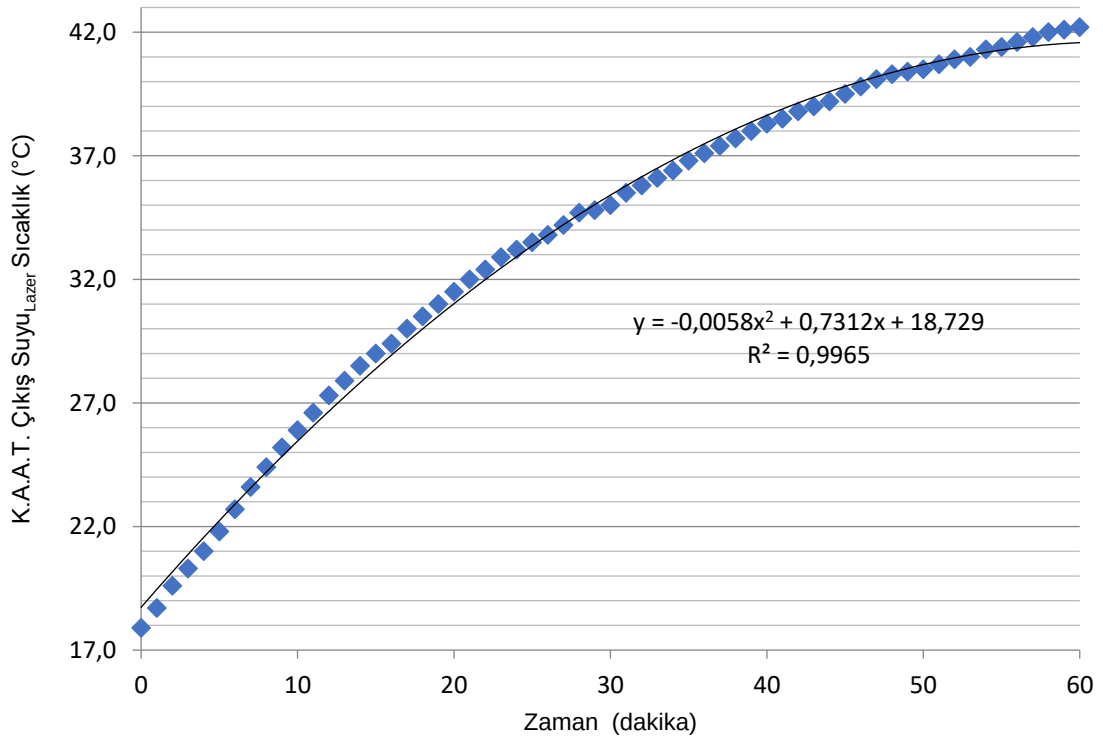
Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)
0	14,7	16	26,4	32	33,9	48	38,7
1	15,4	17	27,0	33	34,2	49	38,9
2	16,2	18	27,5	34	34,7	50	39,1
3	17,0	19	28,1	35	35,0	51	39,3
4	17,9	20	28,7	36	35,4	52	39,5
5	18,7	21	29,2	37	35,7	53	39,8
6	19,5	22	29,6	38	36,1	54	40,0
7	20,3	23	30,1	39	36,4	55	40,2
8	21,1	24	30,6	40	36,7	56	40,4
9	21,8	25	31,1	41	37,0	57	40,6
10	22,5	26	31,5	42	37,2	58	40,8
11	23,2	27	31,8	43	37,6	59	41,0
12	23,9	28	32,2	44	37,8	60	41,2
13	24,6	29	32,8	45	38,1		
14	25,3	30	33,1	46	38,4		
15	25,8	31	33,5	47	38,5		



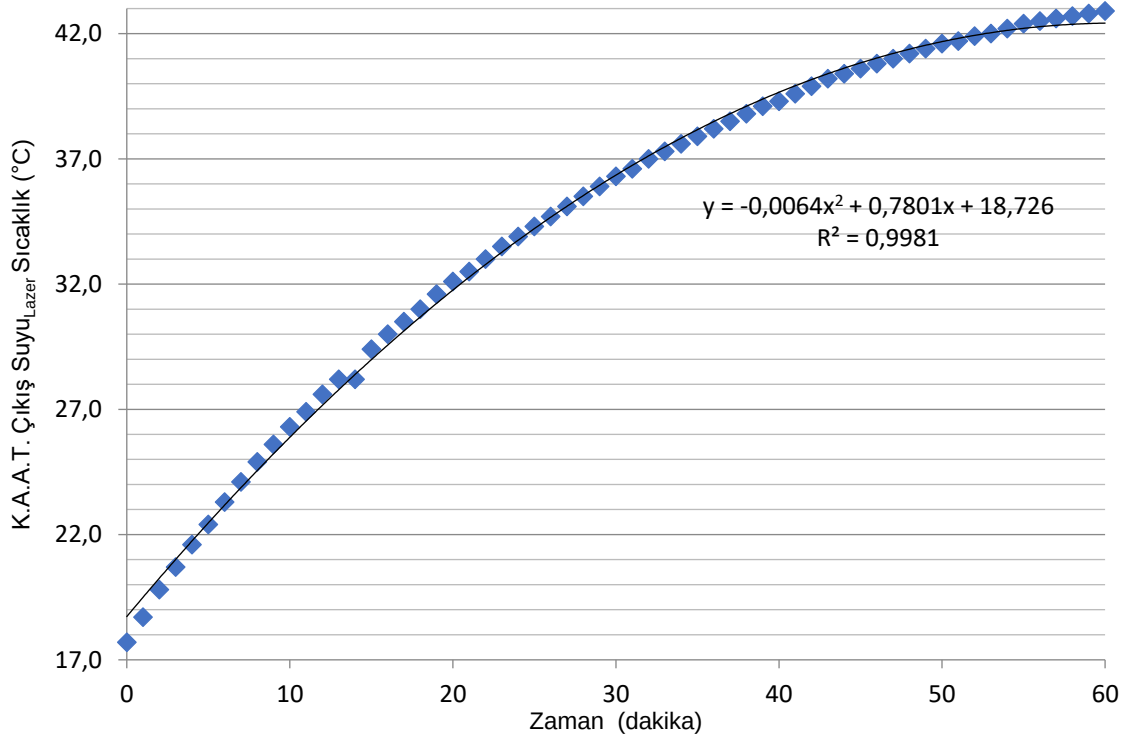
Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)
0	16,5	16	28,1
1	17,7	17	28,6
2	18,2	18	29,1
3	19,0	19	29,7
4	19,6	20	30,2
5	20,5	21	30,6
6	21,4	22	31,1
7	22,3	23	31,6
8	22,9	24	32,0
9	23,6	25	32,5
10	24,3	26	33,0
11	24,9	27	33,3
12	25,6	28	33,7
13	26,3	29	34,2
14	27,0	30	34,6
15	27,5		



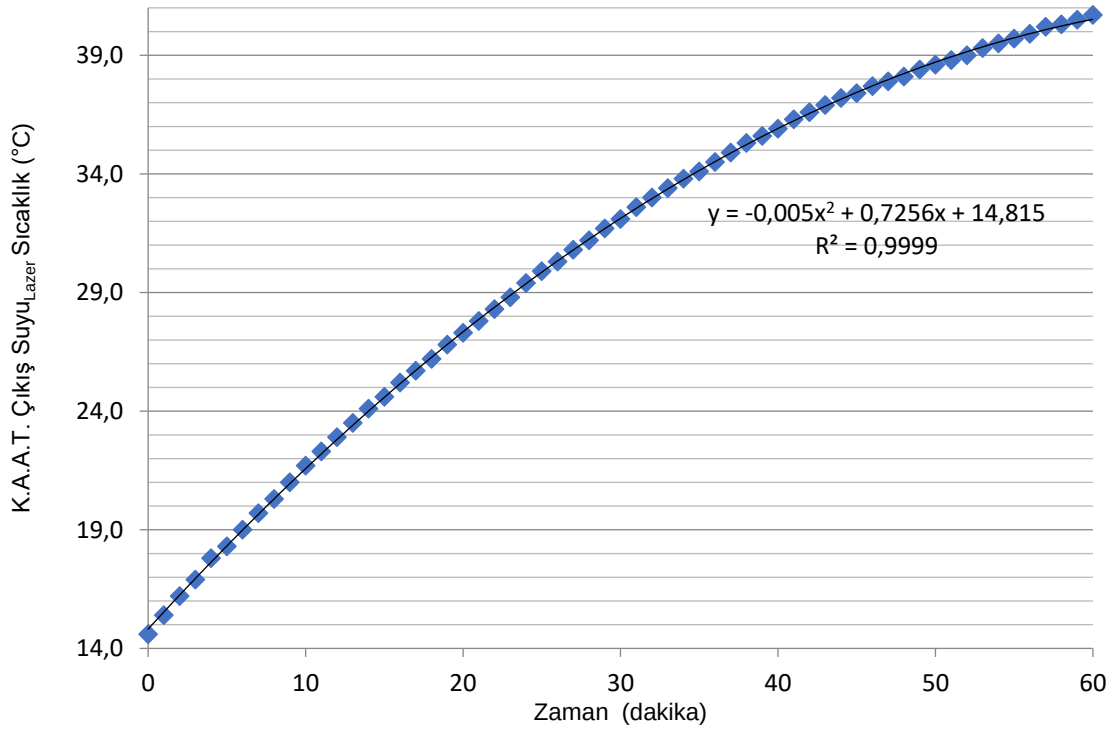
Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)
0	17,9	16	29,4	32	35,8	48	40,3
1	18,7	17	30,0	33	36,1	49	40,4
2	19,6	18	30,5	34	36,4	50	40,5
3	20,3	19	31,0	35	36,8	51	40,7
4	21,0	20	31,5	36	37,1	52	40,9
5	21,8	21	32,0	37	37,4	53	41,0
6	22,7	22	32,4	38	37,7	54	41,3
7	23,6	23	32,9	39	38,0	55	41,4
8	24,4	24	33,2	40	38,3	56	41,6
9	25,2	25	33,5	41	38,5	57	41,8
10	25,9	26	33,8	42	38,8	58	42,0
11	26,6	27	34,2	43	39,0	59	42,1
12	27,3	28	34,7	44	39,2	60	42,2
13	27,9	29	34,8	45	39,5		
14	28,5	30	35,0	46	39,8		
15	29,0	31	35,5	47	40,1		



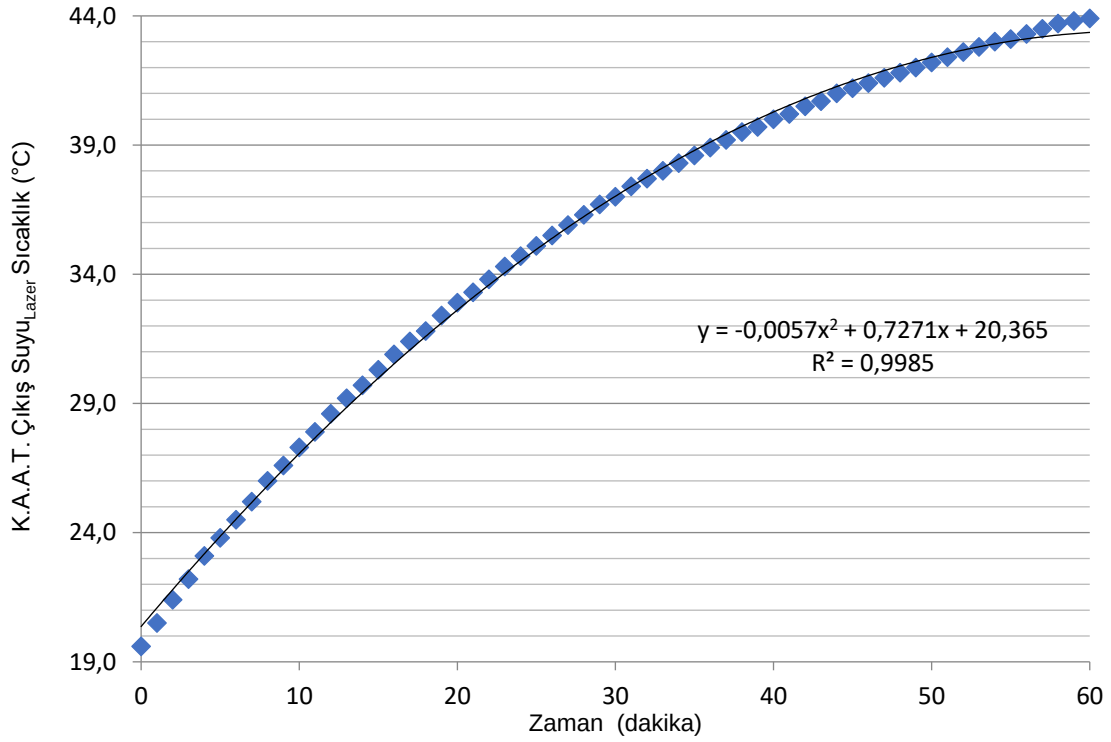
Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)
0	17,7	16	30,0	32	37,0	48	41,2
1	18,7	17	30,5	33	37,3	49	41,4
2	19,8	18	31,0	34	37,6	50	41,6
3	20,7	19	31,6	35	37,9	51	41,7
4	21,6	20	32,1	36	38,2	52	41,9
5	22,4	21	32,5	37	38,5	53	42,0
6	23,3	22	33,0	38	38,8	54	42,2
7	24,1	23	33,5	39	39,1	55	42,4
8	24,9	24	33,9	40	39,3	56	42,5
9	25,6	25	34,3	41	39,6	57	42,6
10	26,3	26	34,7	42	39,9	58	42,7
11	26,9	27	35,1	43	40,2	59	42,8
12	27,6	28	35,5	44	40,4	60	42,9
13	28,2	29	35,9	45	40,6		
14	28,2	30	36,3	46	40,8		
15	29,4	31	36,6	47	41,0		



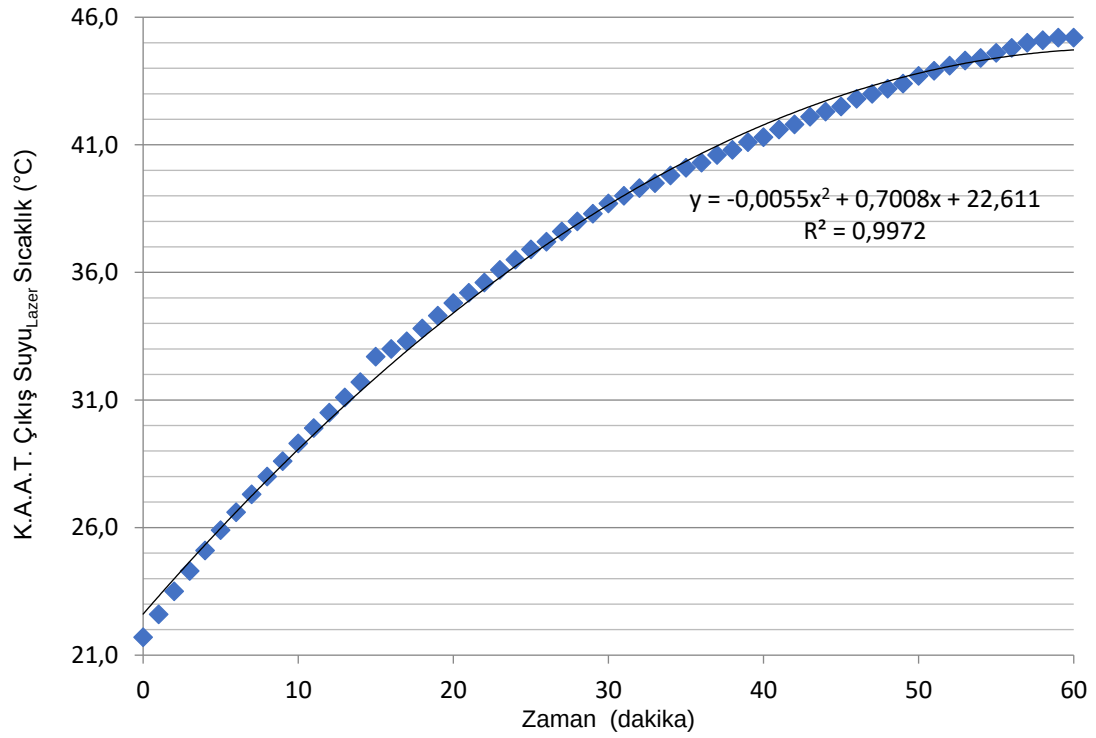
Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)
0	14,6	16	25,2	32	33,0	48	38,1
1	15,4	17	25,7	33	33,4	49	38,4
2	16,2	18	26,2	34	33,8	50	38,6
3	16,9	19	26,8	35	34,1	51	38,8
4	17,8	20	27,3	36	34,5	52	39,0
5	18,3	21	27,8	37	34,9	53	39,3
6	19,0	22	28,3	38	35,3	54	39,5
7	19,7	23	28,8	39	35,6	55	39,7
8	20,3	24	29,4	40	35,9	56	39,9
9	21,0	25	29,9	41	36,3	57	40,2
10	21,7	26	30,3	42	36,6	58	40,3
11	22,3	27	30,8	43	36,9	59	40,5
12	22,9	28	31,2	44	37,2	60	40,7
13	23,5	29	31,7	45	37,4		
14	24,1	30	32,1	46	37,7		
15	24,6	31	32,6	47	37,9		



Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)
0	19,6	16	30,9	32	37,7	48	41,8
1	20,5	17	31,4	33	38,0	49	42,0
2	21,4	18	31,8	34	38,3	50	42,2
3	22,2	19	32,4	35	38,6	51	42,4
4	23,1	20	32,9	36	38,9	52	42,6
5	23,8	21	33,3	37	39,2	53	42,8
6	24,5	22	33,8	38	39,5	54	43,0
7	25,2	23	34,3	39	39,7	55	43,1
8	26,0	24	34,7	40	40,0	56	43,3
9	26,6	25	35,1	41	40,2	57	43,5
10	27,3	26	35,5	42	40,5	58	43,7
11	27,9	27	35,9	43	40,7	59	43,8
12	28,6	28	36,3	44	41,0	60	43,9
13	29,2	29	36,7	45	41,2		
14	29,7	30	37,0	46	41,4		
15	30,3	31	37,4	47	41,6		

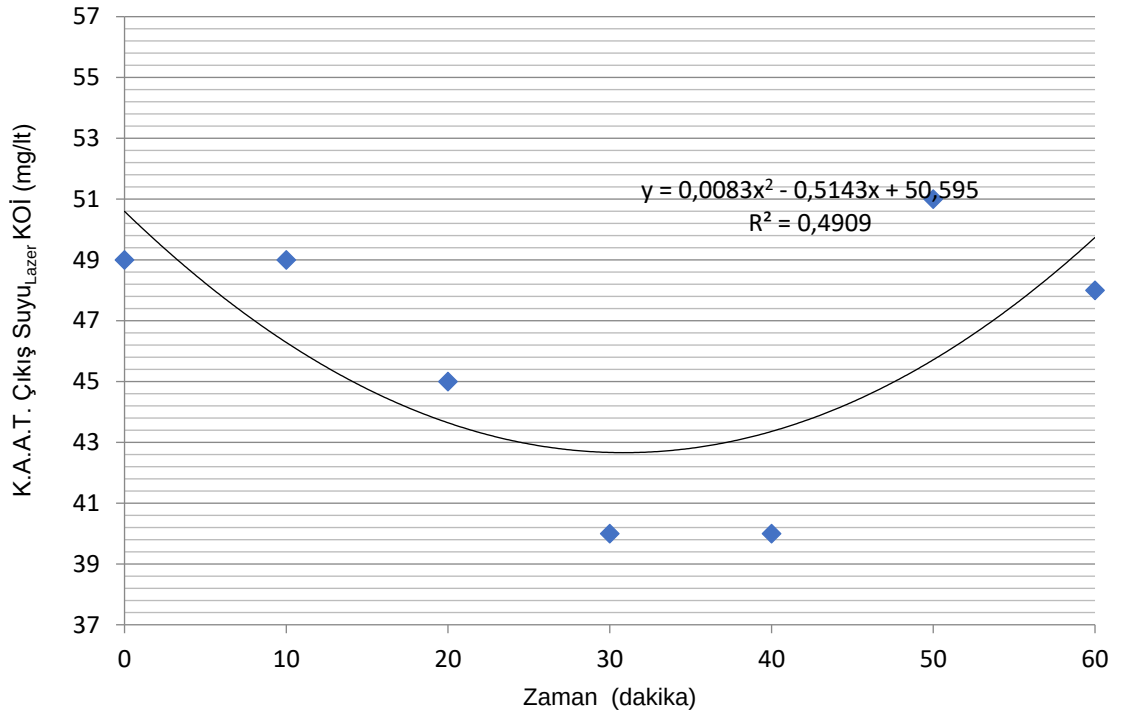


Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)
0	21,7	16	33,0	32	39,3	48	43,2
1	22,6	17	33,3	33	39,5	49	43,4
2	23,5	18	33,8	34	39,8	50	43,7
3	24,3	19	34,3	35	40,1	51	43,9
4	25,1	20	34,8	36	40,3	52	44,1
5	25,9	21	35,2	37	40,6	53	44,3
6	26,6	22	35,6	38	40,8	54	44,4
7	27,3	23	36,1	39	41,1	55	44,6
8	28,0	24	36,5	40	41,3	56	44,8
9	28,6	25	36,9	41	41,6	57	45,0
10	29,3	26	37,2	42	41,8	58	45,1
11	29,9	27	37,6	43	42,1	59	45,2
12	30,5	28	38,0	44	42,3	60	45,2
13	31,1	29	38,3	45	42,5		
14	31,7	30	38,7	46	42,8		
15	32,7	31	39,0	47	43,0		

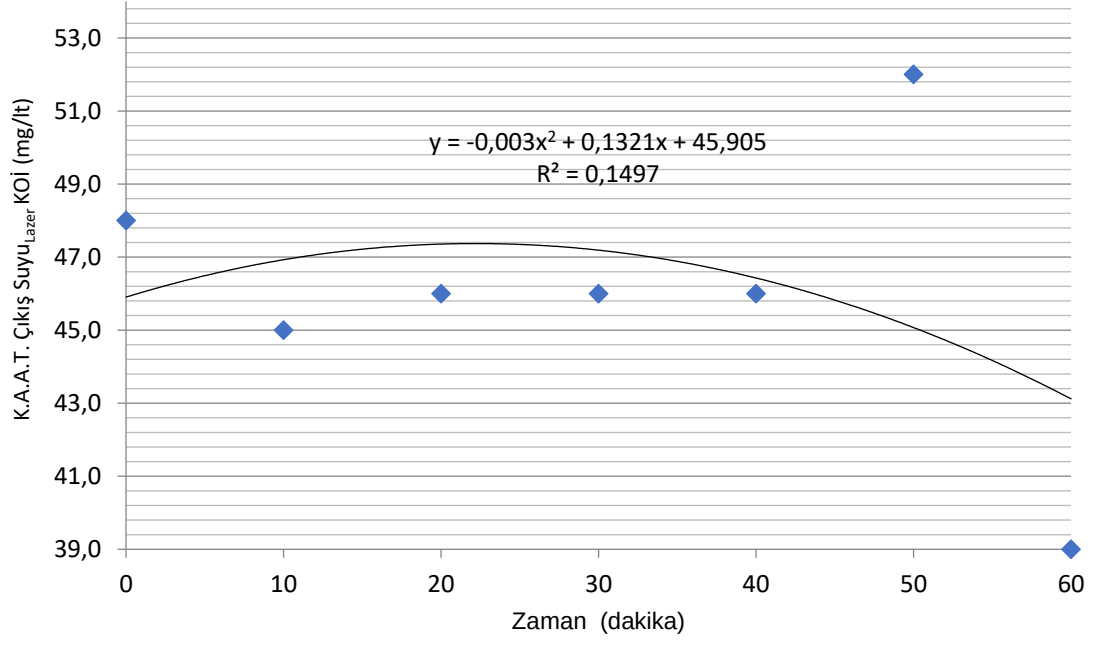


KAAT Çıkış Suyuna Lazer Işını Uygulanması Sonrası KOİ Değişimi (250 ml, 20 W, 40 kHz, 500 mm/s)

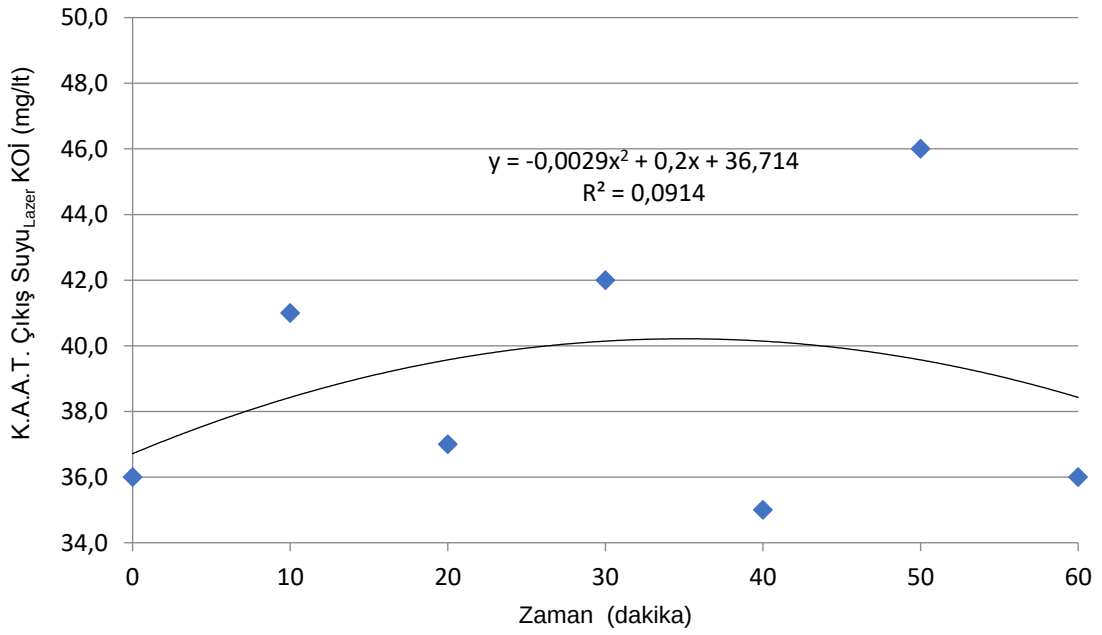
Zaman (dakika)	KOİ (mg/L)
0	49,0
10	49,0
20	45,0
30	40,0
40	40,0
50	51,0
60	48,0



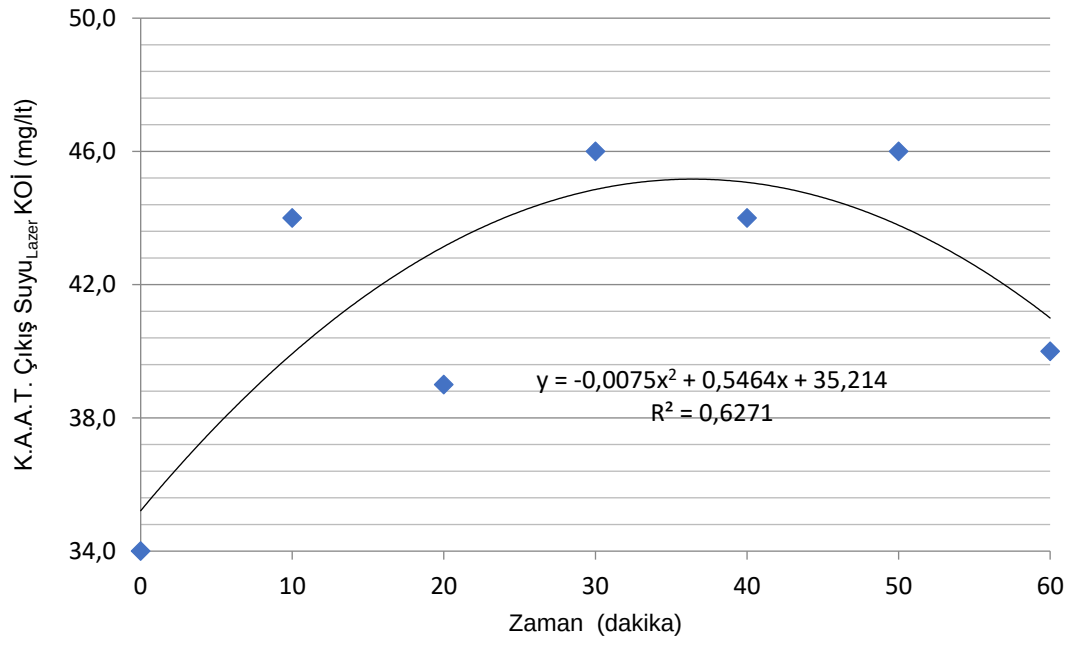
Zaman (dakika)	KOİ (mg/L)
0	48,0
10	45,0
20	46,0
30	46,0
40	46,0
50	52,0
60	39,0



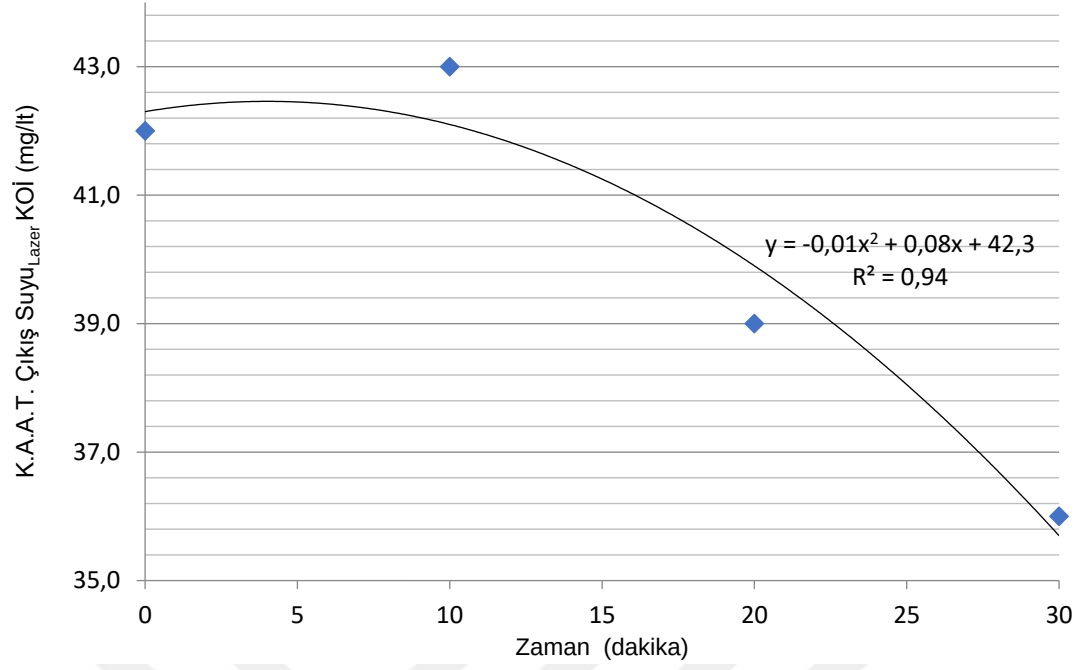
Zaman (dakika)	KOİ (mg/L)
0	36,0
10	41,0
20	37,0
30	42,0
40	35,0
50	46,0
60	36,0



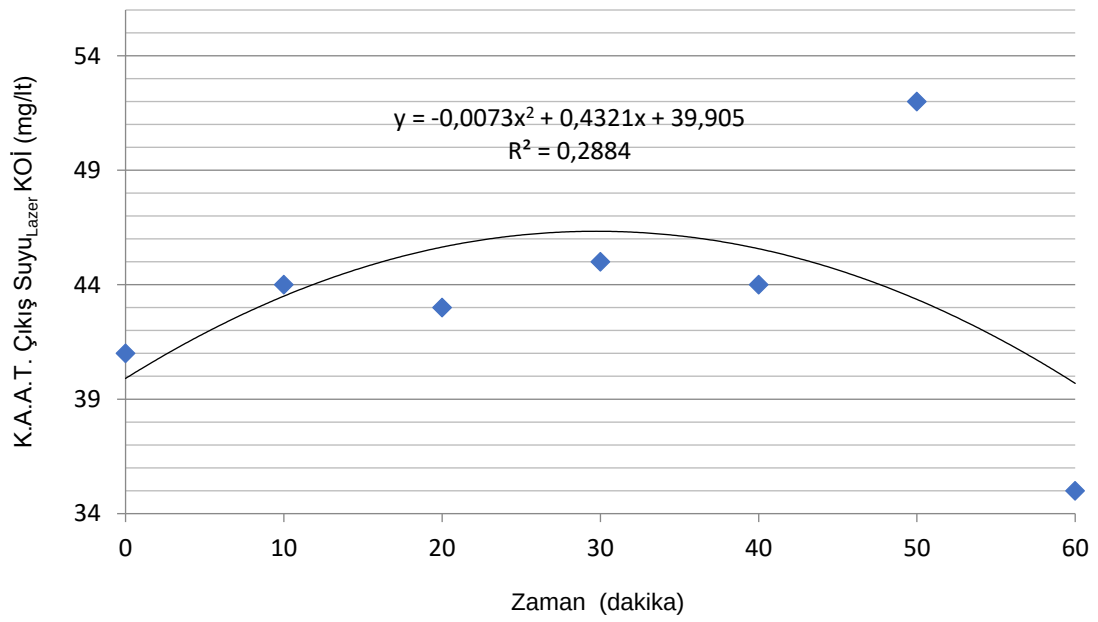
Zaman (dakika)	KOl (mg/L)
0	34,0
10	44,0
20	39,0
30	46,0
40	44,0
50	46,0
60	40,0



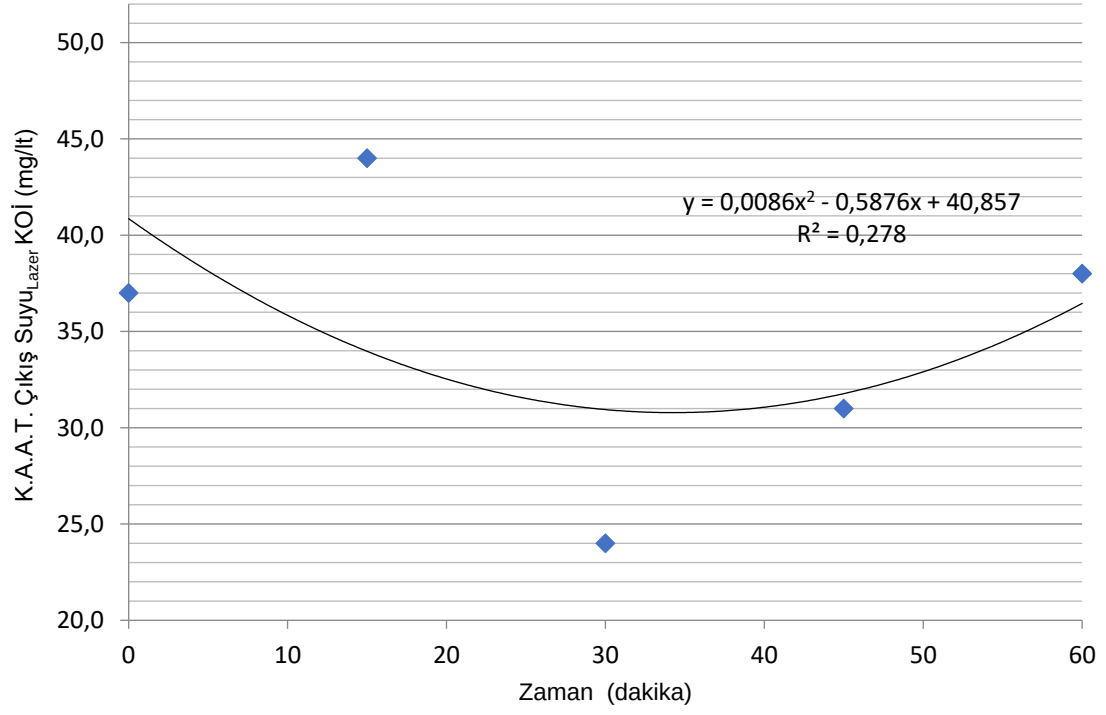
Zaman (dakika)	KOl (mg/L)
0	42,0
10	43,0
20	39,0
30	36,0



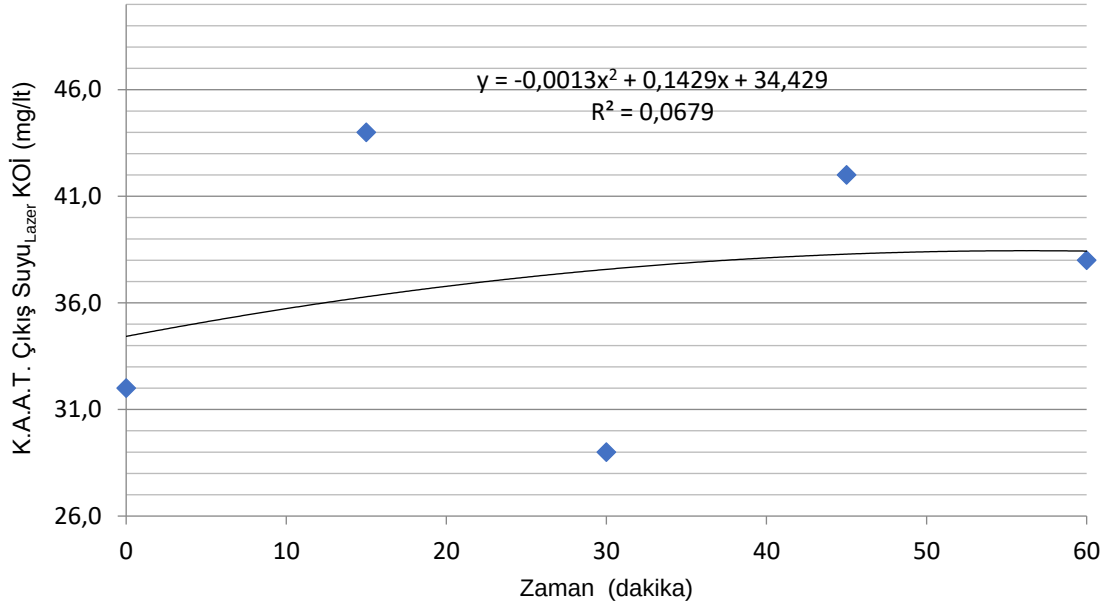
Zaman (dakika)	KOİ (mg/L)
0	41
10	44
20	43
30	45
40	44
50	52
60	35



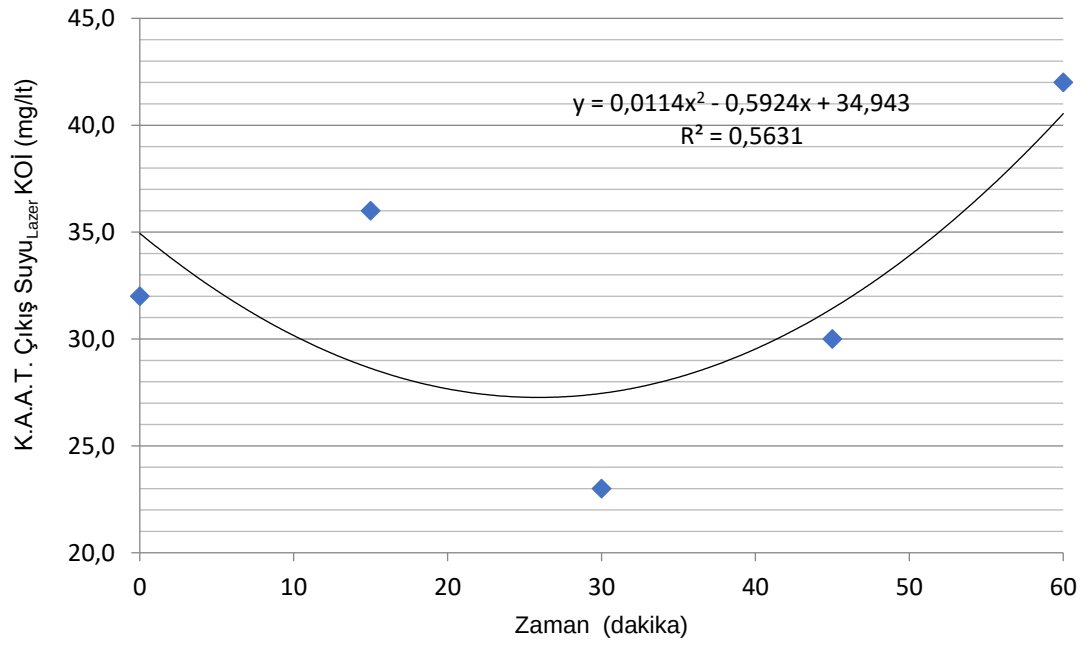
Zaman (dakika)	KOİ (mg/L)
0	37,0
15	44,0
30	24,0
45	31,0
60	38,0



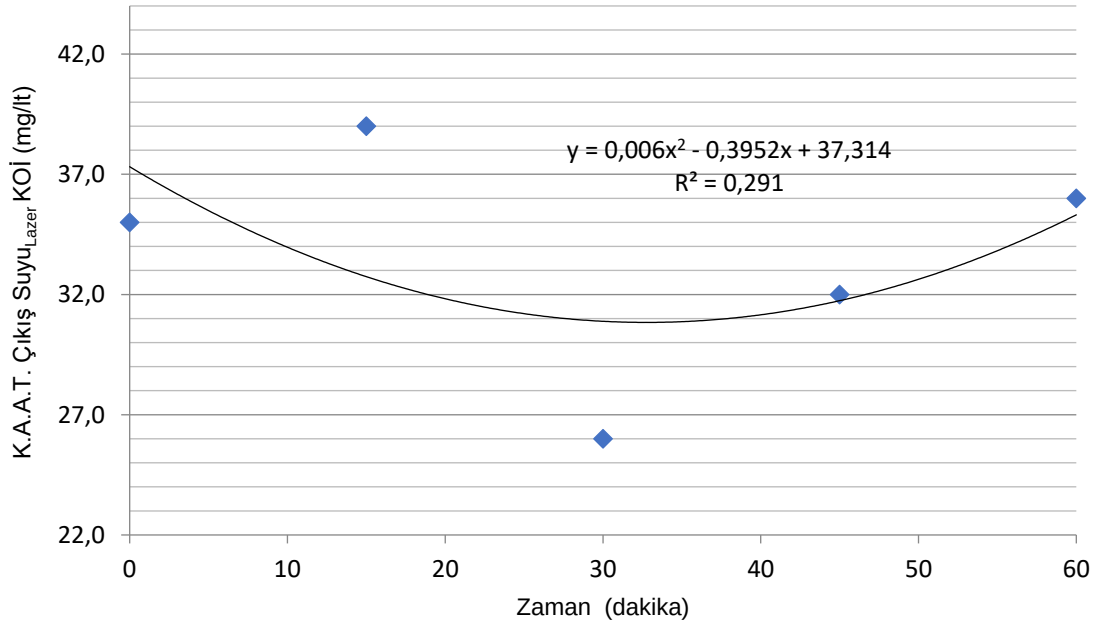
Zaman (dakika)	KOİ (mg/L)
0	32,0
15	44,0
30	29,0
45	42,0
60	38,0



Zaman (dakika)	KOİ (mg/L)
0	32,0
15	36,0
30	23,0
45	30,0
60	42,0



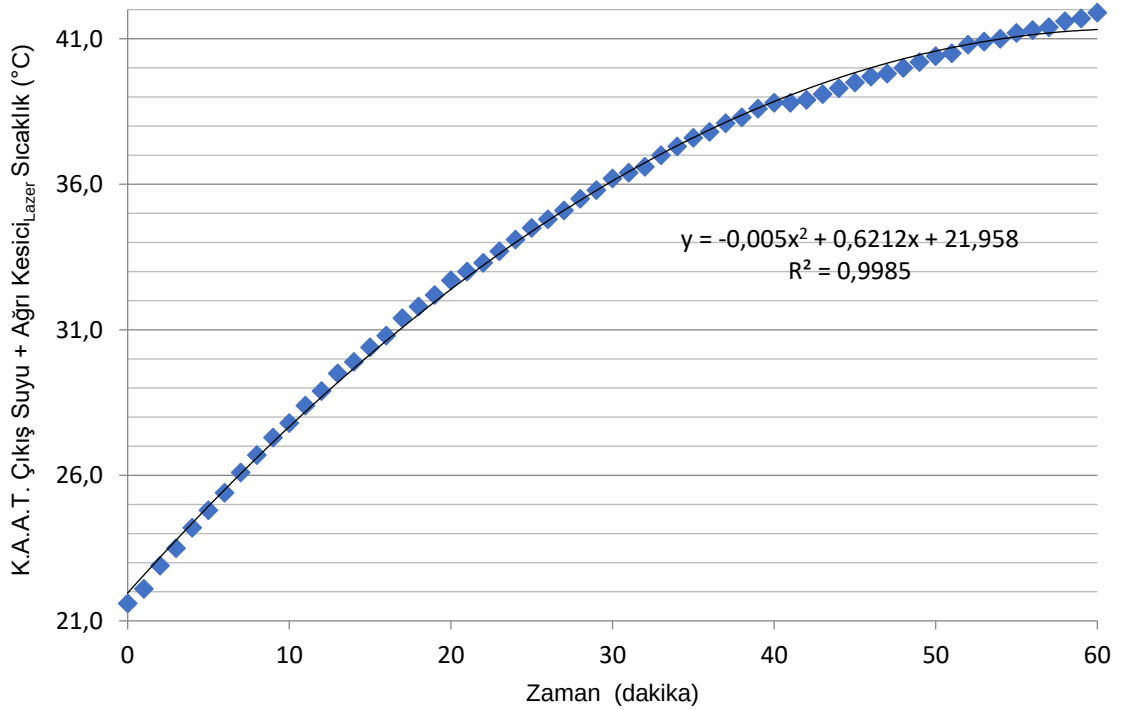
Zaman (dakika)	KOİ (mg/L)
0	35,0
15	39,0
30	26,0
45	32,0
60	36,0



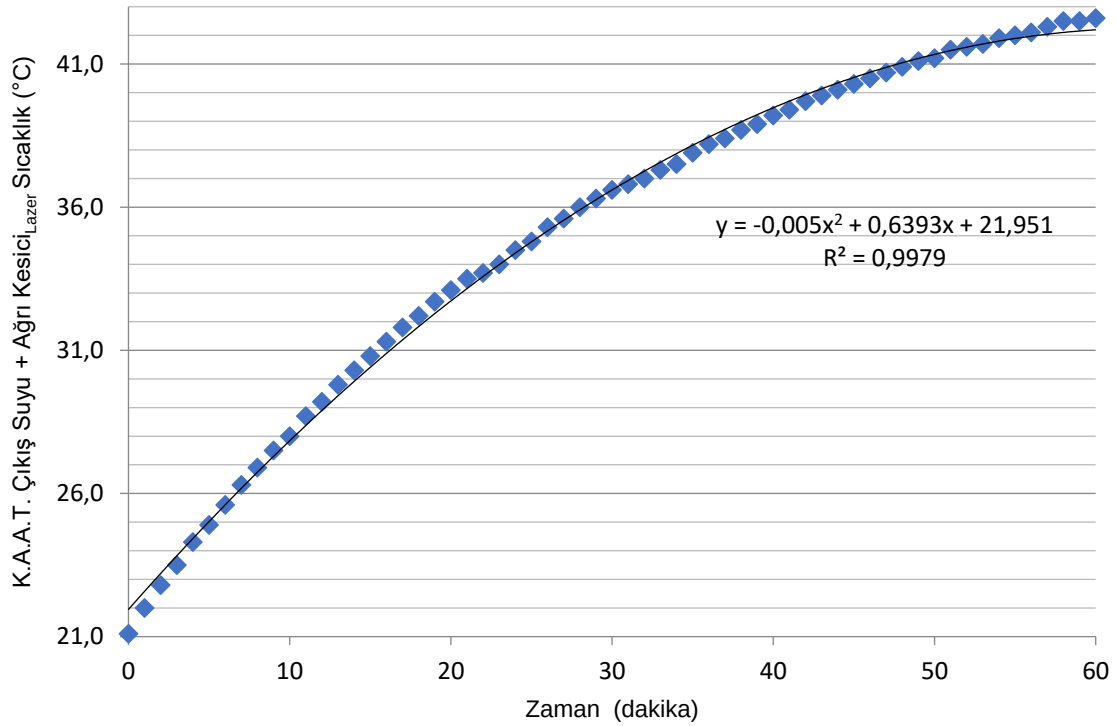
Ek-3 Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi Çıkış Suyuna Ağrı Kesici İlavesi Sonrasında Yapılan Çalışmaları

KAAT Çıkış Suyuna Ağrı Kesici İlavesi Sonrasında Lazer Işını Uygulanması Sırasında Sıcaklık Ölçüm Sonuçları (250 ml, 0,1 gr Ağrı Kesici, 20 W, 40 kHz, 500 mm/s)

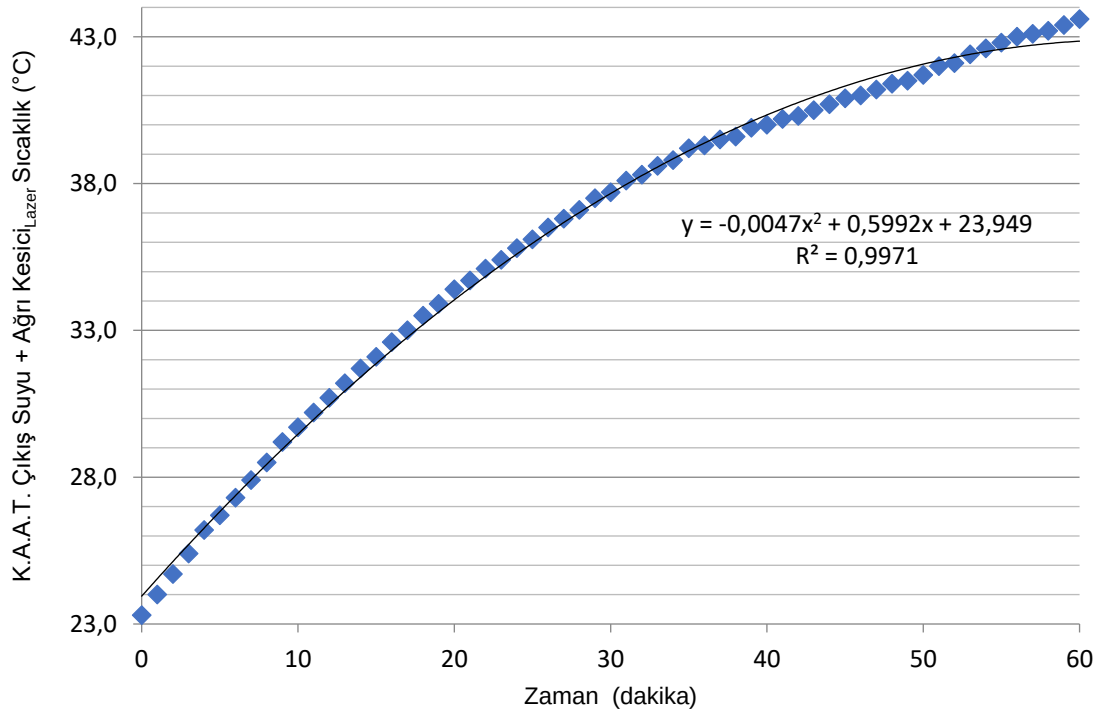
Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)
0	21,6	16	30,8	32	36,6	48	40,0
1	22,1	17	31,4	33	37,0	49	40,2
2	22,9	18	31,8	34	37,3	50	40,4
3	23,5	19	32,2	35	37,6	51	40,5
4	24,2	20	32,7	36	37,8	52	40,8
5	24,8	21	33,0	37	38,1	53	40,9
6	25,4	22	33,3	38	38,3	54	41,0
7	26,1	23	33,7	39	38,6	55	41,2
8	26,7	24	34,1	40	38,8	56	41,3
9	27,3	25	34,5	41	38,8	57	41,4
10	27,8	26	34,8	42	38,9	58	41,6
11	28,4	27	35,1	43	39,1	59	41,7
12	28,9	28	35,5	44	39,3	60	41,9
13	29,5	29	35,8	45	39,5		
14	29,9	30	36,2	46	39,7		
15	30,4	31	36,4	47	39,8		



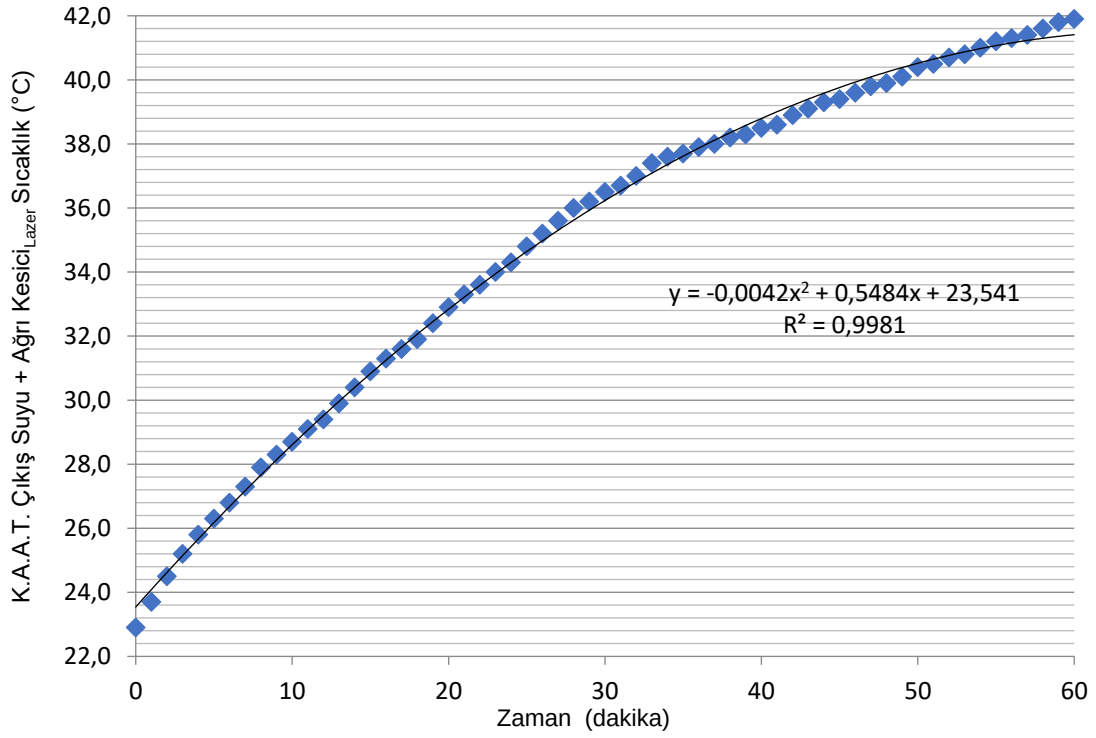
Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)
0	21,1	16	31,3	32	37,0	48	40,9
1	22,0	17	31,8	33	37,3	49	41,1
2	22,8	18	32,2	34	37,5	50	41,2
3	23,5	19	32,7	35	37,9	51	41,5
4	24,3	20	33,1	36	38,2	52	41,6
5	24,9	21	33,5	37	38,4	53	41,7
6	25,6	22	33,7	38	38,7	54	41,9
7	26,3	23	34,0	39	38,9	55	42,0
8	26,9	24	34,5	40	39,2	56	42,1
9	27,5	25	34,8	41	39,4	57	42,3
10	28,0	26	35,3	42	39,7	58	42,5
11	28,7	27	35,6	43	39,9	59	42,5
12	29,2	28	36,0	44	40,1	60	42,6
13	29,8	29	36,3	45	40,3		
14	30,3	30	36,6	46	40,5		
15	30,8	31	36,8	47	40,7		



Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)
0	23,3	16	32,6	32	38,3	48	41,4
1	24,0	17	33,0	33	38,6	49	41,5
2	24,7	18	33,5	34	38,8	50	41,7
3	25,4	19	33,9	35	39,2	51	42,0
4	26,2	20	34,4	36	39,3	52	42,1
5	26,7	21	34,7	37	39,5	53	42,4
6	27,3	22	35,1	38	39,6	54	42,6
7	27,9	23	35,4	39	39,9	55	42,8
8	28,5	24	35,8	40	40,0	56	43,0
9	29,2	25	36,1	41	40,2	57	43,1
10	29,7	26	36,5	42	40,3	58	43,2
11	30,2	27	36,8	43	40,5	59	43,4
12	30,7	28	37,1	44	40,7	60	43,6
13	31,2	29	37,5	45	40,9		
14	31,7	30	37,7	46	41,0		
15	32,1	31	38,1	47	41,2		

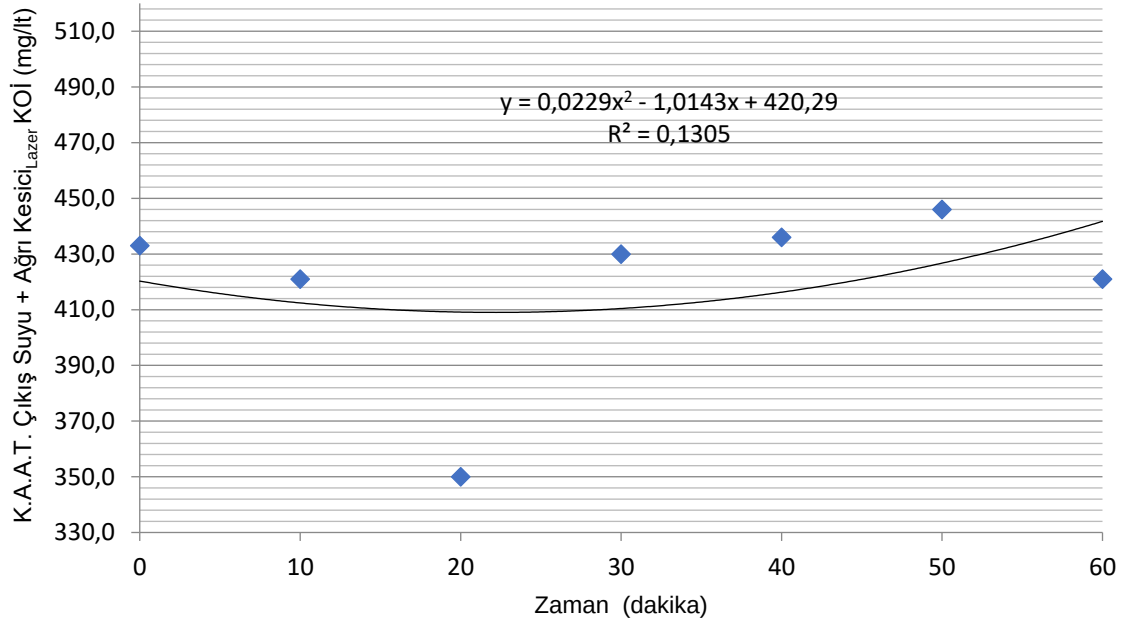


Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)
0	22,9	16	31,3	32	37,0	48	39,9
1	23,7	17	31,6	33	37,4	49	40,1
2	24,5	18	31,9	34	37,6	50	40,4
3	25,2	19	32,4	35	37,7	51	40,5
4	25,8	20	32,9	36	37,9	52	40,7
5	26,3	21	33,3	37	38,0	53	40,8
6	26,8	22	33,6	38	38,2	54	41,0
7	27,3	23	34,0	39	38,3	55	41,2
8	27,9	24	34,3	40	38,5	56	41,3
9	28,3	25	34,8	41	38,6	57	41,4
10	28,7	26	35,2	42	38,9	58	41,6
11	29,1	27	35,6	43	39,1	59	41,8
12	29,4	28	36,0	44	39,3	60	41,9
13	29,9	29	36,2	45	39,4		
14	30,4	30	36,5	46	39,6		
15	30,9	31	36,7	47	39,8		

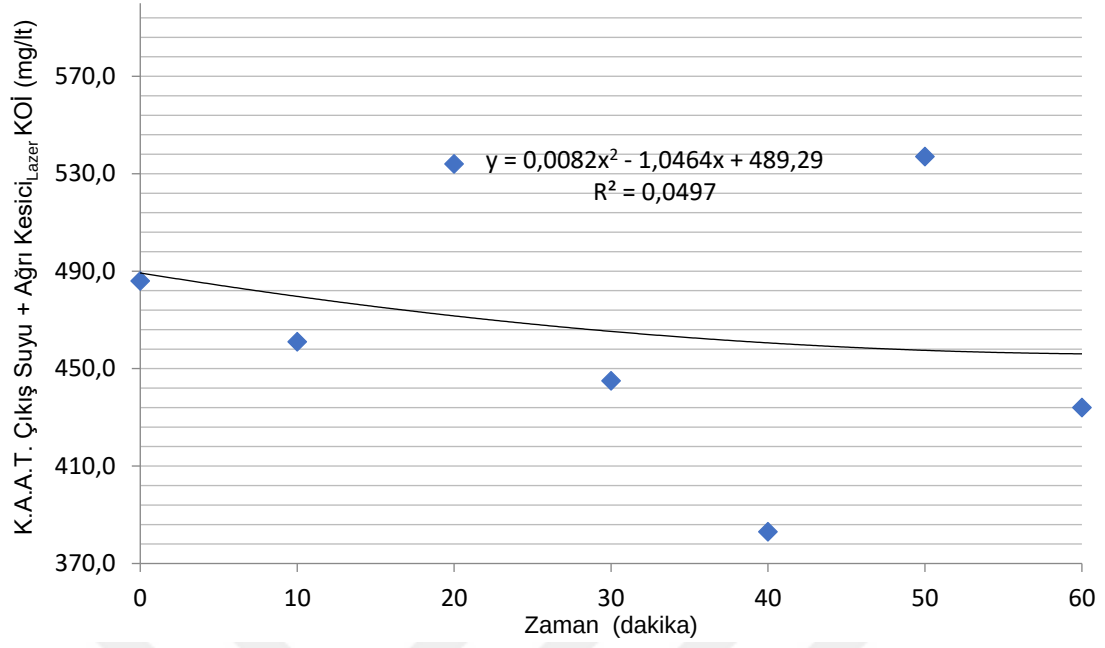


KAAT Çıkış Suyuna Ağrı Kesici İlavesi Sonrasında Lazer Işını Uygulanması Sırasında KOİ Ölçüm Sonuçları (250 ml, 0,1 gr Ağrı Kesici, 20 W, 40 kHz kHz, 500 mm/s)

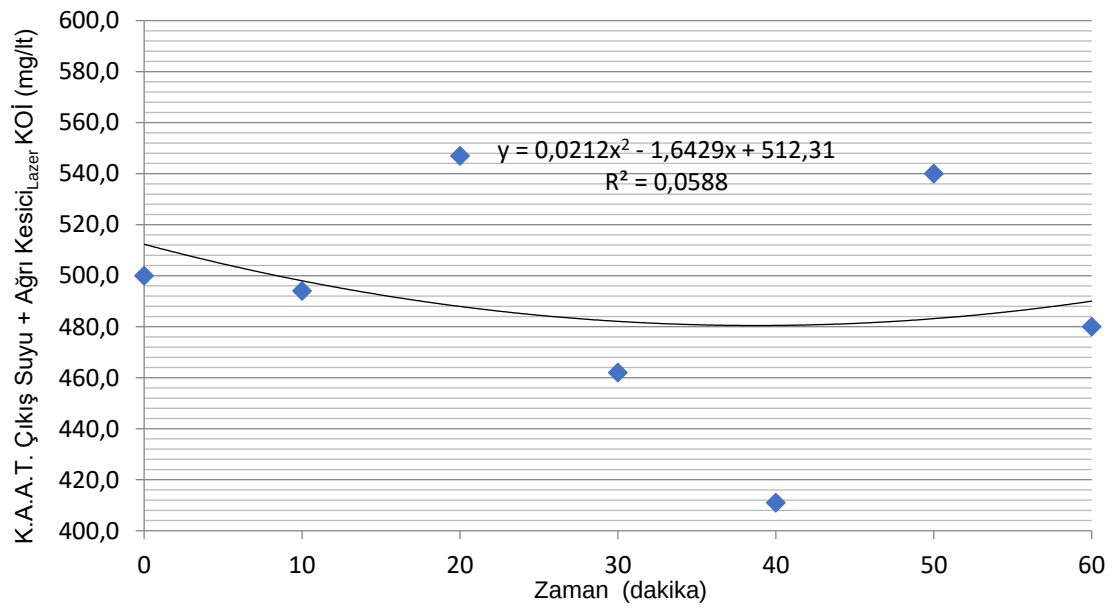
Zaman (dakika)	KOİ (mg/L)
0	433,0
10	421,0
20	350,0
30	430,0
40	436,0
50	446,0
60	421,0



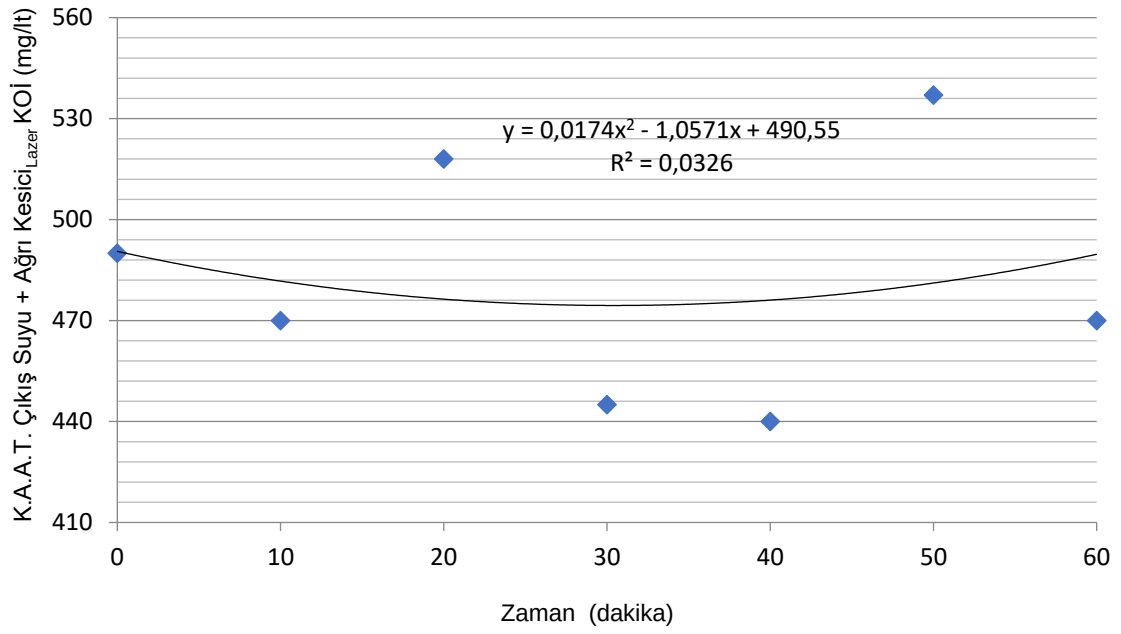
Zaman (dakika)	KOİ (mg/L)
0	486,0
10	461,0
20	534,0
30	445,0
40	383,0
50	537,0
60	434,0



Zaman (dakika)	KOİ (mg/L)
0	500,0
10	494,0
20	547,0
30	462,0
40	411,0
50	540,0
60	480,0



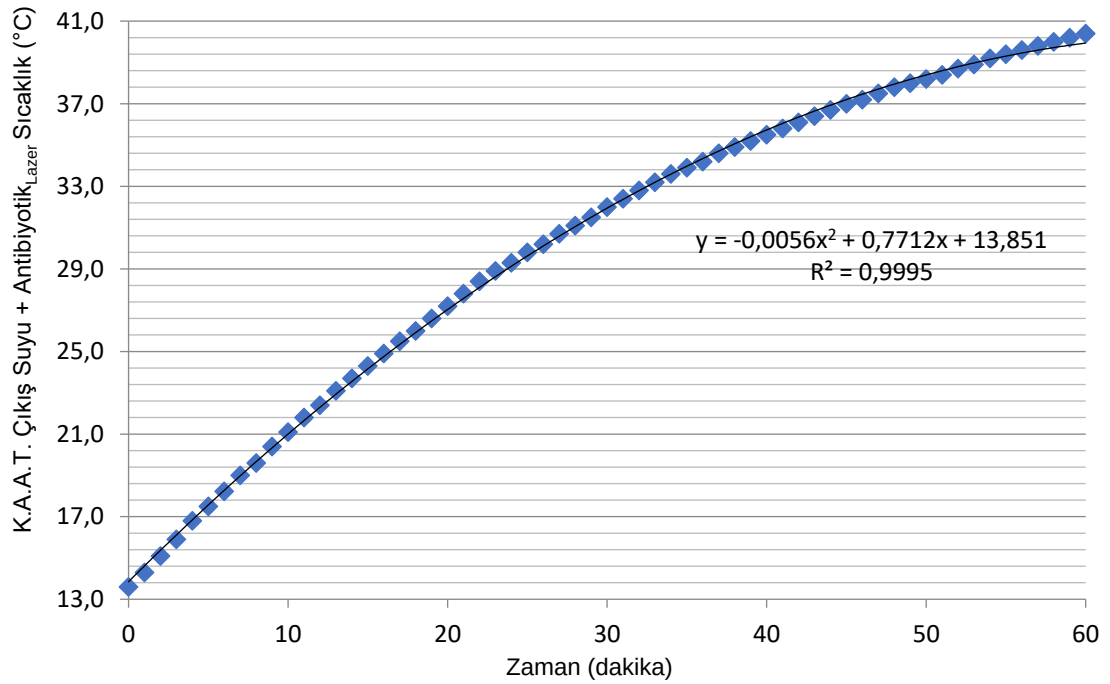
Zaman (dakika)	KOİ (mg/L)
0	490,0
10	470,0
20	518,0
30	445,0
40	440,0
50	537,0
60	470,0



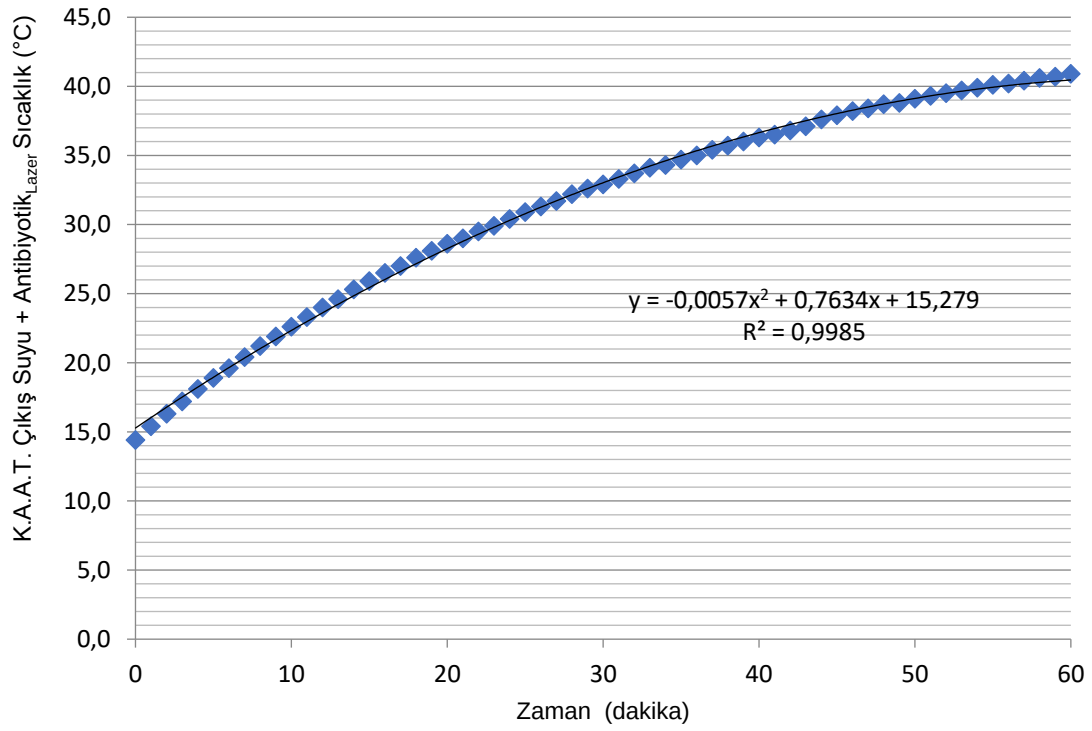
Ek-4 Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi Çıkış Suyuna Antibiyotik İlavesi Sonrasında Yapılan Çalışmaları

KAAT Çıkış Suyuna Antibiyotik İlavesi Sonrasında Lazer Işını Uygulanması Sırasında Sıcaklık Ölçüm Sonuçları (250 ml, 0,1 gr Ağrı Kesici, 20 W, 40 kHz, 500 mm/s)

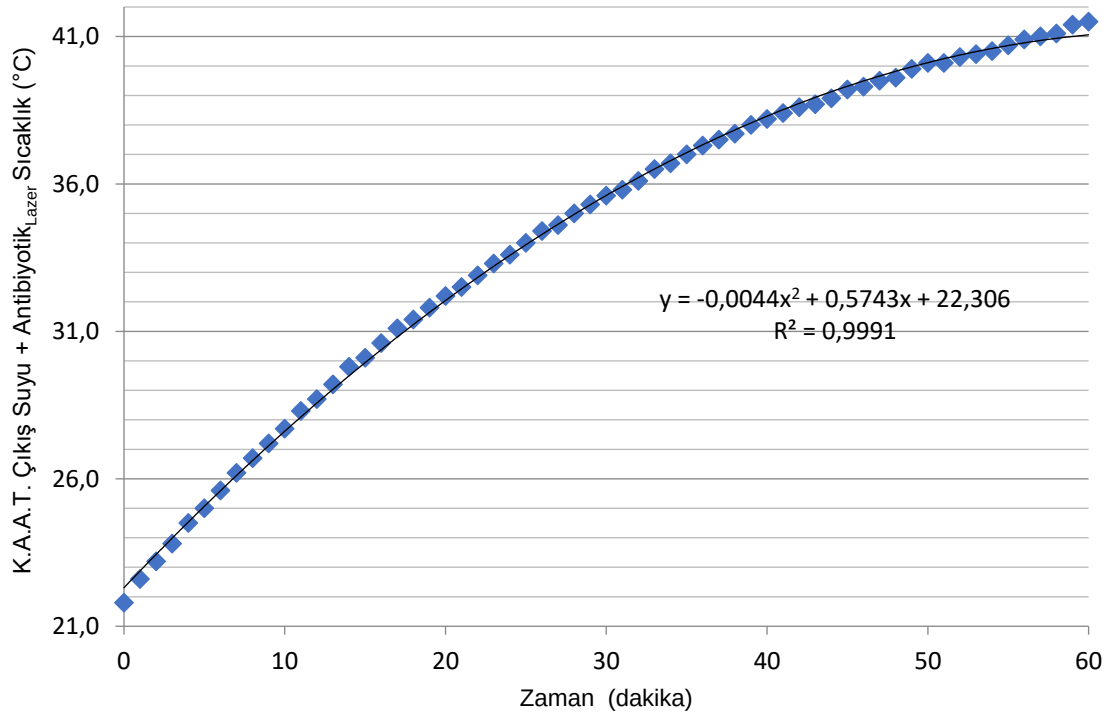
Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)
0	13,6	16	24,9	32	32,8	48	37,8
1	14,3	17	25,5	33	33,2	49	38,0
2	15,1	18	26,0	34	33,6	50	38,2
3	15,9	19	26,6	35	33,9	51	38,4
4	16,8	20	27,2	36	34,2	52	38,7
5	17,5	21	27,8	37	34,6	53	38,9
6	18,2	22	28,4	38	34,9	54	39,2
7	19,0	23	28,9	39	35,2	55	39,4
8	19,6	24	29,3	40	35,5	56	39,6
9	20,4	25	29,8	41	35,8	57	39,8
10	21,1	26	30,2	42	36,1	58	40,0
11	21,8	27	30,7	43	36,4	59	40,2
12	22,4	28	31,1	44	36,7	60	40,4
13	23,1	29	31,5	45	37,0		
14	23,7	30	32,0	46	37,2		
15	24,3	31	32,4	47	37,5		



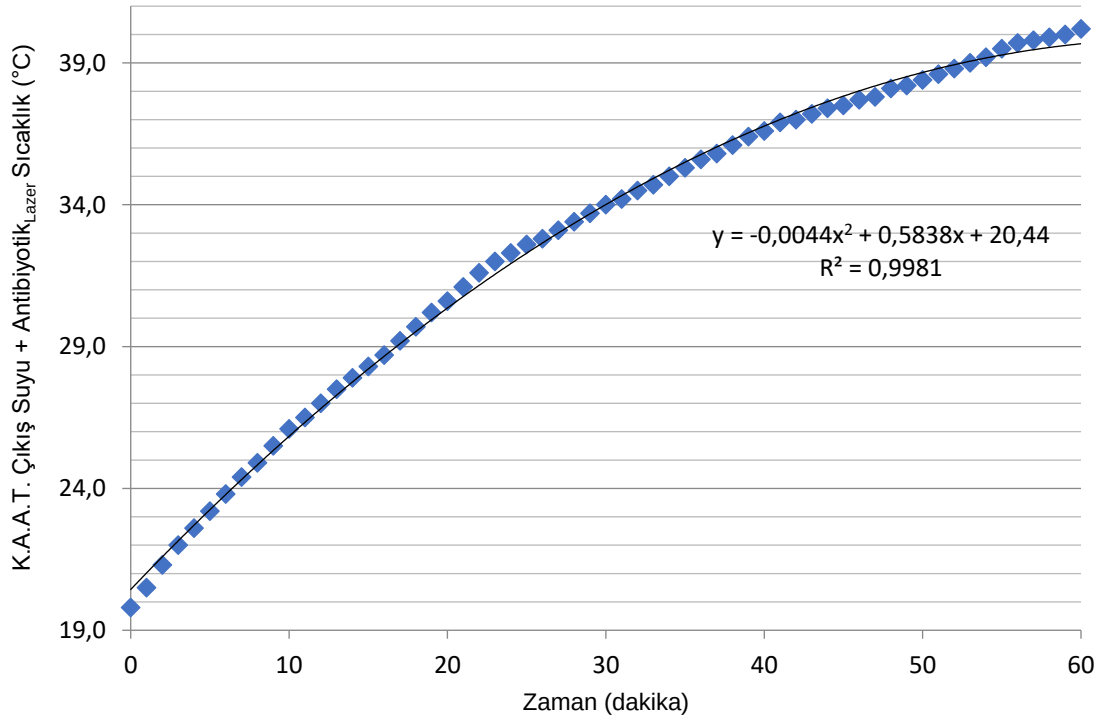
Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)
0	14,4	16	26,5	32	33,7	48	38,7
1	15,4	17	27,0	33	34,1	49	38,8
2	16,3	18	27,6	34	34,3	50	39,1
3	17,2	19	28,1	35	34,7	51	39,3
4	18,1	20	28,6	36	35,0	52	39,5
5	18,9	21	29,0	37	35,4	53	39,7
6	19,6	22	29,5	38	35,7	54	39,9
7	20,4	23	29,9	39	36,0	55	40,1
8	21,2	24	30,4	40	36,3	56	40,2
9	21,9	25	30,9	41	36,5	57	40,4
10	22,6	26	31,3	42	36,8	58	40,6
11	23,3	27	31,7	43	37,1	59	40,7
12	24,0	28	32,2	44	37,6	60	40,9
13	24,6	29	32,6	45	37,9		
14	25,3	30	32,9	46	38,2		
15	25,9	31	33,3	47	38,4		



Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)
0	21,8	16	30,6	32	36,1	48	39,6
1	22,6	17	31,1	33	36,5	49	39,9
2	23,2	18	31,4	34	36,7	50	40,1
3	23,8	19	31,8	35	37,0	51	40,1
4	24,5	20	32,2	36	37,3	52	40,3
5	25,0	21	32,5	37	37,5	53	40,4
6	25,6	22	32,9	38	37,7	54	40,5
7	26,2	23	33,3	39	38,0	55	40,7
8	26,7	24	33,6	40	38,2	56	40,9
9	27,2	25	34,0	41	38,4	57	41,0
10	27,7	26	34,4	42	38,6	58	41,1
11	28,3	27	34,6	43	38,7	59	41,4
12	28,7	28	35,0	44	38,9	60	41,5
13	29,2	29	35,3	45	39,2		
14	29,8	30	35,6	46	39,3		
15	30,1	31	35,8	47	39,5		

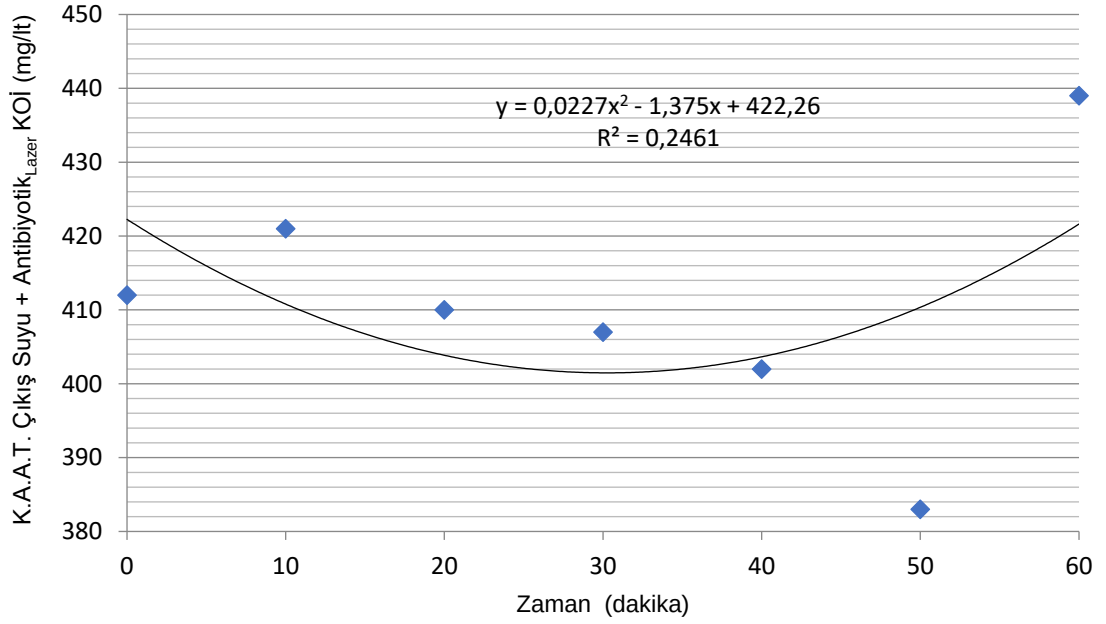


Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)
0	19,8	16	28,7	32	34,5	48	38,1
1	20,5	17	29,2	33	34,7	49	38,2
2	21,3	18	29,7	34	35,0	50	38,4
3	22,0	19	30,2	35	35,3	51	38,6
4	22,6	20	30,6	36	35,6	52	38,8
5	23,2	21	31,1	37	35,8	53	39,0
6	23,8	22	31,6	38	36,1	54	39,2
7	24,4	23	32,0	39	36,4	55	39,5
8	24,9	24	32,3	40	36,6	56	39,7
9	25,5	25	32,6	41	36,9	57	39,8
10	26,1	26	32,8	42	37,0	58	39,9
11	26,5	27	33,1	43	37,2	59	40,0
12	27,0	28	33,4	44	37,4	60	40,2
13	27,5	29	33,7	45	37,5		
14	27,9	30	34,0	46	37,7		
15	28,3	31	34,2	47	37,8		

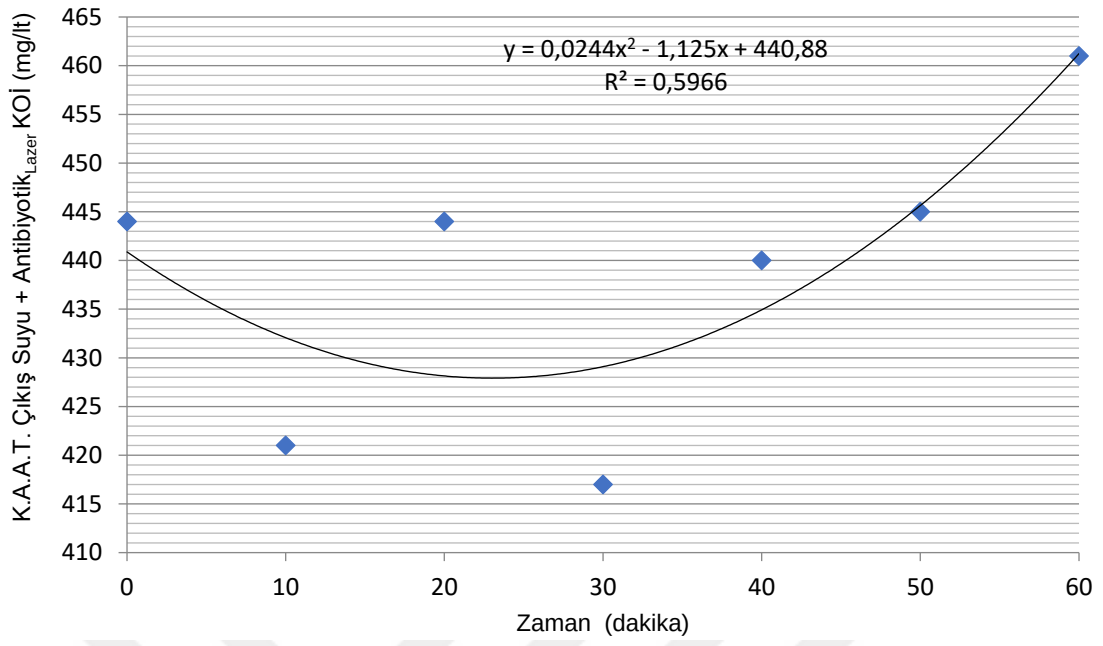


KAAT Çıkış Suyuna Antibiyotik İlavesi Sonrasında Lazer Işını Uygulanması Sırasında KOİ Ölçüm Sonuçları (250 ml, 0,1 gr Ağrı Kesici, 20 W, 40 kHz, 500 mm/s)

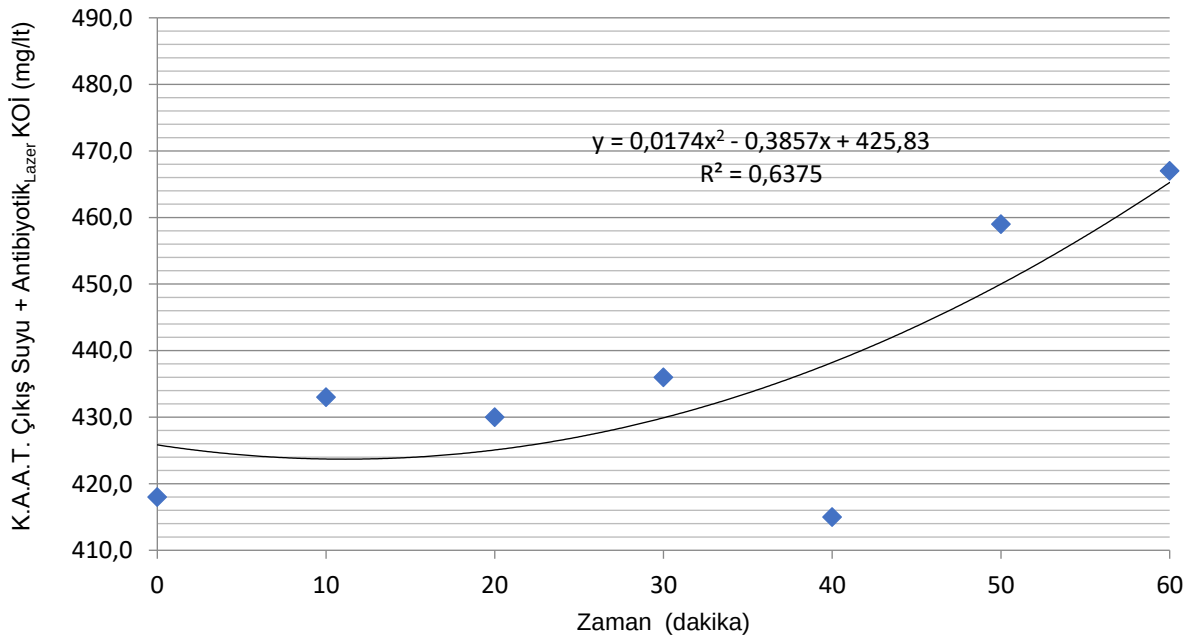
Zaman (dakika)	KOİ (mg/L)
0	412
10	421
20	410
30	407
40	402
50	383
60	439



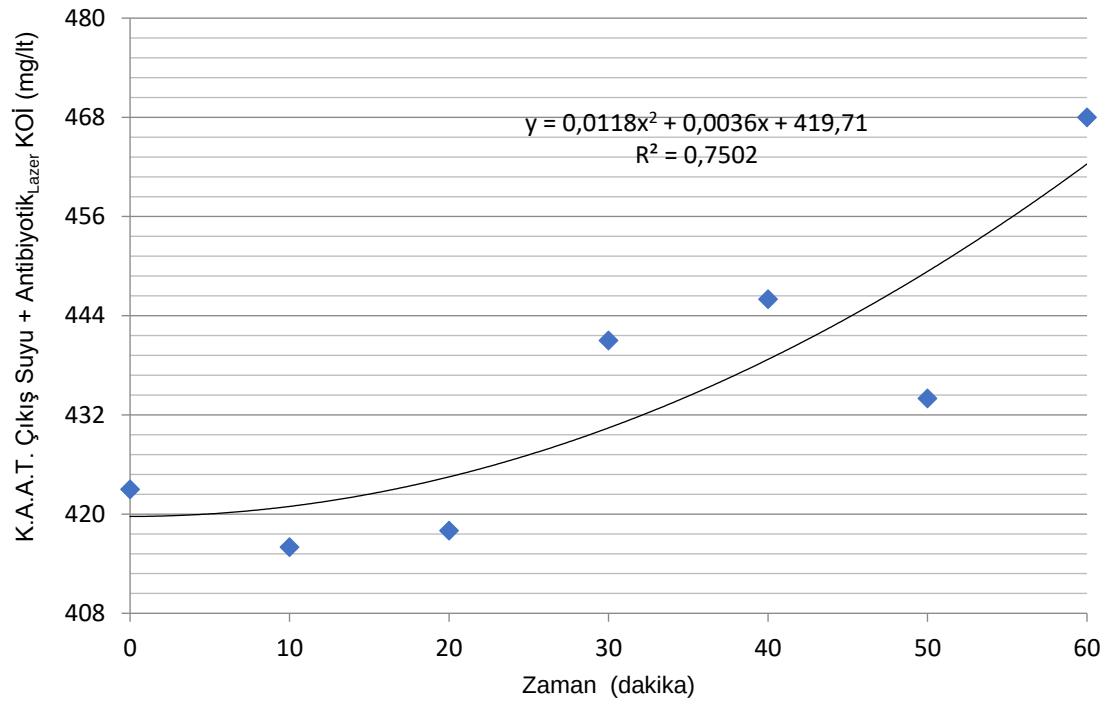
Zaman (dakika)	KOİ (mg/L)
0	444
10	421
20	444
30	417
40	440
50	445
60	461



Zaman (dakika)	KOİ (mg/L)
0	418,0
10	433,0
20	430,0
30	436,0
40	415,0
50	459,0
60	467,0



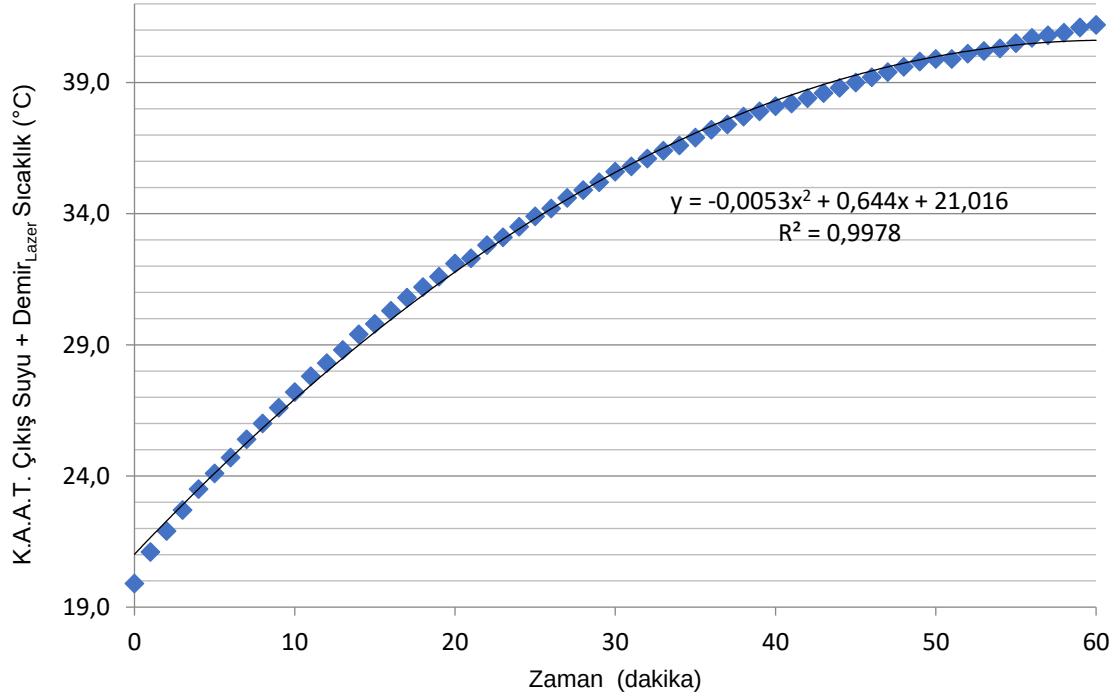
Zaman (dakika)	KOİ (mg/L)
0	423
10	416
20	418
30	441
40	446
50	434
60	468



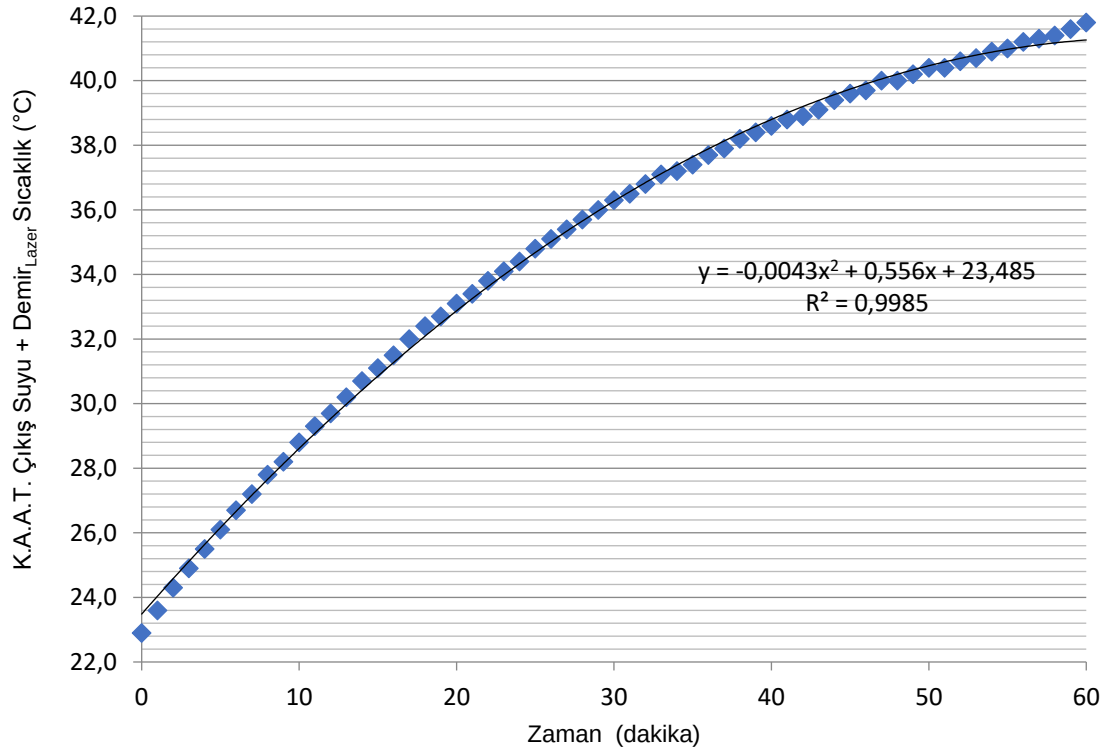
Ek-5 Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi Çıkış Suyuna Demir İlavesi Sonrasında Yapılan Çalışmaları

KAAT Çıkış Suyuna Demir İlavesi Sonrasında Lazer Işını Uygulanması Sırasında Sıcaklık Ölçüm Sonuçları (250 ml, 0,1 gr FeSO₄.7H₂O, 20 W, 40 kHz, 500 mm/s)

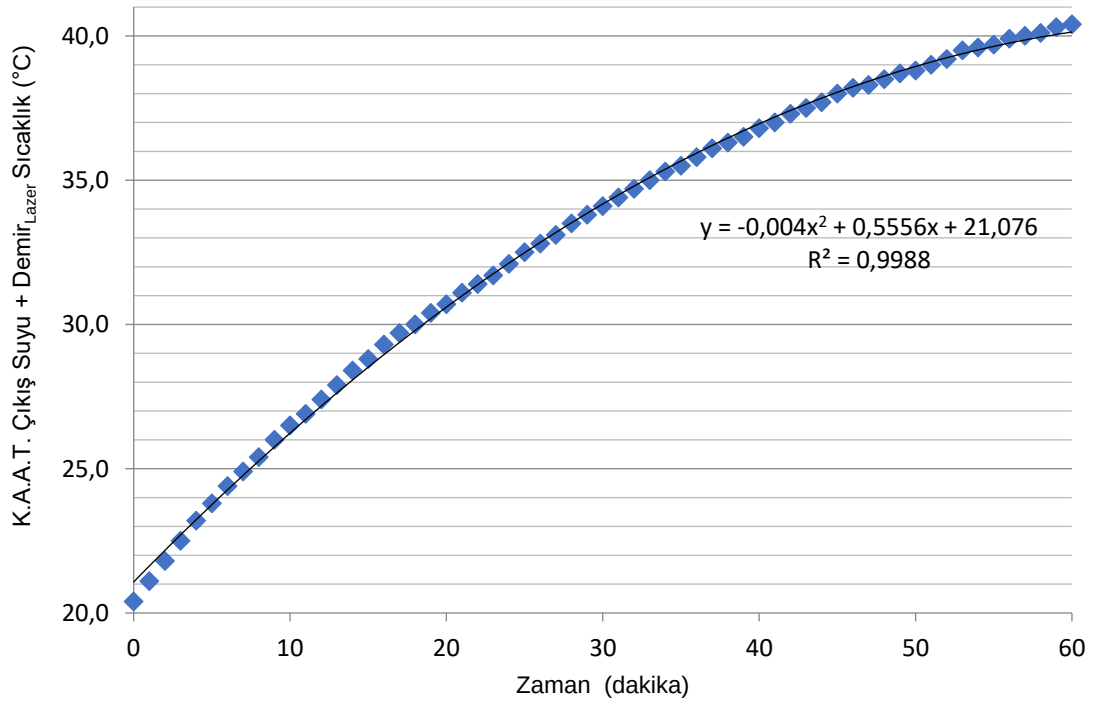
Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)
0	19,9	16	30,3	32	36,1	48	39,6
1	21,1	17	30,8	33	36,4	49	39,8
2	21,9	18	31,2	34	36,6	50	39,9
3	22,7	19	31,6	35	36,9	51	39,9
4	23,5	20	32,1	36	37,2	52	40,1
5	24,1	21	32,3	37	37,4	53	40,2
6	24,7	22	32,8	38	37,7	54	40,3
7	25,4	23	33,1	39	37,9	55	40,5
8	26,0	24	33,5	40	38,1	56	40,7
9	26,6	25	33,9	41	38,2	57	40,8
10	27,2	26	34,2	42	38,4	58	40,9
11	27,8	27	34,6	43	38,6	59	41,1
12	28,3	28	34,9	44	38,8	60	41,2
13	28,8	29	35,2	45	39,0		
14	29,4	30	35,6	46	39,2		
15	29,8	31	35,8	47	39,4		



Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)
0	22,9	16	31,5	32	36,8	48	40,0
1	23,6	17	32,0	33	37,1	49	40,2
2	24,3	18	32,4	34	37,2	50	40,4
3	24,9	19	32,7	35	37,4	51	40,4
4	25,5	20	33,1	36	37,7	52	40,6
5	26,1	21	33,4	37	37,9	53	40,7
6	26,7	22	33,8	38	38,2	54	40,9
7	27,2	23	34,1	39	38,4	55	41,0
8	27,8	24	34,4	40	38,6	56	41,2
9	28,2	25	34,8	41	38,8	57	41,3
10	28,8	26	35,1	42	38,9	58	41,4
11	29,3	27	35,4	43	39,1	59	41,6
12	29,7	28	35,7	44	39,4	60	41,8
13	30,2	29	36,0	45	39,6		
14	30,7	30	36,3	46	39,7		
15	31,1	31	36,5	47	40,0		

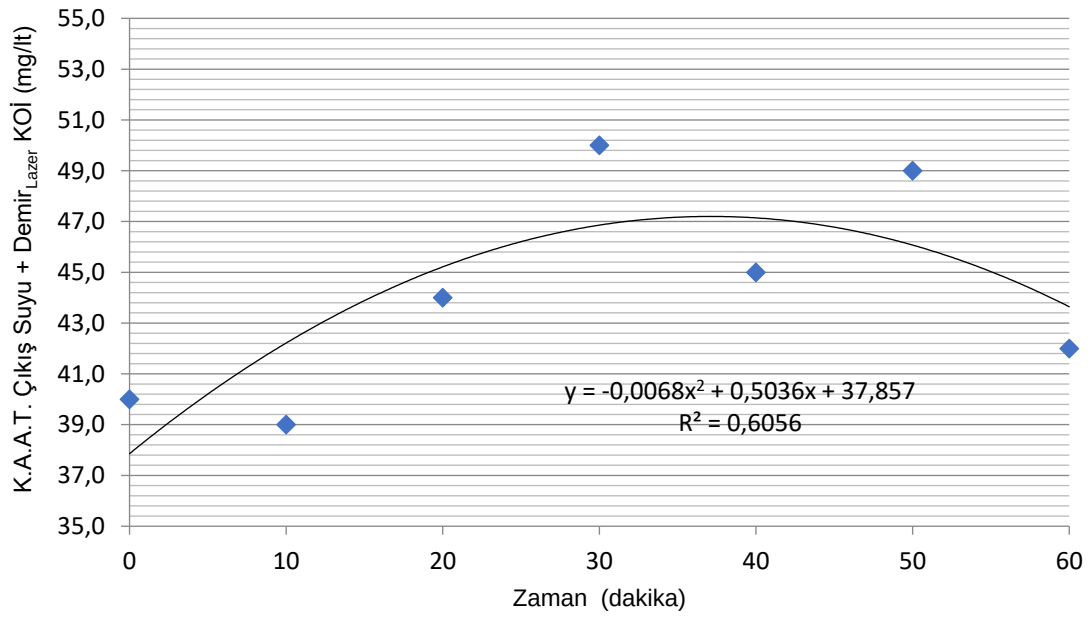


Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Sıcaklık (°C)
0	20,4	16	29,3	32	34,7	48	38,5
1	21,1	17	29,7	33	35,0	49	38,7
2	21,8	18	30,0	34	35,3	50	38,8
3	22,5	19	30,4	35	35,5	51	39,0
4	23,2	20	30,7	36	35,8	52	39,2
5	23,8	21	31,1	37	36,1	53	39,5
6	24,4	22	31,4	38	36,3	54	39,6
7	24,9	23	31,7	39	36,5	55	39,7
8	25,4	24	32,1	40	36,8	56	39,9
9	26,0	25	32,5	41	37,0	57	40,0
10	26,5	26	32,8	42	37,3	58	40,1
11	26,9	27	33,1	43	37,5	59	40,3
12	27,4	28	33,5	44	37,7	60	40,4
13	27,9	29	33,8	45	38,0		
14	28,4	30	34,1	46	38,2		
15	28,8	31	34,4	47	38,3		

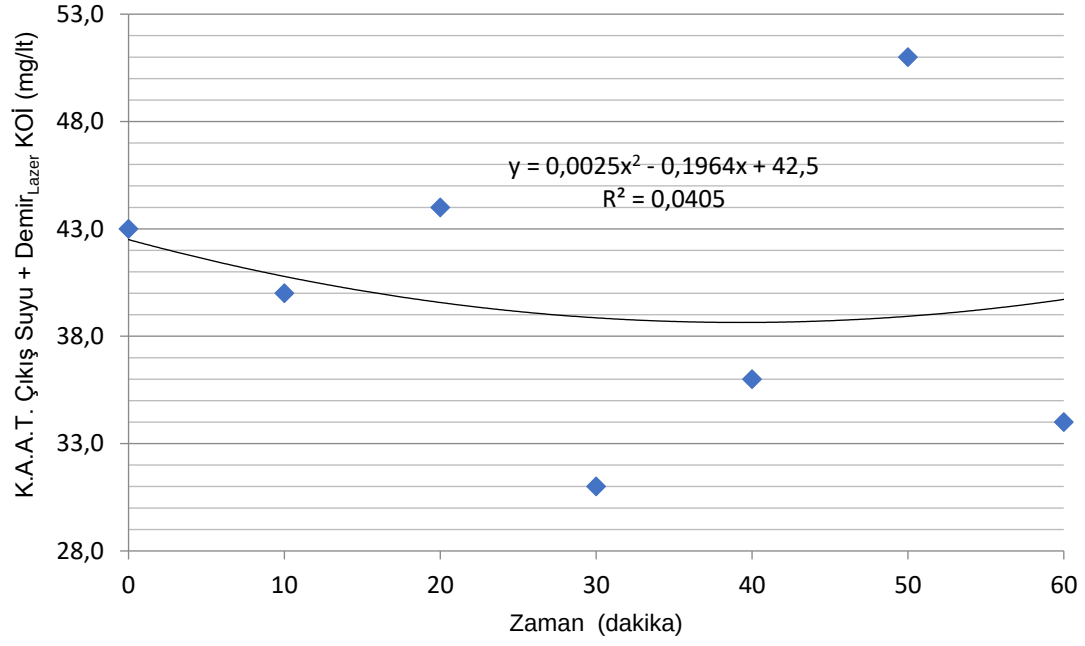


KAAT Çıkış Suyuna Demir İlavesi Sonrasında Lazer Işını Uygulanması Sırasında KOİ Ölçüm Sonuçları (250 ml, 0,1 gr FeSO₄.7H₂O, 20 W, 40 kHz, 500 mm/s)

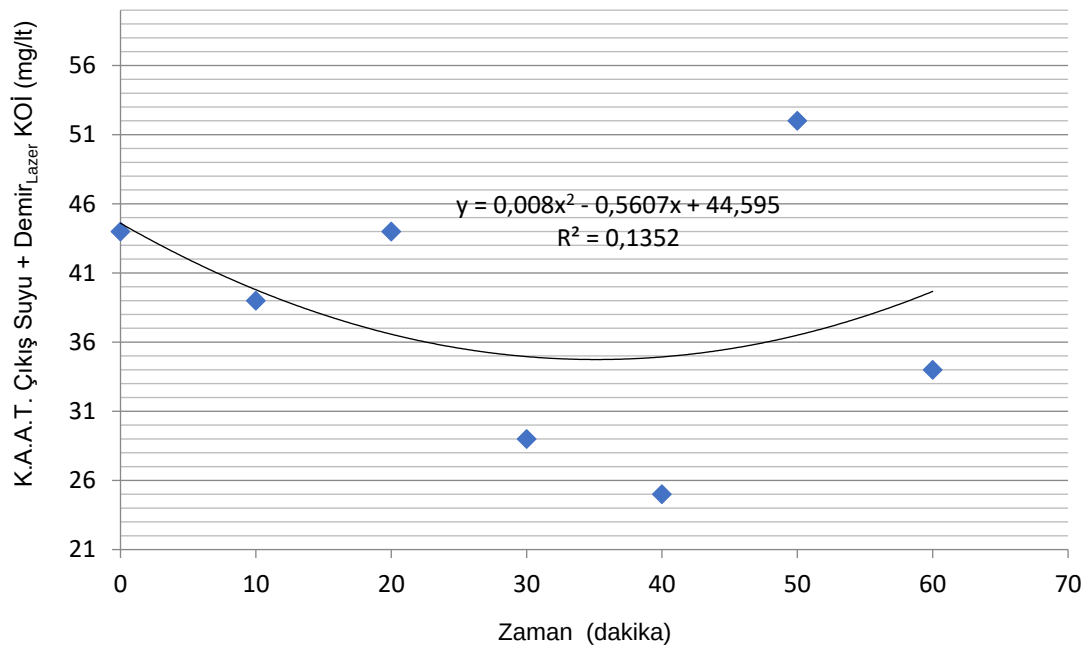
Zaman (dakika)	KOİ (mg/L)
0	40,0
10	39,0
20	44,0
30	50,0
40	45,0
50	49,0
60	42,0



Zaman (dakika)	KOİ (mg/L)
0	43,0
10	40,0
20	44,0
30	31,0
40	36,0
50	51,0
60	34,0



Zaman (dakika)	KOİ (mg/L)
0	44,0
10	39,0
20	44,0
30	29,0
40	25,0
50	52,0
60	34,0



ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı : Burhan ŞAHİN
Doğum yeri : Ünye
Medeni hali : Bekar
E-posta : burhan_sahin52@hotmail.com
Adresi : Yeni Cimşit Mah. No:31/2 Sincan/ANKARA

Eğitim

Lise : Şehit Rıdvan Süer Anadolu Lisesi, Ankara, 2009.
Lisans : Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü,
Samsun, 2013.

Yabancı Dil ve Düzeyi

-

İş Deneyimi

Türkiye Futbol Federasyonu, Lisanslı Futbol Hakemi, 2010 -
Çevre Ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Referans Laboratuvarı Merkezi, Stajyer, 2011
/ 30 İş Günü
En-Çev Enerji Çevre Yatırımları Ve Danışmanlığı Ltd. Şti., Çevresel Etki
Değerlendirmesi (ÇED), Stajyer, 2012 / 30 İş Günü
Seğmen Su Madencilik Makine Gıda İnşaat Turizm ithalat İhracat San.Tic. A.Ş.,
Mesul Müdür, 2013-2014
Ankara Büyükşehir Belediyesi (Belka A.Ş.), Mühendis, 2013 –
C Sınıfı İş Güvenliği Uzmanı, 2014-

Deneyim Alanları

İçme Suyu Arıtma Tesisi Kontrollüğü

Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi

-

Tezden Üretilmiş Yayınlar

-

Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar

-



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS/DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 11/07/2018

Tez Başlığı / Konusu: KENTSEL ATIKSU ARITMA TESİSİ ÇIKIŞ SUYUNDA FENTON PROSESİ VE LAZER
İŞINLANMASININ ARITMA VERİMLİLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 139 sayfalık kısmına ilişkin, 11/07/2018 tarihinde şahsen/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 6 tür.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar hariç/dâhil
- 3- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Adı Soyadı: BURHAN ŞAHİN
Öğrenci No: N13127785
Anabilim Dalı: ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
Programı: -
Statüsü: ☒ Y.Lisans ☐ Doktora ☐ Bütünleşik Dr.

Tarih ve İmza

11.07.2018

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

Doç. Dr. Selim L. SANİN

(Unvan, Ad Soyad, İmza)