



T.C.
HATAY MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MİKRO/NANO KABARCIK OZON TEKNOLOJİSİ ile İKİNCİ
PEYNİRLİ SULARININ ARITILMASI**

EZGİ GEÇGİL

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**HATAY
OCAK - 2024**



T.C.
HATAY MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİKRO/NANO KABARCIK OZON TEKNOLOJİSİ ile İKİNCİ
PEYNİRALTI SULARININ ARITILMASI

EZGİ GEÇGİL
ORCID:0000-0002-1582-6599

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Danışman
Prof. Dr. Yahya Kemal AVŞAR
ORCID: 0000-0003-0271-1490

HATAY
OCAK - 2024

T.C.
HATAY MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MİKRO/NANO KABARCİK OZON TEKNOLOJİSİ ile İKİNCİ PEYNİRALTI
SULARININ ARITILMASI**

EZGİ GEÇGİL

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Prof. Dr. Yahya Kemal AVŞAR danışmanlığında hazırlanan bu tez **05/01/2024** tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **OYBİRLİĞİ** ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Yahya Kemal AVŞAR
Başkan

Prof. Dr. Şebnem ÖZTÜRKÖĞLU
BUDAK
Üye

Doç. Dr. Mustafa Tuğrul
MASATCIOĞLU
Üye

Kod No:

Doç. Dr. Cengiz KARACA
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

05/01/2024

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını ve tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu beyan ederim.

İmzası

Ezgi GEÇGİL

ÖZET

MİKRO/NANO KABARCİK OZON TEKNOLOJİSİ ile İKİNCİ PEYNİRALTI SULARININ ARITILMASI

Bu araştırmada ülkemizde süt endüstrisi atıklarından loraltı suyunun KOİ ihtiyacının giderilmesinde enolizasyon ve mikrokabarcık ozon teknolojisinin tek başına ve diğer okside edici uygulamalar (hidrojen peroksit ve ultraviyole-C) kombine etkisine bakılmıştır. Bu amaçla endüstriyel uygulamalar benzer şekilde laboratuvar koşullarında lor peyniri üretilmiş, elde edilen lor altı suları önce farklı pHlarda (9, 10, 11 ve 12) enolizasyon işlemine tabi tutulmuştur. Bu işlem ile pH yükseldikçe loraltı sularının laktoz oranlarının azaldığı ve buna bağlı olarakta KOİ değerlerinin düştüğü belirlenmiştir. En büyük azalmalar 12 pH da gerçekleşmiştir. Daha sonra 12 pH da enolizasyon işlemine tabi tutulmuş loraltı sularına sırasıyla mikro/nano ozon gazı kabarcığı ($\mu/\eta\text{O}_3$), mikro/nano ozon gazı kabarcığı+hidrojen peroksit ($\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2$) ve mikro/nano ozon gazı kabarcığı+hidrojen peroksit+ultraviyole C ($\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2+\text{UV-C}$) teknikleri ile 8 saat uygulama yapılmıştır. Deneme örneklerinde renk özellikleri (L^* , a^* , b^* ve C^*), pH, elektrik iletkenliği ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) belirlenmiştir.

Sonuçlar 12 pH'da enolizasyonun büyük ölçüde tamamlandığını ve bunun sonucunda loraltı suyunda bulunan laktozun %80'nin üzerinde giderildiği saptanmıştır. Laktozun giderilmesi ile başlangıç KOİ değerinde %25-30 civarında azalma gözlenmiştir. Enolizasyon sonrasında lor altı sularının farklı oksidasyon yöntemler ile muamelesi sonucunda renk giderimi açısından en hızlı ve etkili olan tekniğin, $\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2$ olduğu görülmüştür. Enolizasyon ve $\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2$ uygulaması ile KOİ değerlerinde başlangıç değerine göre %66'lık bir azalma sağlanmıştır. Bütün oksidasyon uygulamalarında enolizasyon oluşan kahverengileşme giderilmiş ve L^* , a^* , b^* ve C^* değerleri başlangıç düzeylerine geri döndürülmüştür.

2024, 46 sayfa

Anahtar Kelimeler: loraltı suyu, enolizasyon, kimyasal oksijen içeriği, mikro/nano kabarcık, ozon

ABSTRACT

TREATMENT of SECONDARY WHEY with MICRO/NANO BUBBLE OZONE TECHNOLOGY

This study examined the effect of enolization and microbubble ozone technology alone and other oxidizing applications (hydrogen peroxide and ultraviolet-C) in meeting the COD need of Loraltı water, one of the dairy industry wastes in our country. For this purpose, Lor cheese was produced under laboratory conditions similar to industrial applications, and the obtained Lor whey was first subjected to an enolization process at different pHs (9, 10, 11, and 12). With this process, it has been determined that as the pH increased, the lactose ratios of the Lor whey decreased, and accordingly, the COD values decreased. The most significant reductions occurred at pH 12. Then, micro/nano ozone gas bubble ($\mu/\eta\text{O}$), micro/nano ozone gas bubble + hydrogen peroxide ($\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2$) and micro/nano ozone gas bubble + hydrogen peroxide + ultraviolet C ($\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2+\text{UV-C}$) techniques were applied for 8 hours to the Lor whey subjected to enolization process at 12 pH, respectively. In the experimental samples, color properties (L^* , a^* , b^* and C^*), pH, electrical conductivity and chemical oxygen demand (COD) were determined.

The results showed that enolization was completed mainly at pH 12, and as a result, more than 80% of the lactose in the subwater was removed. A decrease of 25-30% in the initial COD value was observed with the removal of lactose. As a result of the treatment of curd waters with different oxidation methods after enolization, it was seen that the fastest and most effective technique in color removal was $\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2$. Enolization and $\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2$ application achieved a 66% reduction in COD values compared to the baseline value. In all oxidation applications, the browning caused by enolization was removed, and the L^* , a^* , b^* , and C^* values were returned to their initial levels.

2024, 46 pages

Key Words: secondary whey, enolization, chemical oxygen content, micro/nano bubble, ozone

TEŞEKKÜR

Mesleki ve akademik hayatımda önemli kararlar almam gerektiğinde sürekli yanımda olan ve varlığı ile benim için önemli bir rol model oluşturan, gerek doktora tez konumunun belirlenmesinde gerek araştırılması ve yazımı sırasında sahip olduğu bilgi birikimi ve tecrübesi ile çalışmalarına ışık tutan ve yardımını esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Yahya Kemal AVŞAR’a sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarım sırasında tüm bölüm olanaklarından yararlanmamı sağlayan Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi (HMKÜ) Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölüm Başkanlığı’na ve HMKÜ FBE Enstitüsü Müdürlüğü çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarım süresince, tüm laboratuvar çalışmalarımда yapmış oldukları katkı ve yardımları nedeniyle Neslihan ÖZBULDU’ya çok teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen, güvenen ve daima yanımda olan canım aileme sonsuz minnet ve şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ	V
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VI
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	VIII
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	6
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	9
3.1. Materyal.....	9
3.1.1. Loraltı Suyu	9
3.1.2. Mikro/nano ozon kabarcık sistemi	10
3.2. Yöntem	10
3.2.1. Deneme Planı.....	10
3.2.2. Analizler	11
3.2.2.1. Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) Analizi	11
3.2.2.2. Renk Analizi.....	11
3.2.2.3. Elektrik İletkenliği	12
3.2.2.4. pH analizi	12
3.2.2.5. İstatistiksel Analizler.....	12
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	13
4.1. Farklı pH larda Enolizasyonun Loraltı Suyunun Laktoz, KOİ Üzerine Etkisi.....	13
4.2. Farklı Uygulamaların ($\mu/\eta\text{O}_3$, $\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2$, $\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2+\text{UV-C}$) Loraltı Sularının Renk Özellikleri Üzerine Etkisi.....	15
4.2.1. L^* değerlerine etkisi.	17
4.2.2. a^* ve b^* değerlerine etkisi.	18
4.2.3. Kroma (C^*) değerlerine etkisi	20
4.3. Farklı Uygulamaların ($\mu/\eta\text{O}_3$, $\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2$, $\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2+\text{UV-C}$) Loraltı Sularının pHsı Üzerine Etkisi.....	21
4.4. Farklı Uygulamaların ($\mu/\eta\text{O}_3$, $\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2$, $\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2+\text{UV-C}$) Loraltı Sularının Elektrik İletkenliği Üzerine Etkisi	23
4.5. Farklı Uygulamaların ($\mu/\eta\text{O}_3$, $\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2$, $\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2+\text{UV-C}$) Loraltı Sularının Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) Üzerine Etkisi.....	23
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	26
KAYNAKLAR	28
ÖZGEÇMİŞ	32
EKLER.....	33

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Peyniraltı Suyunun Sütteki Bileşimi (de wit,1998)	2
Çizelge 1.2. Asit ve Tatlı Peynir Altı Suyunun Mineral Bileşimi: (Chandan, 2008)	2
Çizelge 1.3. Süt ve Süt Ürünleri Atık Sularının Alıcı Ortama Deşarj Standartları Gıda Sanayii (Süt ve Süt Ürünleri) Değerleri	3



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Kabarcık türleri (Takahashi ve ark., 2007; Azevedo ve ark., 2019).....	5
Şekil 3.1. Lor ve lor altı suyu üretim akış şeması	9
Şekil 3.2. Ultraviyole ışığı düzeneği bağlanmış mikro/nano ozon kabarcık jeneratörü. 10	
Şekil 3.3. CIELAB Renk Evreni	12
Şekil 4.1. Lor altı suyuna NaOH ilavesi sonrası oluşan çökelti.	13
Şekil 4.2. Loraltı suyuna NaOH ilavesinden 12 saat sonraki oluşan renk değişimi	14
Şekil 4.3. Loraltı sularının farklı pH değerlerinde enolizasyon sonucu elde edilen laktoz (%) ve KOİ (mg O ₂ /L) değerleri.	15
Şekil 4.4. pH 12 değerinde enolizasyon işlemine tabi tutulmuş loraltı sularına farklı sürelerdeki mikro/nano ozon gazı kabarcığı uygulaması ($\mu/\eta\text{O}_3$), sonucu elde edilen renk değişimleri.	16
Şekil 4.5. pH 12 değerinde enolizasyon işlemine tabi tutulmuş loraltı sularına farklı sürelerdeki mikro/nano ozon gazı kabarcığı+hidrojen peroksit uygulaması ($\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2$) sonucu elde edilen renk değişimleri.....	16
Şekil 4.6. pH 12 değerinde enolizasyon işlemine tabi tutulmuş loraltı sularına farklı sürelerdeki mikro/nano ozon gazı kabarcığı+hidrojen peroksit+ultraviyole-C ($\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2+\text{UV-C}$) uygulaması sonucu elde edilen renk değişimleri.	16
Şekil 4.7. pH 12 değerinde enolizasyon işlemine tabi tutulmuş loraltı sularına farklı sürelerdeki mikro/nano ozon gazı kabarcığı ($\mu/\eta\text{O}_3$), mikro/nano ozon gazı kabarcığı+hidrojen peroksit ($\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2$) ve mikro/nano ozon gazı kabarcığı+hidrojen peroksit+ultraviyole-C ($\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2+\text{UV-C}$) uygulamaları sonucu elde edilen L^* değerindeki değişimler. Başlangıç değerleri mavi, enolizasyon sonrası değerler ise sarı bölge ile gösterilmiştir.	17
Şekil 4.8. pH 12 değerinde enolizasyon işlemine tabi tutulmuş loraltı sularına farklı sürelerdeki mikro/nano ozon gazı kabarcığı($\mu/\eta\text{O}_3$), mikro/nano ozon gazı kabarcığı+hidrojen peroksit($\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2$) ve mikro/nano ozon gazı kabarcığı+hidrojen peroksit+ultraviyole-C ($\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2+\text{UV-C}$) uygulaması sonucu elde edilen a^* değerindeki değişimler. Başlangıç değerleri mavi, enolizasyon sonrası değerler ise sarı bölge ile gösterilmiştir.	19
Şekil 4.9. pH 12 değerinde enolizasyon işlemine tabi tutulmuş loraltı sularına farklı sürelerdeki mikro/nano ozon gazı kabarcığı($\mu/\eta\text{O}_3$), mikro/nano ozon gazı kabarcığı+hidrojen peroksit($\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2$) ve mikro/nano ozon gazı kabarcığı+hidrojen peroksit+ultraviyole-C ($\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2+\text{UV-C}$) uygulaması sonucu elde edilen b^* değerindeki değişimler. Başlangıç değerleri mavi, enolizasyon sonrası değerler ise sarı bölge ile gösterilmiştir.	20
Şekil 4.10. pH 12 değerinde enolizasyon işlemine tabi tutulmuş loraltı sularına farklı sürelerdeki mikro/nano ozon gazı kabarcığı($\mu/\eta\text{O}_3$), mikro/nano ozon gazı kabarcığı+hidrojen peroksit($\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2$) ve mikro/nano ozon gazı kabarcığı+hidrojen peroksit+ultraviyole-C ($\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2+\text{UV-C}$) uygulaması sonucu elde edilen kroma (C^*) değerindeki değişimler. Başlangıç değerleri mavi, enolizasyon sonrası değerler ise sarı bölge ile gösterilmiştir.....	21

- Şekil 4.11. pH 12 değerinde enolizasyon işlemine tabi tutulmuş loraltı sularına farklı sürelerdeki mikro/nano ozon gazı kabarcığı($\mu/\eta\text{O}_3$), mikro/nano ozon gazı kabarcığı+hidrojen peroksit($\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2$) ve mikro/nano ozon gazı kabarcığı+hidrojen peroksit+ultraviyole-C ($\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2+\text{UV-C}$) uygulaması sonucu elde edilen pH değerlerindeki değişimler. Başlangıç değerleri mavi, enolizasyon sonrası değerler ise sarı bölge ile gösterilmiştir.22
- Şekil 4.12. pH 12 değerinde loraltı suyunun farklı sürelerdeki mikro/nano ozon kabarcık ($\mu/\eta\text{O}_3$) uygulaması sonucu elde edilen elektrik iletkenliği (Ec) değerleri. 23
- Şekil 4.13. pH 12 değerinde enolizasyon işlemine tabi tutulmuş loraltı sularına farklı sürelerdeki mikro/nano ozon gazı kabarcığı($\mu/\eta\text{O}_3$), mikro/nano ozon gazı kabarcığı+hidrojen peroksit ($\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2$) ve mikro/nano ozon gazı kabarcığı+hidrojen peroksit+ultraviyole-C ($\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2+\text{UV-C}$) uygulaması sonucu elde edilen KOİ değerleri.24

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

g	: gram
mg	: miligram
L	: Litre
°C	: Derece Celsius
m ³	: Metre küp
dk	: Dakika
N	: Normalite
µg	: mikrogram
kg	: kilogram
mL	: mililitre
ppm	: part per million (milyon birimde bir birim)
rpm	: rotation per minute (dakikadaki dönme sayısı)
µS	: MikroSiemens

KISALTMALAR

KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
BOİ	: Biyolojik Oksijen İhtiyacı
GRAS	: Genellikle Güvenilir Olarak Kabul Edilir

1. GİRİŞ

Süt endüstrisi, hem insan beslenmesinde hem de yarattığı ekonomiden dolayı dünyada önemli bir yere sahiptir. Süt endüstrisi çiğ sütün çeşitli üretim metotları ile peynir, yoğurt, dondurma, tereyağı ve süt tozuna dönüştürülmesinden oluşur. Bu üretim süreçlerinde sağım ekipmanları ve süt ekipmanlarının yıkanması, peynir üretim sonucunda peynir altı suyu yan ürünlerinden atık su çıkmaktadır (Karadağ ve ark., 2014).

Süt endüstrisi atıkların özellikleri, son ürün kalıntılarına, üretim sisteminin tipine ve üretim tesisinde kullanılan çalışma yöntemlerine bağlı olarak önemli ölçüde değişmektedir (Gutiérrez ve ark., 1991).

Süt endüstrisi atık suları, proses ekipmanlarının temizlenmesinden sonra alkali ve asidik kimyasallar içeren yıkama suyu, bu ekipmanlar da kalan hammadde ve son ürün kalıntıları, peynir üretiminden çıkan atık olarak peyniraltı suyundan oluşmaktadır (Carvalho ve ark., 2013).

Sütten yağ ve kazein uzaklaştırıldıktan sonra peynir altı suyu elde edilmektedir. Peynir altı suyunun bileşiminde laktoz, su, mineraller ve proteinler yer almaktadır. Bu bileşimde %95'e varan oranlarda su bulunmaktadır. Daha sonra bol bulunan bileşenler sırasıyla laktoz ve minerallerdir (McSweeney, 2004).

Peynir altı suyu kazein koagülasyonuna bağlı olarak maya peynir altı suyu ve asit peynir altı suyu olmak üzere iki şekilde elde edilmektedir. Peynir üretimi sırasında sütün pıhtılaştırılmasında rennet enzimi kullanılması sonucu maya peynir altı suyu, sütün asitleştirilmesi için bakteri kültürü ya da organik asit eklenmesi sonucu asit peynir altı suyu (pH<5) meydana gelmektedir (Üçüncü, 2008).

Peynir altı suyundaki ana proteinler, β -laktoglobulin (β -lg), α -laktalbumin (α -la), immünoglobülinler (lg) ve sığır serum albüminlerdir (Chandan, 2008).

Çizelge 1.1. Peyniraltı Suyunun Sütteki Bileşimi (de wit,1998)

Protein Türü	Konsantrasyon (g/L süt)
β -Laktoglobulin	3.2
α -Laktalbumin	1.2
Imminglobulin	0.8
Serum Albumin	0.4
Laktoferrin	0.2
Laktoperoksidaz	0.03
Enzimler (>50)	0.03
Proteoz-Pepton	≥ 1

Çizelge 1.2. Asit ve Tatlı Peynir Altı Suyunun Mineral Bileşimi: (Chandan, 2008)

Bileşen	Tatlı Peynir Altı Suyu (pH 5,9-6,4)	Asit Peynir Altı Suyu (pH 4,6-4,8)
Kalsiyum	0,04-0,06	1,3-1,6
Magnezyum	0,08	0,11
Fosfat	1,0-3,0	2,0-4,5
Sitrat	1,2-1,7	0,2-1,0
Laktat	2,0	6,0
Sodyum	0,4-0,5	0,4-0,5
Potasyum	1,4-1,6	1,4-1,6
Klorür	1,0-1,2	1,0-1,2

Peynir altı suyu, sütün toplam besin maddelerinin yaklaşık %55'ini içermektedir. Peynir altı suyu kullanım olanaklarının araştırılmış olmasına rağmen, çoğu küçük ile orta ölçekli üretim tesislerinde peynir üretiminden kaynaklı peynir altı suyu atık olarak atılmaktadır. Lor ve süzme peynir üretiminden kaynaklanan atık ikinci peynir altı suyu, peynir altı suyuna benzer şekilde kirletici unsur olmaktadır. İkinci peynir altı suyu, peynir altı suyunun kuru madde içeriğinin %60'ına sahiptir (Pereira ve ark., 2002).

Süt fabrikalarının büyük bir kısmında peynir altı suyunun arıtılması için arıtma sistemleri yoktur ve peynir altı suyunun atılması önemli bir potansiyel gıda ve enerji kaybı oluşturmaktadır. Bu besinlerin en bol bulunanları arasında laktoz, çözünür proteinler,

mineral tuzlar ve lipitler yer almaktadır. Peynir altı suyunun atık olarak bertaraf edilmesi, toprağın kimyasal ve fiziksel yapısını etkilemektedir, mahsul veriminin düşmesine ve su kaynaklarına deşarj edildiğinde ortamdaki çözünmüş oksijeni tüketerek sudaki yaşamı olumsuz etkilemektedir (Panesar ve ark., 2007). Dolayısıyla, süt ürünlerinin çevreye arıtılarak verilmesi, sürdürülebilir bir süt sektörü ve sürdürülebilir bir çevre içinde elzemdir.

Süt sektöründe sürdürülebilirlik konusu 2010 yıllarından itibaren belirgin bir konu olarak ele alınmıştır. Çalışmalar genel olarak, arıtma yöntemleri, enerji tüketimi, fabrikanın etkinliği gibi konular üzerinde yoğunlaşmıştır (Fell ve ark., 2020). Günümüzde süt sektörü tarafından üretilen kirlilik her geçen gün artmaktadır ve bu durum endüstri üzerinde de önemli bir baskı unsuru haline gelmiştir (Li ve Mathiyazagan, 2018). Hem süt üretimi hem de süt ürünleri üretimi esansında kullanılan yüksek oranda su kullanımı bu sektörü en büyük çevre kirletici sektörlerden biri haline getirmiştir (Brião and Granhen Tavares 2007; Vourch et al. 2008a).

Hangi tür peynir üretimi olursa olsun (Mozzarella, Gouda, Parmesan, Brie, Camembert, Serpa, Feta vb.), üretim fabrikaları önemli bir çevresel etkiye sebep olan atık üretir. Peynir atık suları, 0,6-60 g/L⁻¹ aralığında BOİ değerleri ve 0,8-102 g/L⁻¹ aralığında KOİ değerlerine sahiptir (Carvalho ve ark., 2013).

Türkiye’de Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği 17 Aralık 2022 tarihli, 32046 sayılı Yönetmeliğine göre Süt ve Süt Ürünleri Atık Sularının Alıcı Ortama Deşarj Standartları Gıda Sanayii (Süt ve Süt Ürünleri) değerleri Çizelge 1.3’te gösterilmiştir.

Çizelge 1.3. Süt ve Süt Ürünleri Atık Sularının Alıcı Ortama Deşarj Standartları Gıda Sanayii (Süt ve Süt Ürünleri) Değerleri

Parametreler	Birim	2 Saatlik Kompozit Numune
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	mg O ₂ /L	160
Yağ ve gres	mg/L	60
pH		6-9

Peynir altı suyu atık sularının arıtılması için biyolojik (Poništ ve ark., (2021), fiziksel, elektrokimyasal (Güven ve ark, 2008; Un ve ark . 2014), ve kimyasal yöntemler

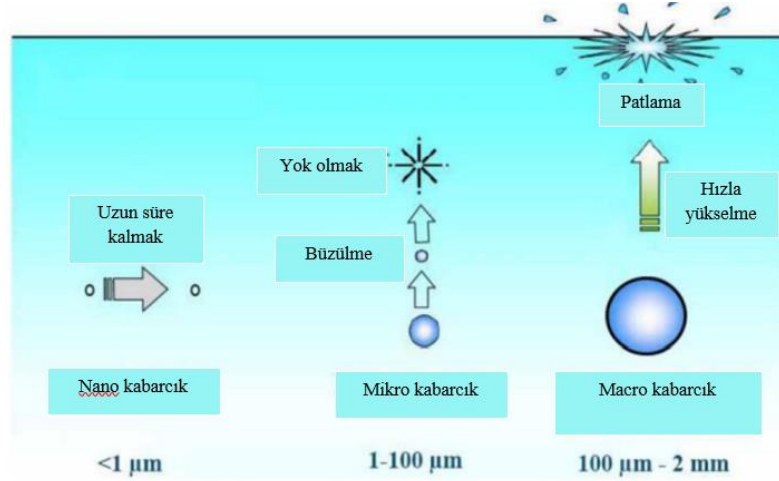
bulunmaktadır. Biyolojik arıtma yöntemlere örnek olarak aktif çamur olarak bilinen anaerobik arıtma (Cáceres ve ark., 2012; Escalante ve ark., 2017) ve aerobik arıtma verilebilir (Rivas ve ark. 2010). Fiziksel arıtma yöntemler ise kum tutucular, elekler ve ızgaralardır. Kimyasal arıtma yöntemler ise flokülasyon, oksidasyon ve koagülasyon uygulamalarını içermektedir. Kimyasal arıtma yöntemlerinde oksidasyon için ozon gazı (O_3) kullanılmaktadır.

Ozonun (O_3) yararları ilk kez 1840 yılında İsviçre’de Alman kimyacı Christain Fredrick Schonbein tarafından keşfedilmiştir. Ozon, diatomik oksijen molekülüne (O_2) oksijen atomunun bağlanmasıyla meydana gelen ve son derece kararsız bir moleküldür. Moleküler oksijen ile serbest oksijen atomları karşılaştığında son derece kararsız olan ozon molekülünü oluşturmaktalar aynı zamanda ozon hızlı bir şekilde serbest oksijen atomuna ve oksijen molekülüne dönüşmektedir. Bu nedenle ozon son derece reaktif bir bileşendir (Ekici ve ark., 2006).

Normal sıcaklık ve basınç altında oldukça kararsız olan ozon yüksek oksidasyon potansiyeline sahip olması pek çok organik bileşiğin bozulmasına sebep olmaktadır. Ozonun bu yüksek oksidasyon özelliği, üçüncü veya yeni ortaya çıkan oksijen atomundan kaynaklanmaktadır (Assalin, 2004).

Ozon, potansiyel oksitleme kapasitesi nedeniyle güçlü bir antioksidan maddedir. Ozon Avrupa’da içme sularının dezenfeksiyonu için kullanılmaktadır. Şişelenmiş suların, havuz sularının dezenfeksiyonunda ve atık su arıtımında kullanımları bulunmuştur. 1997’de ozon ile ilgili dünya çapındaki araştırmaları gözden geçiren uzmanlar, ozonun gıdalarda dezenfektan olarak kullanılan bir GRAS maddesi olduğuna karar verdi. Ozon en güçlü ikinci oksitleyici ajandır. Ozon oda sıcaklığında renksiz bir gazdır ve keskin ve karakteristik bir kokuya sahiptir (Güzel-Seydim ve ark., 2004).

Su kabarcıkları genel olarak üç ana tipe ayrılır, makro kabarcıklar, mikro kabarcıklar ve nano kabarcıklar olmak üzere. Makro kabarcıkların çapı 100 μm ile 2 mm arasında değişmekle birlikte bir sıvı içerisinde hızlı bir şekilde yüze yükselirler. Mikro kabarcıkların çapı ise 1 μm ile 100 μm arasında değişmektedir ve makro kabarcıklara oranla daha küçükler ve buda kabarcıkların su içerisinde büzülmesine ve sonrasında suda çözülürler. Nano kabarcıklar <1 μm çapında olmaları nano kabarcıklarına farklı bir fiziksel özelliğe sahip olmalarını sağlamaktadır ve nano kabarcıklar uzun süre asılı kalabilmektedirler (Khan ve ark., 2020).



Şekil 1.1. Kabarcık türleri (Takahashi ve ark., 2007; Azevedo ve ark., 2019).

Süt işletmelerinin ortak sorunu üretim esnasında açığa çıkan başta loraltı suyu olmak üzere endüstriyel atık sularının deşarjıdır. Süt ürünleri üreticileri bir yandan yasal yaptırımlar ile diğer yandan ise atık suların arıtma tesislerin yüksek maliyeti ile karşı karşıya kalmaktadırlar.

Bu çalışmanın amacı, lor üretimi esnasında açığa çıkan ikinci peyniraltı suyunun (loraltı suyu) yeni bir teknoloji olan ozon gazı ile değişik koşullar altında muamele ederek KOİ değerinin azaltılıp çevreye daha az zararlı hale getirilmesini sağlamaktır. Bu amaçla araştırmada başlıca olarak KOİ üzerine sırasıyla;

- farklı pH'larda enolizasyon,
- enolizasyon ve mikro/nano ozon gazı kabarcığı
- enolizasyon, mikro/nano ozon gazı kabarcığı ve hidrojen peroksit (H_2O_2),
- enolizasyon, mikro/nano ozon gazı kabarcığı ve hidrojen peroksit (H_2O_2) ve ultraviyole (UV),

etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Araştırmada muamele edilen örneklerin bazı fizikokimyasal özellikleri de belirlenmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Assalin ve ark (2004), yaptıkları çalışmalarda endüstriyel atık sularındaki kirliliğin kontrolü için ozon kullanarak arıtmanın verimliliğini araştırmışlardır ve atık olarak tekstil, kâğıt ve peyniraltı suyu atıklarını kullanmışlardır. Bu amaçla 14mg/L ozon gazını 1 saat boyunca uygulamışlardır. Çalışma sonucunda peynir altı suları için toplam organik karbon giderimini %2,8 olarak bulmuşlardır.

László ve ark. (2009), yılında yapmış oldukları çalışmada yağsız süt tozundan (3g/L) atık su hazırlamışlar ve çalışmalarında, 0.01 g/L konsantrasyonunda bir anyonik yüzey aktif temizleme maddesini çözeltiye eklemiş ve ozon gazının KOİ üzerine etkisini incelemişlerdir. 4000 mgO₂/L olan KOİ değerinde ozon uygulaması ile %25 azalma elde etmişlerdir.

Martins ve Quinta-Ferreira (2010), peyniraltı atık sularının KOİ değerini yasal deşarj standardının altına düşürmek için ozon uygulaması ve biyolojik arıtma uygulamalarını yapmışlardır. Başlangıç KOİ değeri 11210 mgO₂/L, biyolojik arıtma sonrası KOİ değerini 520 mgO₂/L bulmuşlardır. Ozon uygulaması yaklaşık olarak 420 dakika sonra KOİ değerinin pH 7.5’de 200 mgO₂/L, pH 10’da 195 mgO₂/L olarak elde edilmiştir. pH 7.5’ değerinde atık suda 16.5, 33 ve 66mM H₂O₂ konsantrasyonları denenmiştir ve denemeler sonucunda, 16.5 mM H₂O₂ konsantrasyonunda 300 dakikalık ve 33 mM H₂O₂ konsantrasyonunda 200 dakikalık ozon uygulamasında KOİ değerini yasal sınır olan 160 mgO₂/L altına düşürmüşlerdir. 33 mM H₂O₂ konsantrasyonunda 420 dakikalık ozon uygulamasının KOİ değerini tamamen yok etmişlerdir. 66 mM H₂O₂ konsantrasyonunda ise 420 dakikalık ozon uygulamasında yasal sınırın altında KOİ değeri elde edilememiştir.

Dos Santos Pereira ve ark. (2018) alkali şartlarda (pH 7-13) mangan (Mn²⁺) ile katalize edilmiş hidrojen peroksit ve ozon kombinasyonu uyguladıkları sentetik olarak hazırlanmış sütçülük atık sularının kimyasal oksijen ihtiyacındaki azalmayı incelemişlerdir. Araştırmacılar, pH 9,5-11 aralığında ve manganın 0.6 g L⁻¹ konsantrasyonunda %60’ın üzerinde bir azalma sağladıklarını rapor etmişlerdir.

Özbuldu (2019), peyniraltı suyu ve loraltı suyu kimyasal oksijen ihtiyacı değerlerine ozon gazının etkisini incelemiştir. Materyal olarak peyniraltı suyu kullanıldığında çalışma parametreleri farklı sıcaklık, pH ve hidrojen peroksit değerleri ile

3 saat ozon uygulaması, loraltı suyu kullanıldığında çalışma parametreleri olarak farklı konsantrasyonlarda sodyum hidroksit, hidrojen peroksit ve demir (III) klorür (FeCl_3) ile 10 saat ozon uygulamasıdır. Peyniraltı suyuna ozon gazı uygulamasında yüksek miktarda köpük oluşumu gözlenmiş ve bu köpüklerin kurutularak taramalı elektron mikroskobu ve jel elektroforezi (SDS-PAGE) analizlerini gerçekleştirmiştir. Taramalı elektron mikroskobu görüntülemesi sonrasında köpüklerin ağ yapılar sergilediğini tespit etmiştir. Kurutulmuş köpüklerin jel elektroforezi incelemesi sonucunda bu ağ yapılarının düşük moleküllü protein benzeri yapılardan oluştuğunu tespit etmiştir. Ozon uygulaması ile peyniraltı suyunda bulunan proteinlerin ağ yapısının ortamdan uzaklaştırılması sağlanırken, kullanılan farklı parametrelerin peyniraltı suyunun kimyasal oksijen ihtiyacı üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemsiz olduğunu bildirmiştir. Loraltı suyuna sodyum hidroksit ilavesinin başlangıç kimyasal oksijen ihtiyacı değerlerinde yaklaşık %20 oranında, FeCl_3 ilavesinin ise başlangıç KOİ değerlerinde %10 azalma sağladığını bildirmiştir. Çalışmanın sonucunda peyniraltı ve loraltı sularının kimyasal oksijen ihtiyacı değerlerinin uygulanan bütün yöntemlere rağmen yasaların öngördüğü düzeye düşürülemediğini bildirmiştir.

Zakar ve ark (2020) sodyum kazeinat içeren model çözeltilerde ozon ve Fenton reaksiyonunun kimyasal oksijen ihtiyacına etkisi incelenmiştir. Araştırmacılar, 20 dakikalık ozon tedavisi ve 90 dakikalık Fenton tedavisi KOİ'de yalnızca hafif ama anlamlı olmayan bir düşüşle sonuçlandığını bildirmişlerdir.

Suresh ve ark. (2021) sütçülük atık sularının arıtılmasında ileri oksidasyon tekniklerinin (ozon, UV ışıma, $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$, O_3/UV , $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$, $\text{O}_3/\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$) etkisine bakmışlardır. $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$, O_3/UV , $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ ve $\text{O}_3/\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ uygulamalarında KOİ değerlerinde sırasıyla %32.5, %35.2, %25, %83, laktoz içeriğinde ise sırasıyla %40.6, %43.6, %38.2, %80 azaltması gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar, $\text{O}_3/\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ işleminin, diğer hibrit işlemlere göre %65'ten fazla KOİ ve %52,36 laktoz içeriğini azalttığını bildirmektedir. $\text{O}_3/\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ prosesi için optimum koşullar ($\text{pH} = 5$, süre = 180 dakika, sirkülasyon hızı = 50 mL/s ve 0,5 mL'lik H_2O_2 dozu) KOİ'nin %88'i ve laktozun %93,4 oranında azalması ile sonuçlanmıştır.

Güneş ve ark. (2022), sütçülük atıksuyu arıtımında, KOİ giderilmesi etkinliğinin 240 dakika sadece ozon uygulandığında, %20 civarında olduğunu, koagülasyon-

flokülasyon işlemleri ardından yapılan ozonlamada %65'e yükseldiğini, öncesinde yapıldığında ise %52 düzeyinde kaldığını belirtmişlerdir.

Pal ve ark (2022), 4 farklı su kütlelerinde ve farklı mevsimlerde nanokabarcık ozonlama yöntemi uygulamıştır. Test sonuçları, atık suların arıtımında ozon nanokabarcıkların toplam çözünür katılarda %85-99 azalma, biyolojik oksijen ihtiyacında %80-90 azalma ve %55 kimyasal oksijen ihtiyacında azalma elde edilmiştir.

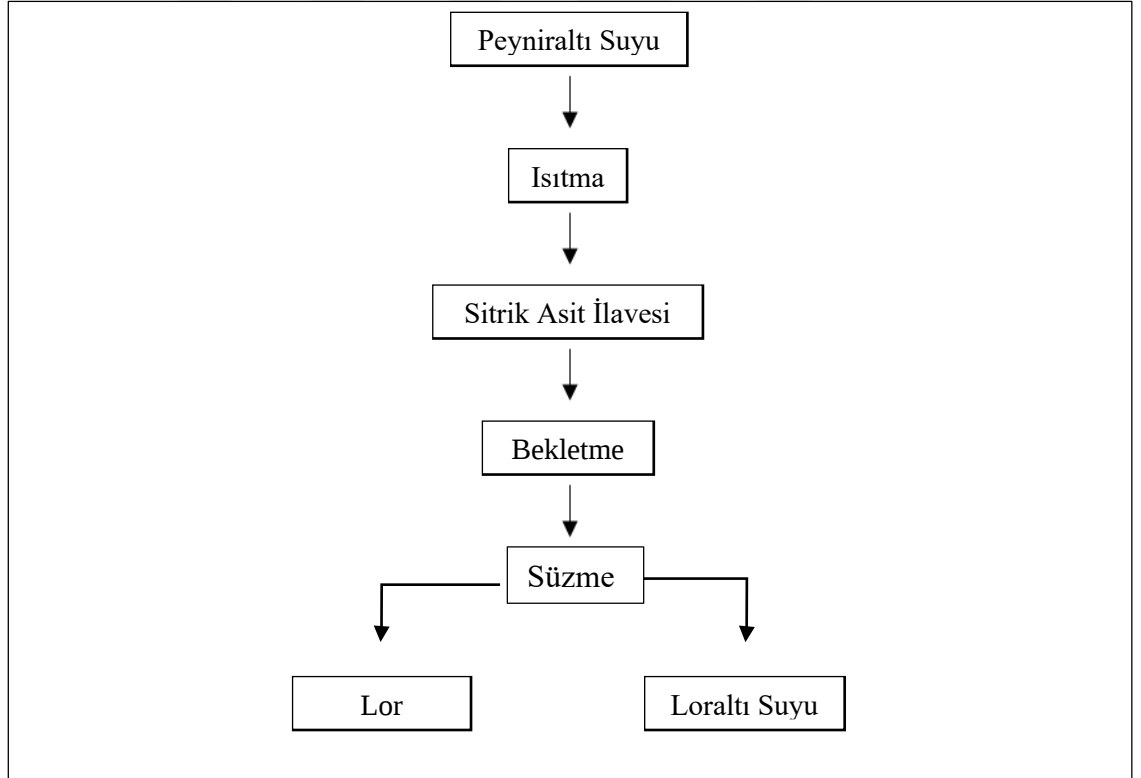
Bella ve ark. (2023), aneorabik fermentasyon öncesi, peyniraltı suyu içeren atık sularda ultrason, ozonlama ve enzim ilavesi yöntemlerini karşılaştırdıkları çalışmalarında; organik maddelerin parçalanma oranlarını (protein ve laktoz açısından), ultrason için %68.78 ve %,46.03, ozonlama için %47.83 ve %16.15, enzim ilavesi için ise %54.22 ve %86.2 olarak gerçekleştiğini göstermişlerdir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Loraltı Suyu

Materyal olarak kullanılan loraltı suyu G nka Süt  r nleri (Antakya, Hatay) firmalarından temin edilmiştir. Firma tarafından yapılan üretim aşamaları şekil 3.1’de gösterilmiştir. şekilden de görüleceği üzere, süt 60-90 dakika arası mayalama süresi olarak bekletilmiştir. Mayalama işlemi sonunda pıhtılar 2 cm³ büyüklüğünde kesilerek 20-30 dakika dinlendirilmiştir. Daha sonra süzme işlemi gerçekleştirilmiş ve peyniraltı suyu elde edilmiştir. Elde edilen peyniraltı suyu 90-95 C’ye ısıtılarak sitrik asit ilavesi ile lor oluşumu gerçekleştirilmiştir ve lor oluşumundan sonra süzme torbaları kullanılarak lor ve loraltı suyu ayırılmiştir.  ıkan loraltı suyu denemelerde kullanılmıştır.



şekil 3.1. Lor ve lor altı suyu üretim akış şeması

3.1.2. Mikro/nano ozon kabarcık sistemi

Çalışmalarda laboratuvar tipi ozon cihazı (Safir Ozon, Ankara), bu cihazı beslemek için oksijen konsantratörü ve mikro/nano kabarcık pompası (Nikuni, Japonya) kullanılmıştır. Düzenek Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2. Ultraviyole ışığı düzeneği bağlanmış mikro/nano ozon kabarcık jeneratörü.

3.2. Yöntem

3.2.1. Deneme Planı

Denemelerde sırasıyla

- Farklı pH larda enolizasyonun lor altı suyunun laktoz ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) üzerine etkisi
- Farklı sıcaklıklarda enolizasyonun lor altı suyunun üzerine etkisi

- Enolize edilmiş lor altı sularının KOİ üzerine sırasıyla;
 - Mikro/nano ozon ($\mu/\eta\text{O}_3$)gazı kabarcığı
 - $\mu/\eta\text{O}_3$ gazı kabarcığı +Hidrojen peroksit (H_2O_2)
 - $\mu/\eta\text{O}_3$ gazı kabarcığı + H_2O_2 + ultraviyole C (UV-C), etkisine bakılmıştır.

3.2.2. Analizler

3.2.2.1. Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) Analizi

KOİ analizi AOAC International, 2000’de belirtilen titrimetrik (open reflux-SM 5220 B) metodu kullanılmıştır. Analizin prensibi, bir organik madde bilinen miktarda potasyum dikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) ile sülfürik asit çözeltisinde geri akışa alınarak yapılmıştır. Daha sonra 150 °C 2 saat sıcaklık uygulaması sonrasında geriye kalan indirgenmemiş $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ferro amonyum sülfat (FAS) çözeltisi ile titre edilerek harcanan $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ miktarı belirlenir ve oksitlenebilir organik madde miktarı oksijen eşdeğeri cinsinden aşağıdaki eşitlik ile hesaplama yapılır.

$$KOI (mg O_2/L) = \frac{(A-B)*M*8000}{ÖRNEK (ml)} \quad (3.1)$$

Bu eşitlikte;

A: Şahit numunede harcanan FAS miktarı (ml)

B: Numune için harcanan FAS miktarı (ml)

M: FAS çözeltisinin molaritesi

8000: Oksijen $\times 1000$ ml/L’nin ağırlık milieşdeğeri

3.2.2.2. Renk Analizi

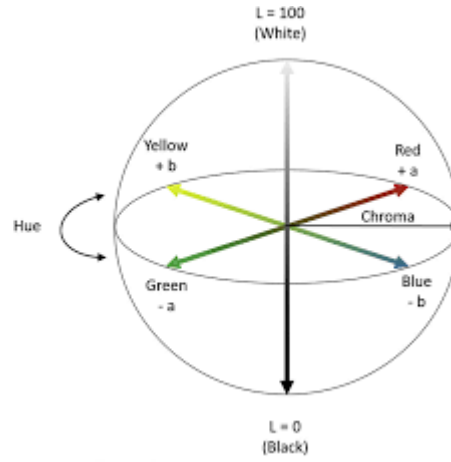
$L^*a^*b^*$ değerlerinin ölçümü Hunterlab-ColorFlex-EZ (ABD) spektrofotometre ile ölçülmüştür. Cihaz beyaz ve siyah kalibrasyon levhaları ile kalibre edilmiştir.

$$Chroma = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (3.2)$$

Bu eşitlikte;

a^* : Kırmızı-Yeşil Değeri

b^* : Sarı-Mavi Değeri



Şekil 3.3. CIELAB Renk Evreni

3.2.2.3. Elektrik İletkenliği

Elektrik iletkenliği Lab Junction TDS ölçer cihazı ile ölçülmüştür.

3.2.2.4. pH analizi

Asitlik düzeyi, WTW Inolab Level 2 pH cihazı (Almanya) ile ölçülmüştür. Cihaz 4 ve 7 pH tampon çözeltileri ile kalibre edilmiştir.

3.2.2.5. İstatistiksel Analizler

Denemede işlemler arasında farklılık olup olmadığı gerekli görülen yerlerde Tek Yönlü ANOVA yapılarak ve farklılığın hangi örnekler arasında gerçekleştiği ise Duncan çoklu karşılaştırma testi yapılarak veya General Linear Model kullanılarak belirlenmiştir. Bu amaçla IBM SPSS Statistics (Version 21) paket program kullanılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Farklı pH larda Enolizasyonun Loraltı Suyunun Laktoz, KOİ Üzerine Etkisi

Lor altı suyuna sodyum hidroksit (NaOH) ilavesi ile farklı (9.15, 10.11, 11.03 ve 12.00) pH' ya ayarlandığında ilk aşamada çökelti meydana gelmektedir (Şekil 4.1). Bu çökeltinin loraltı suyunda bulunan azotlu maddelerden oluştuğu düşünülmektedir. Nitekim araştırmalar sütün serum fazında bulunan ancak sıcaklık ile denatüre olmayan N bileşiklerin (Liu ve ark., 2020), hem sodyum hidroksit ilavesi ile hem de yüzey hidrofobisitesinin değişmesi nedeniyle çökelti oluşumuna neden olduğunu göstermektedir (Jean ve ark., 2006). Arıtma teknolojisinde alkali kimyasallar kullanılarak protein benzeri maddelerin yüzey yüklerinin negatif olarak yüklenmesi ile peyniraltı sularında çökelti oluşumunun hızlandırıldığı bildirilmiştir (Carvalho ve ark., 2011)..



Şekil 4.1. Lor altı suyuna NaOH ilavesi sonrası oluşan çökelti.

Sodyum hidroksit ilavesinin ikinci etkisi ise enolizasyon reaksiyonuna neden olmasıdır (Şekil 4.2). Enolizasyon, yavaş ilerleyen bir reaksiyon olduğu için örnekler 12 saat bekletilmiştir. Enolizasyon reaksiyonu ile gözlenen ikinci değişim ise rengin pH yükseldikçe koyulaşmasıdır. Bu koyulaşmanın, NaOH ilavesinden kaynaklı ortaya çıkan sıcaklığın yardımıyla da, enolizasyon ile laktozun renkli bileşiklere parçalanmasını göstermektedir.



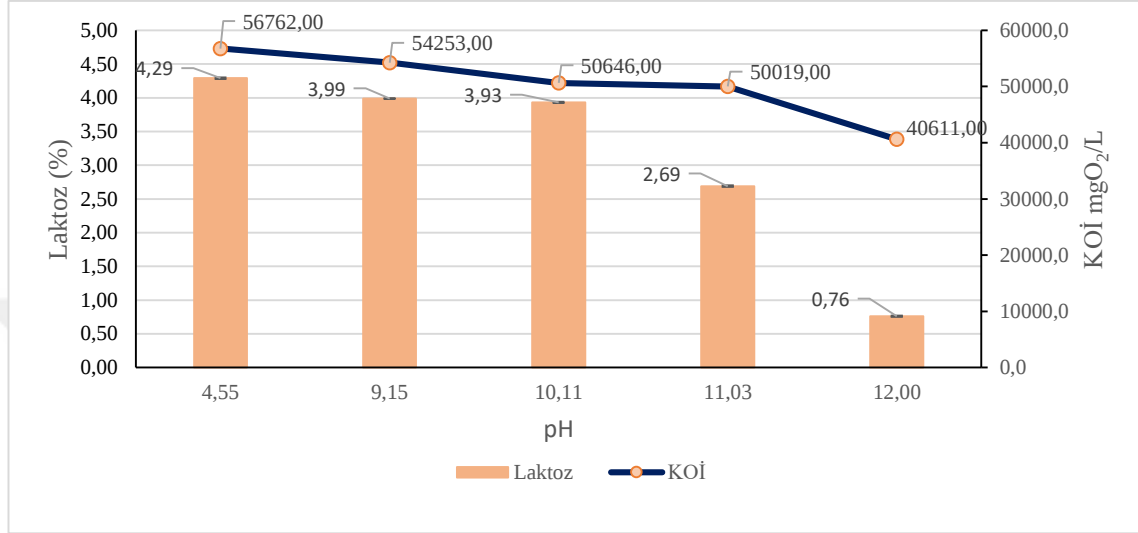
Şekil 4.2. Loraltı suyuna NaOH ilavesinden 12 saat sonraki oluşan renk değişimi

Laktozdan renkli bileşikler oluşumu Maillard reaksiyonu sonucu ve/veya karamelizasyon sonucu oluştuğu bilinmektedir (Newton ve ark., 2012). Bilindiği gibi enolizasyon Maillard reaksiyonunda yer alan ve Amadori bileşiklerinin oluştuğu önemli bir aşamadır. pH yükseldikçe laktozun açık zincir formu ortamda artmakta ve bu da reaksiyon hızını artırmaktadır (Newton ve ark., 2012).

Enolizasyon reaksiyonunda indirgen bir şeker olan laktozun parçalanmasıyla, şeker içeriğinde ve KOİ değerlerinde düşme meydana gelmektedir (Şekil 4.3). Loraltı suyunun %4,2 olan laktoz içeriği, pH'nın 9,0, 10, 11 ve 12'ye ayarlanması ile sırasıyla %4,0, 3,92, 2,68 ve 0,76'a azalmıştır. Bu azalma oranları her bir pH değeri için istatistiki olarak önemli bulunmuştur ($p < 0,05$). Azalma oranları ise başlangıçtaki laktoz oranına göre sırasıyla %4,76, 6,67, 36,19 ve 83,3 oranlarına karşılık gelmektedir.

Diğer yandan laktozun parçalanması ile loraltı suyunun KOİ ihtiyacında da azalmalar tespit edilmiştir. Kontrol örneğinde 56762 mgO/L olan KOİ değeri, 9,12 pH'da 54253 mgO/L'e, 10,11 pH'da 50646 mgO/L, 11,02 pH'da 50019 mgO/L'e ve 12 pH'da 40611 mgO/L'e düşmüştür ($p < 0,05$). Bu azalmalar da başlangıçtaki KOİ değerine oranla sırasıyla %4,4, %10,8, %11,9, ve %28,5 azalmaya karşılık gelmektedir. Diğer bir deyiş ile sadece 12 pH'da yapılan bir enolizasyon ile KOİ değerlerinde %25-30 oranında bir düşüş gerçekleştirmek mümkündür. Prazeres ve ark. (2020), ekstrem pH koşullarında (12-13) alkali uygulamasında (Ca(OH)_2 ve NaOH) peyniraltı suyunun KOİ değerinin %47' oranında azalabileceğini rapor etmişlerdir.

Ancak, geriye kalan %70-75 oranında bir KOİ'nin, laktozun parçalanma ürünlerinin veya loraltı suyunda laktoz dışındaki bileşiklerinden kaynaklandığı düşünülebilir. İstatistiki analizler laktoz ve KOİ azalma arasında 0,94 oranında bir korelasyon olduğunu göstermiştir.



Şekil 4.3. Loraltı sularının farklı pH değerlerinde enolizasyon sonucu elde edilen laktoz (%) ve KOİ (mg O₂/L) değerleri.

4.2. Farklı Uygulamaların ($\mu/\eta\text{O}_3$, $\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2$, $\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2+\text{UV-C}$) Loraltı Sularının Renk Özellikleri Üzerine Etkisi

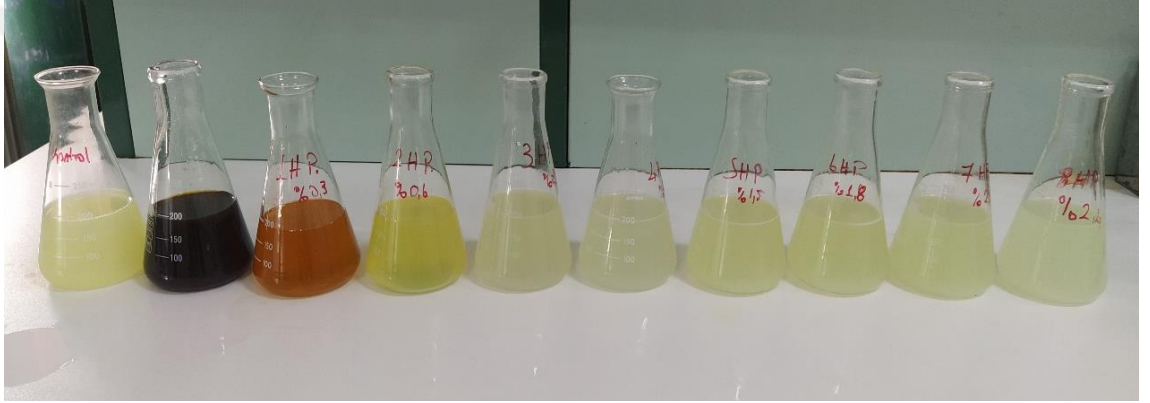
Araştırmanın ikinci aşamasında KOİ değerlerini en fazla düşüren 12 pH değerinde enolize edilmiş loraltı sularına sırasıyla;

- Mikro/nano ozon gazı kabarcığı ($\mu/\eta\text{O}_3$)
- $\mu/\eta\text{O}_3$ +Hidrojen peroksit (H_2O_2)
- $\mu/\eta\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{ultraviyole C (UV-C)}$ uygulamalarının etkisine bakılmıştır.

Şekil 4.4'te görüleceği üzere, enolizasyondan sonra sadece $\mu/\eta\text{O}_3$ uygulaması ile renklerde kademeli olarak bir açılma görülmektedir. Ozonlama işlemine 24 saat devam edilmesine karşın renkte açılma sarı rengin ötesine geçememiştir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. pH 12 değerinde enolizasyon işlemine tabi tutulmuş loraltı sularına farklı sürelerdeki mikro/nano ozon gazı kabarcığı uygulaması ($\mu/\eta\text{O}_3$), sonucu elde edilen renk değişimleri.



Şekil 4.5. pH 12 değerinde enolizasyon işlemine tabi tutulmuş loraltı sularına farklı sürelerdeki mikro/nano ozon gazı kabarcığı+hidrojen peroksit uygulaması ($\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2$) sonucu elde edilen renk değişimleri

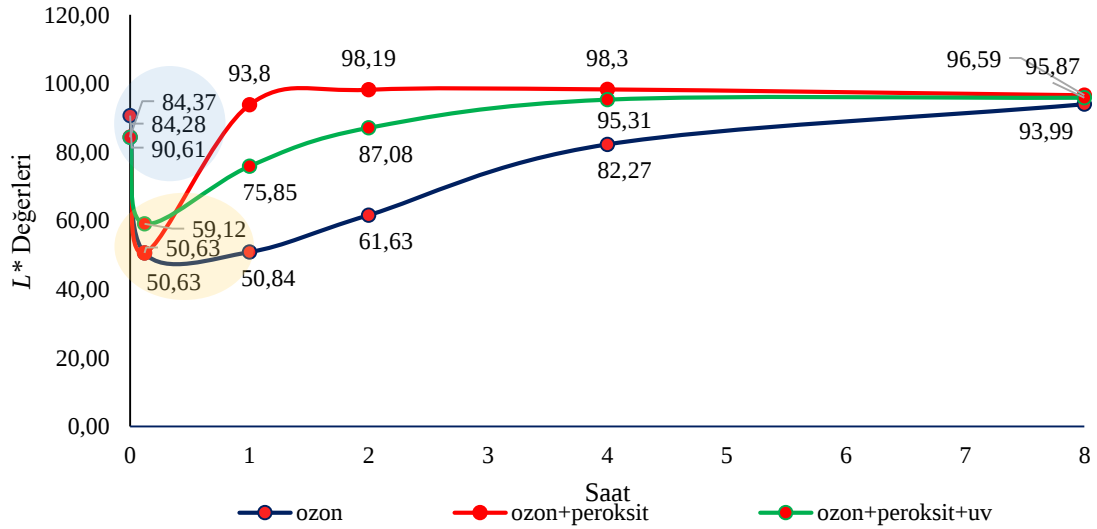


Şekil 4.6. pH 12 değerinde enolizasyon işlemine tabi tutulmuş loraltı sularına farklı sürelerdeki mikro/nano ozon gazı kabarcığı+hidrojen peroksit+ultraviyole-C ($\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2+\text{UV-C}$) uygulaması sonucu elde edilen renk değişimleri.

$\mu/\eta\text{O}_3$ uygulaması, H_2O_2 katımı ile birleştirildiğinde ise renk dönümü 3. saatte büyük ölçüde açılmakta (Şekil 4.5), bu uygulamalara UV-C ışını ilave edildiğinde ise renk değişiminin 5. Saate gerçekleştiği görülmektedir (Şekil 4.6).

4.2.1. L^* değerlerine etkisi.

Farklı uygulamaların loraltı sularının L^* değerleri üzerindeki etkisi Şekil 4.7’de verilmiştir. Şekil 4,7’de görüleceği üzere, enolizasyon işlemi L^* değerlerini önemli ölçüde düşürmüştür. pH 12 değerinde enolizasyon işlemine tabi tutulmuş loraltı sularına farklı sürelerdeki mikro/nano ozon gazı kabarcığı+hidrojenperoksit+ultraviyole-C ($\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2+\text{UV-C}$) uygulaması sonucu elde edilen L^* değerindeki değişimleri giderek arttırmıştır. Farklı uygulamaların ve uygulama sürelerinin L^* değeri üzerindeki interaksiyon etkisi önemli bulunmuştur ($p<0.05$).



Şekil 4.7. pH 12 değerinde enolizasyon işlemine tabi tutulmuş loraltı sularına farklı sürelerdeki mikro/nano ozon gazı kabarcığı ($\mu/\eta\text{O}_3$), mikro/nano ozon gazı kabarcığı+hidrojen peroksit ($\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2$) ve mikro/nano ozon gazı kabarcığı+hidrojen peroksit+ultraviyole-C ($\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2+\text{UV-C}$) uygulamaları sonucu elde edilen L^* değerindeki değişimler. Başlangıç değerleri mavi, enolizasyon sonrası değerler ise sarı bölge ile gösterilmiştir.

Her bir uygulamanın L^* değeri üzerinde etkisi farklı gerçekleşmiştir. Uygulamaların etkinlik sıralaması ise $\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2 > \mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2 + \text{UVC} > \mu/\eta\text{O}_3$ şeklinde olmuştur. Sekiz saatlik uygulama sonucunda deneme örneklerinin başlangıç değerlerinden daha yüksek L^* değerine sahip olduğu görülmüştür.

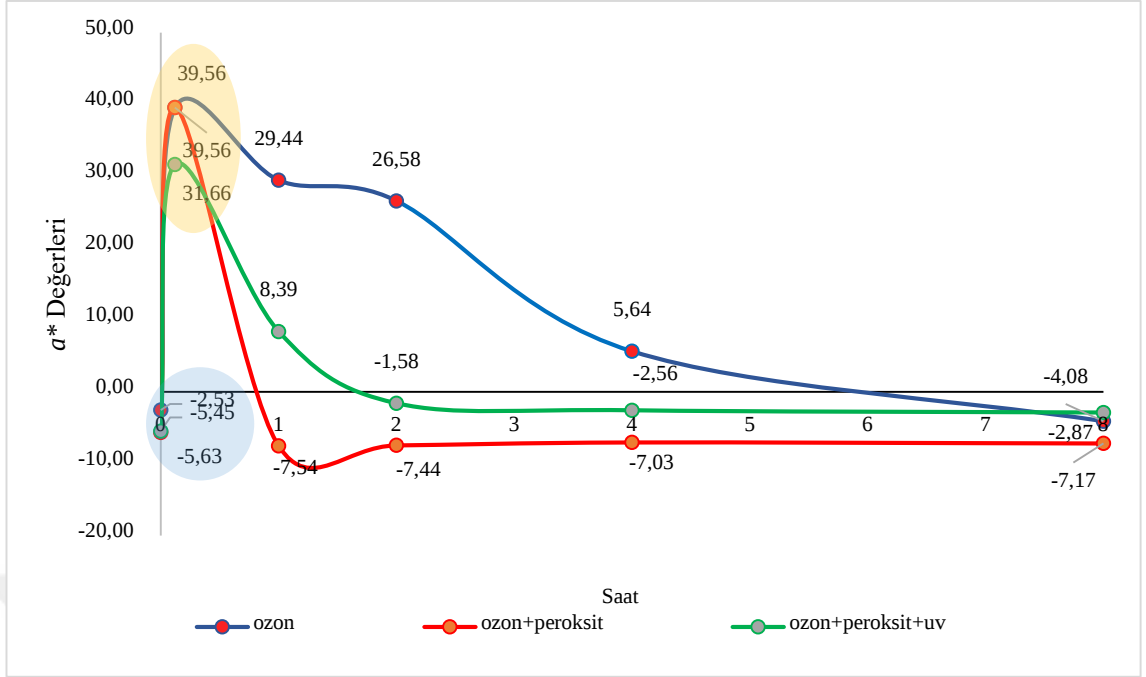
L^* değerleri, $\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2$ uygulaması ile 1 saat içerisinde, $\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2+\text{UVC}$ uygulaması ile 4 saat içinde ve sadece $\mu/\eta\text{O}_3$ uygulaması ile 8 saat içinde başlangıç lor altı suyu değerlerinin üzerine çıkmışlardır.

Bilindiği gibi, ürünün renk değerleri gün ışığını absorbe etmesi ve yansıtması ile direkt ilişkilidir ve L^* değeri parlaklık ile ilgili olduğundan, bu değerlerdeki artış uygulamaların enolizasyon sonucunda oluşan renk pigmentlerini büyük ölçüde parçaladığını ve sistemin daha fazla ışığı yansıttığı düşünülmektedir. Maillard reaksiyonu ürünlerinin ozon uygulaması ile parçalandıkları Kim ve ark., (1985) gösterilmiştir. Bu sonuçlar, görsel sonuçlar ile paralellik göstermektedir.

4.2.2. a^* ve b^* değerlerine etkisi.

Farklı uygulamaların, a^* değerleri üzerindeki etkisi Şekil 4.8’de verilmiştir. L^* değerlerindeki değişimlere benzer olarak a^* enolizasyon işlemi ile renk spektrumunun yeşil (-a) bölgesinden bir sıçrama yaparak spektrumun kırmızı (+a) bölgesine geçmiştir. Bu durumun, başlangıçta loraltı suyunun açık yeşil rengini veren pigmentlerin hem de enolizasyon sonucunda oluşan Maillard reaksiyonu (enzimatik olmayan esmerleşme) pigmentlerinden kaynaklandığı ileri sürülebilir. Enolizasyon işlemi ile artan a^* değerlerinin başlangıç seviyelerine dönüşü farklı uygulamalarda farklı sürelerde gerçekleşmiştir.

$\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2$ uygulamasında 1 saat içinde, $\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2+\text{UVC}$ uygulamasında 2 saat içinde sadece $\mu/\eta\text{O}_3$ uygulamasında ise 8 saat içinde gerçekleşmiştir. Farklı uygulamaların ve uygulama sürelerinin a^* değerleri üzerindeki etkisi istatistiki olarak önemli bulunmuştur ($p < 0,05$).

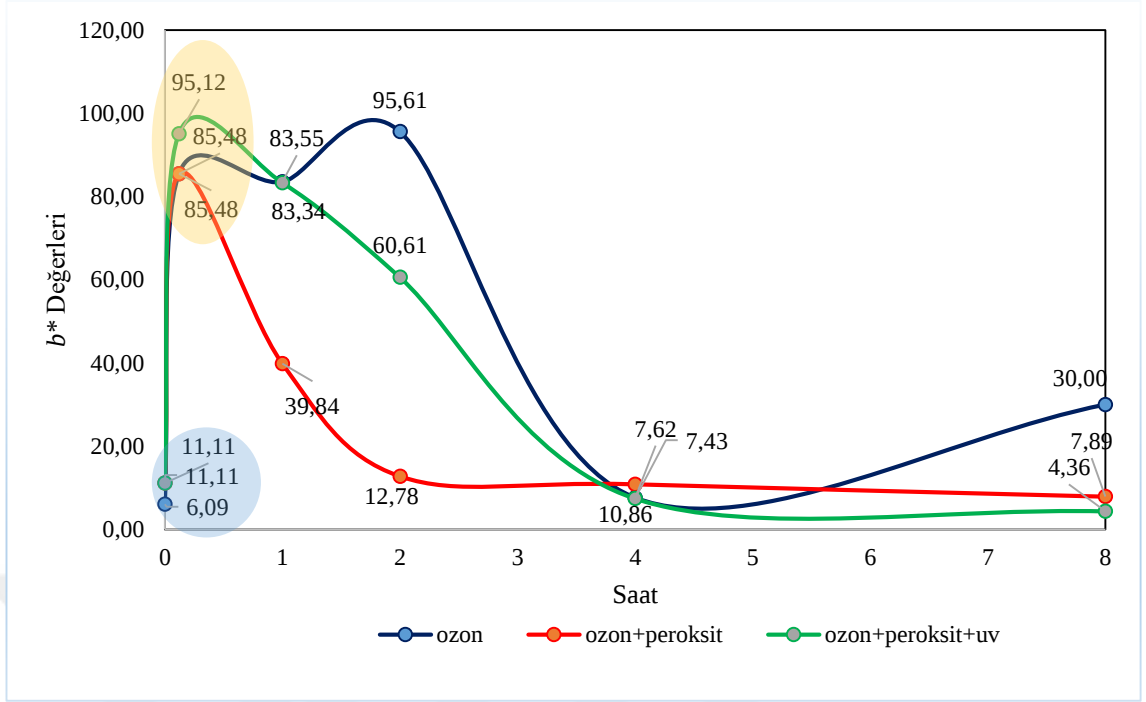


Şekil 4.8. pH 12 değerinde enolizasyon işlemine tabi tutulmuş loraltı sularına farklı sürelerdeki mikro/nano ozon gazı kabarcığı($\mu/\eta\text{O}_3$), mikro/nano ozon gazı kabarcığı+hidrojen peroksit($\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2$) ve mikro/nano ozon gazı kabarcığı+hidrojen peroksit+ultraviyole-C ($\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2+\text{UV-C}$) uygulaması sonucu elde edilen a^* değerindeki değişimler. Başlangıç değerleri mavi, enolizasyon sonrası değerler ise sarı bölge ile gösterilmiştir.

Benzer değişimler b^* değerinde de gözlenmiştir (Şekil 4.9). Yapılan oksidasyon uygulamaları ile başlangıç 6-11 aralığında olan b^* değerleri enolizasyon ile yaklaşık 8-9 kat artmış, diğer bir deyişle koyu sarı renge doğru değişim göstermiştir. $\mu/\eta\text{O}_3$ uygulaması ile 4 saat içinde başlangıç değerlerine ulaşılmış ve daha sonrasında azalma hızı yavaşlayarak devam etmiştir.

Ancak, b^* değerlerinin düşmesi ve loraltı su değerlerine yaklaşması yine farklı uygulamalar için farklı olduğu gözlenmiştir ($p<0,05$). B^* değerlerinde $\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2$ $\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2+\text{UVC}$ ile $\mu/\eta\text{O}_3$ uygulamalarında bu durum 4. saatte gerçekleşmiş olmasına karşın, $\mu/\eta\text{O}_3$ uygulamasında tekrar bir artış gözlenmiştir. b^* değerlerindeki azalmalar, ozon uygulanmış peyniraltı sularında Smith (2021) tarafından gösterilmiştir.

Renk değerlerinde meydana gelen bu değişimlerin yüksek oksidasyon potansiyeline sahip olan ozon gazının karotenler (Henry ve ark., 2000), suda ve yağda eriyen vitaminler (He ve ark., 2004) ve proteinler üzerindeki tahrip edici etkisinden (Uzun ve ark., 2012) kaynaklanacağı gösterilmiştir.



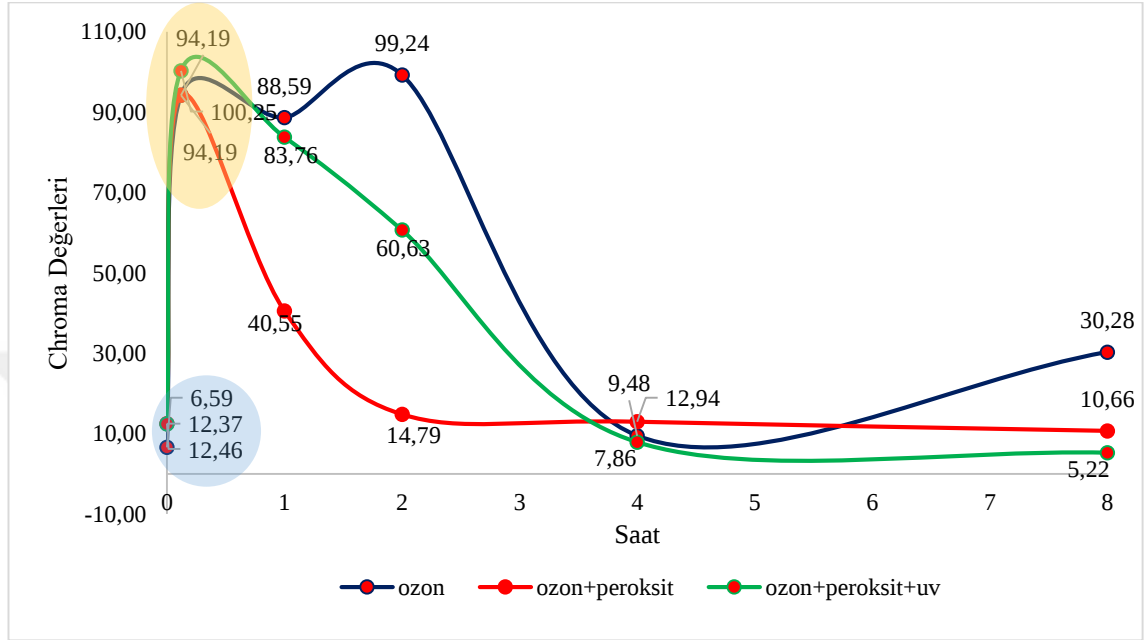
Şekil 4.9. pH 12 değerinde enolizasyon işlemine tabi tutulmuş loraltı sularına farklı sürelerdeki mikro/nano ozon gazı kabarcığı($\mu/\eta\text{O}_3$), mikro/nano ozon gazı kabarcığı+hidrojen peroksit($\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2$) ve mikro/nano ozon gazı kabarcığı+hidrojen peroksit+ultraviyole-C ($\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2+\text{UV-C}$) uygulaması sonucu elde edilen b^* değerindeki değişimler. Başlangıç değerleri mavi, enolizasyon sonrası değerler ise sarı bölge ile gösterilmiştir.

4.2.3. Kroma (C^*) değerlerine etkisi

Farklı oksidasyon uygulamalarını deneme örneklerinin Kroma değerleri (C^*) üzerine etkisi Şekil 4.10'da verilmektedir. Bilindiği üzere C^* değerleri renklerin yoğunluğu veya doygunluğunu gösterir. Hem Şekil 4.4'de hem de Şekil 4.6'da görüleceği üzere, enolizasyon uygulaması loraltı sularının renginde hem açık yeşilden koyu kahverengiye dönüştürmüştür, dolayısı ile C^* değerlerinin 8-9 kat artmasına neden olmuştur. Enolizasyon sonunda oluşan kahverengileşme Maillard reaksiyonunun varlığına işaret ettiği, yüksek C^* değerlerinin ise bu reaksiyonun şiddetini gösterdiği ileri sürülebilir.

Diğer uygulamalarda olduğu gibi enolizasyon ile artan C^* değerleri $\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2$ uygulaması ile 2 saatte, $\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2+\text{UVC}$ ve $\mu/\eta\text{O}_3$ uygulamaları ile 4 saatte başlangıç değerlerine yakın değerlere ulaşmışlardır ($p<0,05$). Bu noktadan sonra $\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2$ ve $\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2+\text{UVC}$ uygulamalarında dereceli bir azalma, $\mu/\eta\text{O}_3$ uygulamasında ise

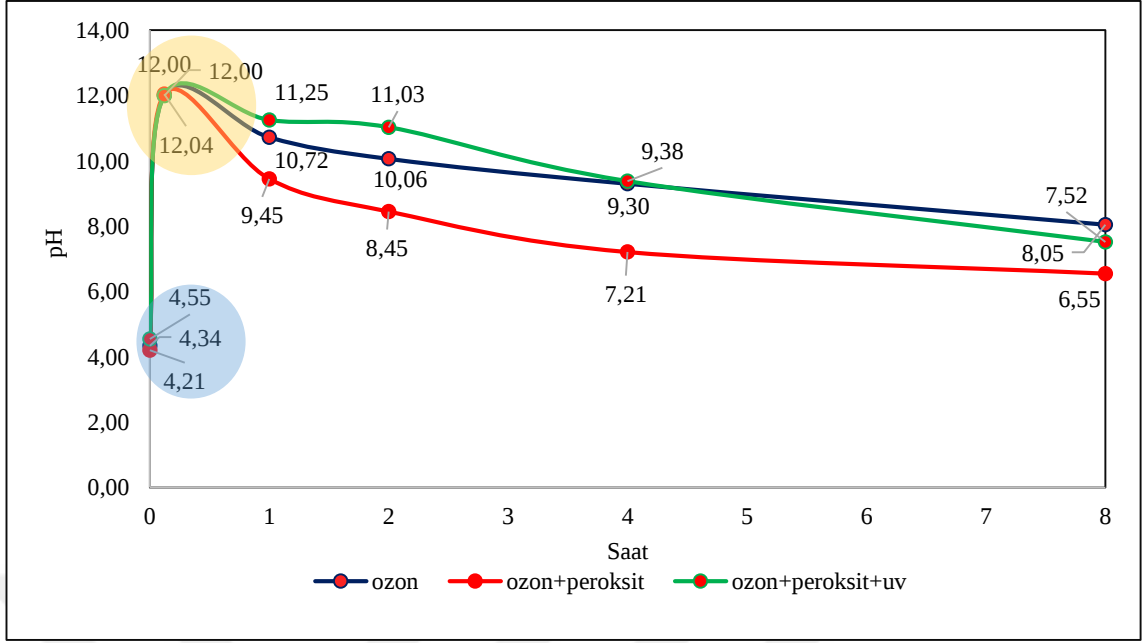
tedrici bir artış gözlenmiştir. $\mu/\eta\text{O}_3$ uygulaması ile hem b^* hem C^* değerlerinde gözlenen bu artış, bazı reaksiyonların tersinir olduğunu veya büyük bir olasılıkla yeni bazı bileşiklerin ortaya çıktığını göstermektedir.



Şekil 4.10. pH 12 değerinde enolizasyon işlemine tabi tutulmuş loraltı sularına farklı sürelerdeki mikro/nano ozon gazı kabarcığı($\mu/\eta\text{O}_3$), mikro/nano ozon gazı kabarcığı+hidrojen peroksit($\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2$) ve mikro/nano ozon gazı kabarcığı+hidrojen peroksit+ultraviyole-C ($\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2+\text{UV-C}$) uygulaması sonucu elde edilen kroma (C^*) değerindeki değişimler. Başlangıç değerleri mavi, enolizasyon sonrası değerler ise sarı bölge ile gösterilmiştir.

4.3. Farklı Uygulamaların ($\mu/\eta\text{O}_3$, $\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2$, $\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2+\text{UV-C}$) Loraltı Sularının pH'sı Üzerine Etkisi

Şekil 4.11’de farklı oksidasyon uygulamalarında 8 saat boyunca elde edilen pH değerleri verilmiştir. Bütün uygulamalarda başlangıçtaki artış pH ayarlanması amacıyla ilave edilen NaOH’den kaynaklanmaktadır. Ancak bütün uygulamalarda farklı düzeyde olmak üzere pH’da tedrici olarak azalma gözlenmiştir. Saptanan bu değişimler istatistiki olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$).



Şekil 4.11. pH 12 değerinde enolizasyon işlemine tabi tutulmuş loraltı sularına farklı sürelerdeki mikro/nano ozon gazı kabarcığı($\mu/\eta\text{O}_3$), mikro/nano ozon gazı kabarcığı+hidrojen peroksit($\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2$) ve mikro/nano ozon gazı kabarcığı+hidrojen peroksit+ultraviyole-C ($\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2+\text{UV-C}$) uygulaması sonucu elde edilen pH değerlerindeki değişimler. Başlangıç değerleri mavî, enolizasyon sonrası değerler ise sarı bölge ile gösterilmiştir.

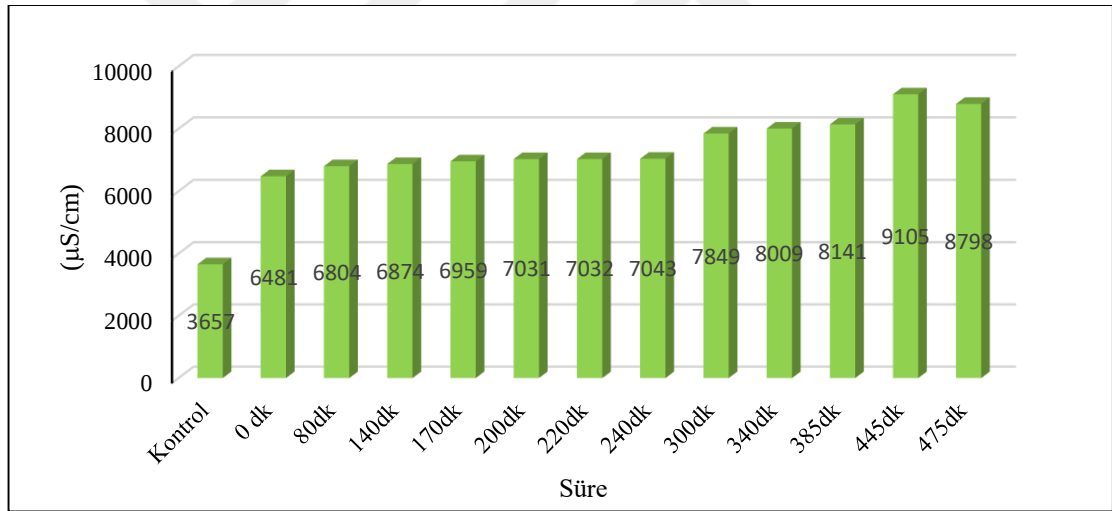
pH değerlerindeki değişim renk özelliklerinden farklı bir hızda ilerlemiştir. Bu durum, ozon uygulaması ile ortamda asit karakterde bileşenlerin (asetik asit, formik asit gibi) oluştuğunu (Liu ve ark., 2022) ve oluşan bu bileşenlerin enolizasyon ile yükseltelen ortam pH'sının nötralize edildiğini göstermektedir.

Nitekim 8 saatlik $\mu/\eta\text{O}_3$ uygulaması sonucunda pH değeri 12'den 8,05'e kadar düşmüştür. $\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2$ uygulaması ile 8 saatin sonucunda pH değeri 12'den 6,55'e kadar düşmüştür. $\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2+\text{UVC}$ uygulaması ile de pH değeri 12'den 7,52'e düşmüştür. Uygulanan yöntemler arasında pH üzerindeki en büyük etkiyi $\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2$ uygulaması göstermiştir.

4.4. Farklı Uygulamaların ($\mu/\eta\text{O}_3$, $\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2$, $\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2+\text{UV-C}$) Loraltı Sularının Elektrik İletkenliği Üzerine Etkisi

Ozon uygulamasının elektriksel iletkenlik üzerine direkt bir etkisi yoktur. Çünkü ozon uygulaması ile çoğunlukla organik materyallerin okside edilerek parçalanması böylece KOİ azaltılması amaçlanır.

Her ne kadar ozon sistemde var olan metalleri de okside ederek metal oksit oluşumunu ve bazen de oluşan metal oksitlerin çökmesi şeklinde elektriksel iletkenliği düşürebileceği speküle edilse de (Sarp ve ark., 2012), loraltı suyunda önemli bir metal içeriği bulunmadığı bilinmektedir. Ancak, 5. saatten sonra elektriksel iletkenlikte görülen artışın, ozonlama süresinin uzunluğundan dolayı meydana gelen buharlaşmanın konsantre edici etkisinden kaynaklandığı veya metal bağlayan bileşiklerin parçalanması sonucu bu metallerin iyon halinde açığa çıktığı ileri sürülebilir (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. pH 12 değerinde loraltı suyunun farklı sürelerdeki mikro/nano ozon kabarcık ($\mu/\eta\text{O}_3$) uygulaması sonucu elde edilen elektrik iletkenliği (Ec) değerleri.

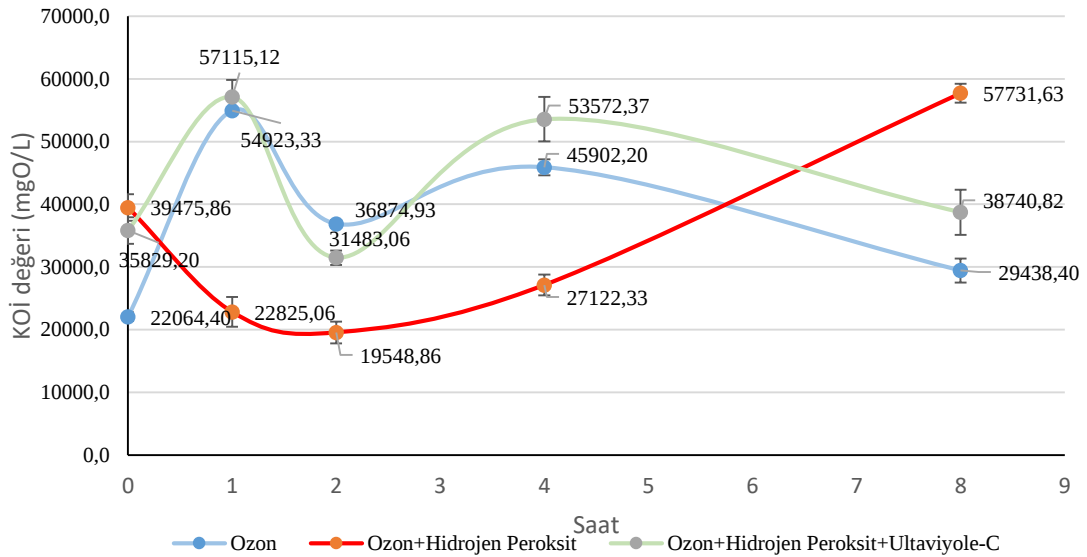
4.5. Farklı Uygulamaların ($\mu/\eta\text{O}_3$, $\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2$, $\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2+\text{UV-C}$) Loraltı Sularının Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) Üzerine Etkisi

Şekil 4.13’de uygulamaların loraltı suyunun KOİ değeri üzerine olan etkisi gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü ve daha önce enolizasyon bölümünde de gösterildiği üzere loraltı sularında 12 saatlik bir enolizasyon sonrası %24, 26 ve 36 değerinde KOİ ihtiyacında azalma sağlanmıştır. Ancak bu oranlar yasal deşarj limitinin (160 mgO₂/L)

çok üstündedir (Anonim, 2004). Bu neden ile $\mu/\eta\text{O}_3$, $\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2$ ve $\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2+\text{UV-C}$ uygulamaları ile numuneler 8 saat boyunca muamele edilmiştir.

Şekil 4.13 incelendiğinde farklı uygulamaların farklı derecede ve şekillerde sistemde etkili olduğu görülmektedir ($p<0,05$). Şekli iki bölümde değerlendirmek mümkündür. Şöyle ki; ilk 2 saat $\mu/\eta\text{O}_3$ ve $\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2+\text{UV-C}$ uygulamalarında KOİ değerlerinde önce artış sonra azalış gözlenir iken, $\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2$ uygulamasında beklediği üzere düzenli bir azalma gözlenmiştir. Ancak, 4 ve 8 saatlerde $\mu/\eta\text{O}_3$ ve $\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2+\text{UV-C}$ uygulamalarında KOİ değerleri önceki artış ve azalış gibi bir dalgalanma gösterir iken, $\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2$ uygulamasında düzenli bir artış gösterilmiştir. KOİ'deki bu değişimlerden, sadece $\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2$ uygulamasının ilk iki saatlik azalma literatür ile benzerlik göstermektedir.

Diğer uygulamalardaki davranışlar veya $\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2$ uygulamasının 4. ve 8. saatlerindeki artışlar ortamda biriken mikro/nano kabarcık uygulamasının analizler üzerindeki olumsuz etkisinden kaynaklandığı düşünülebilir. Nitekim, bu kadar uzun süre ve mikro/nano kabarcık halde verilen ozon gazının sistemdeki varlığının analiz sonucunu nasıl etkilediği sorusunun başka bir çalışma ile yanıtlanması gerekmektedir.



Şekil 4.13. pH 12 değerinde enolizasyon işlemine tabi tutulmuş loraltı sularına farklı sürelerdeki mikro/nano ozon gazı kabarcığı($\mu/\eta\text{O}_3$), mikro/nano ozon gazı kabarcığı+hidrojen peroksit ($\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2$) ve mikro/nano ozon gazı kabarcığı+hidrojen peroksit+ultraviyole-C ($\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2+\text{UV-C}$) uygulaması sonucu elde edilen KOİ değerleri.

Ancak, sistemin bilinenden daha kompleks olma ihtimalinin yanında, suda çözünen Maillard reaksiyonu ürünlerinin sistemin anitoksidant kapasitesini artırarak KOİ giderilmesini yavaşlatmasının etkisinin olabileceği de düşünülmelidir (Yılmaz ve Toledo, 2005; Shi ve ark, 2019; Liu ve Kitts, 2011).

Şekil 4.13’de görüldüğü üzere, $\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2$ uygulaması ile başlangıç KOİ değeri 39475 mgO_2/L , birinci saatin sonunda yaklaşık %42,2 oranında azalarak 22825 mgO_2/L , ikinci saatin sonunda ise yaklaşık %50,5 oranında azalarak 19458 mgO_2/L düzeyine düşmüştür. Elde edilen sonuçlar, Suresh ve ark. (2021) tarafından yapılan çalışmalar ile benzerlik göstermektedir. Ayrıca, ozon uygulamasının peyniraltı sularındaki proteinleri ve laktozu parçaladığı daha önceki çalışmalarda gösterilmiştir (Bella ve ark., 2023). Sonuçlar benzer nitelikte loraltı suları ile çalışan Özbül (2019) ile kıyaslandığında, tek başına mikro/nano ozon kullanımını, ozon gazının suya büyük kabarcıklar ile veremekten daha iyi bir giderme etkinliği sağladığı gösterilmiştir. Ancak, Özbül (2019) çalışmalarında FeCl_3 kullandığında KOİ giderme etkinliğini %95’e kadar yükseltmişlerdir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu araştırmada ülkemizde süt endüstrisi atıklarından loraltı suyunun esas olarak KOİ ihtiyacının giderilmesinde farklı pH larda (9, 10, 11 ve 12) enolizasyon reaksiyonun ve farklı sürelerde (1., 2., 4., 8. saat ve mikro/nano ozon gaz kabarcık teknolojisinin ($(\mu/\eta\text{O}_3)$) tek başına, hidrojen peroksit ile ikili ($(\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2)$), hidrojen peroksit ve ultraviyole-C ile üçlü ($(\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2+\text{UV-C})$) etkisine bakılmıştır. Elde edilen sonuçları aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür.

- En etkili enolizasyon işlemi loraltı suyunun pH sınır 12'ye ayarlanması ile gerçekleştirilmiştir. Bu işlem ile laktoz içeriği %1'in altına düşürülmüş, sistemin KOİ ihtiyacı ise %24-35 oranında azaltılmıştır.
- Enolizasyon sonucu oluşan koyu kahverengin giderilmesinde en hızlı ve etkili yöntem mikro/nano kabarcık haline getirilmiş ozonun hidrojen peroksit ($(\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2)$) ile kombine edildiği yöntemdir.
- Enolizasyonun hızlandırılması için 12'ye yükseltilebilir loraltı suyunun pH değerleri, uygulanan bütün yöntemlerde azalma göstermiştir.
- Farklı yöntemler arasında mikro/nano ozon gaz kabarcığı +hidrojen peroksit ($(\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2)$), ile enolizasyon sonrası KOİ değerleri ikinci saatin sonunda %52 oranında azaltılmıştır.

Araştırmada enolizasyon sonrasında uygulanan $\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2$ ile yaklaşık 56000 mgO_2/L olan başlangıç KOİ değerinin 19000 mgO_2/L değerine kadar, diğer bir deyişle yaklaşık %66 oranında azaltılması gerçekleştirilmiştir. Ancak bu değer yasal limit olan 160 mgO_2/L 'nin çok üzerinde bir değerdir. Buna rağmen, iki saat içerisinde KOİ değerinde yaklaşık %66 oranında bir azalması $\mu/\eta\text{O}_3$ teknolojisinin diğer oksidasyon teknikleri ile birlikte kullanıldığında sütçülük atıklarının KOİ ihtiyacının giderilmesinde ümit verici bir teknoloji olarak görülmektedir.

Araştırmada, bütün oksidasyon tekniklerinde ikinci saatten sonra görülen artışlar ortamdaki fazla mikro/nano ozon gaz kabarcığının KOİ analizi üzerinde etkili olduğu ve oksidasyonun ne kadar gerçekleştiğini maskeleyeceğini düşündürmektedir.

Sonuç olarak, gelecek araştırmalarda, en etkili yöntem olan ($\mu/\eta\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}_2$) uygulamasının, sabit pH da (12 pH) denenmesine ve enolizasyon ve oksidasyon sonucu açığa çıkan bileşiklerin sıvı kromatografisi ile ortaya konmasına ve farklı KOİ

analizlerinin mikro/nano ozon gazı kabarcığı içeren ortamlardaki hassasiyetinin belirlenmesine ihtiyaç vardır. Gelecekte bu konu üzerinde yapılan çalışmalarda katalizörlerin etkisinin de ortaya konması elzemdir.



KAYNAKLAR

- Anonim, 2004. **Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği**.
<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=7221&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>. (Erişim tarihi: 10.12.2023)
- AOAC., 1984. **Official Methods of Analysis of Association of Official Agricultural Chemists**. The Association of Agricultural Chemists, 14th Edition, p. 308, Washington.
- Assalin, M. R., Almeida, E. S., Rosa, M. A., Moraes, S. G., Duran, N., 2004. Application of ozonation process in industrial wastewaters: textile, kraft E-1 and whey effluents, **Environ. Technol.** 25 (8), 867–872.
- Azevedo, A., Oliveira, H. & Rubio, J., 2019., Bulk nanobubbles in the mineral and environmental areas: updating research and applications. **Advances in Colloid and Interface Science**, 271, 101992.
- Bella, K., Pilli, S., & Rao, P. V., 2023. A comparison of ultrasonic, ozone, and enzyme pre-treatments on cheese whey degradation for enhancement of anaerobic digestion. **Journal of Environmental Management**, 340, 117960.
- Brião VB, Granhen Tavares CR., 2007. Effluent generation by the dairy industry: preventive attitudes and opportunities. **Braz J Chem Eng.**, 24(4):487–497
- Carvalho, F., Prazeres A.R., Rivas J., 2013. Cheese whey wastewater: Characterization and treatment. **Science of the Total Environment** 445–446 (2013) 385–396.
- Chandan, R.C., 2008. Whey and Whey Products. (R.C. Chandan, Editör). **In Book Dairy Processing & Quality Assurance**. New Jersey, ISBN: 978-0-813-82756-8, 338, USA.
- Cáceres G.X., Cáceres R.E., Hein D., Molina M.G., Pia J.M., 2012. Biogas production from grape pomace: thermodynamic model of the process and dynamic model of the power, **Int. J. Hyd. En.**, 37,1011–1017. DOI: 10.1016/j.ijhydene.
- Carvalho F., Prazeres A., Rivas J., 2011. **Effect of alkali agents in the pre-treatment of cheese whey wastewater by coagulation-flocculation**, Proc. 14th World Water Congress, International Water Resources Association and Water and Energy Resources Secretariat of Pernambuco State, Porto de Galinhas-PE, Brazil, 2011.
- dos Santos Pereira, M., Borges, A. C., Heleno, F. F., Faroni, L. R. D. A., & da Silva, J. C. G. E., 2018. Experimental design optimization of dairy wastewater ozonation treatment. **Water, Air, & Soil Pollution**, 229, 1-11.
- Ekici, L., Sağdıç, O., Kesmen, Z., 2006. Gıda Endüstrisinde Alternatif Bir Dezenfektan: Ozon. **Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi**, ISSN: 1306-7648, (1): 47-57.
- Escalante H.,Castro L.,Besson V.,Jaimes-Estévez J., 2017. Feasibility of the anaerobic process of Cheese Whey in a plug flow reactor (PFR) under local conditions. **Ing., Inv. Techn.**, 18, 265–277. DOI:10.22201/fi.25940732e.2017.18n3.024
- Feil, A. A., Schreiber, D., Haetinger, C., Haberkamp, Â. M., Kist, J. I., Rempel, C., Maehler, A. E., Gomes, M. C., & da Silva, G. R., 2020. Sustainability in the dairy industry: a systematic literature review. **Environmental science and pollution research**, 27, 33527-33542.
- Gutiérrez J. L. R., Encina P. A. G., Polanco F. F., 1991. Anaerobic treatment of cheese production wastewater using UASB reactor. **Bioresource Technology**, 37(3):271–6.
- Güneş, E., Güneş, Y., Hanedar, A., Kaykioğlu, G., & Çelik, A., 2022. Treatment of dairy industry wastewater by variations of coagulation-flocculation and ozonation.

Sigma Journal of Engineering And Natural Sciences-Sigma Muhendislik ve Fen Bilimleri Dergisi. 40(4), 755-761.

- Güven G., Perendeci A., Tanyolac A., 2008, Electrochemical treatment of deproteinated whey wastewater and optimization of treatment conditions with response surface methodology, **J. Hazard. Mater.**,157 (1), 69–78. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2007.12.082.
- Guzel-Seydim Z B., Greene A. K. ve Seydim A. C., 2004. Use of ozone in the food industry LWT- **Food Science and Technology** 37 453–460.
- He Q.C., Krone K., Scherl D., Kotler M., Tavakkol A., 2004. The Use of Ozone as an Oxidizing Agent to Evaluate Antioxidant Activities of Natural Substrates. **Skin Pharmacol Physiol**, 17:183–189.
- Henry L. K., Puspitasari-Nienaber N. L., Manuel Jarén-Galán M., Breemen R. B., Catignani G. L., Schwartz S. J., 2000. Effects of Ozone and Oxygen on the Degradation of Carotenoids in an Aqueous Model System. **J. Agric. Food Chem.**, 48, 5008-5013.
- Jean, K., Renan, M., Famelart, M. H., & Guyomarc'h, F., 2006. Structure and surface properties of the serum heat-induced protein aggregates isolated from heated skim milk. **International Dairy Journal**, 16(4), 303-315.
- Khan P., Zhu W., Huang, F., Gao, W., Khan, N.A., 2020 Micro-Nanobubble Technology and Water-Related Application. **Water Sci Technol Water Supply**, (2020:20):2021-2035.
- Kim, S. B., Hayase, F., & Kato, H., 1985. Decolorization and degradation products of melanoidins on ozonolysis. **Agricultural and Biological Chemistry**, 49(3), 785-792.
- László Z., Kertész S., Beszédes S., Hovorka-Horváth Z., Szabó G., and Hodúr C., 2009. Effect of preozonation on the filterability of model dairy waste water in nanofiltration. **Desalination** 240 170–177.
- Liu, L., Liu, L., Xie, J., & Shen, M., 2022. Formation mechanism of AGEs in Maillard reaction model systems containing ascorbic acid. **Food chemistry**, 378, 132108.
- Liu, Y., Zhang, W., Zhang, L., Hettinga, K., & Zhou, P. (2020). **Characterizing the changes of bovine milk serum proteins after simulated industrial processing.** **LWT**, 133, 110101.
- Martins R. C., Quinta-Ferreira R. M., 2010. Final remediation of post-biological treated milk whey wastewater by ozone. **International Journal of Chemical Reactor Engineering**, Volume 8 Article A142.
- McSweeney, P., 2004. Biochemistry of Cheese Ripening. **International Journal of Dairy Technology**, (57): 127-144.
- Newton, A. E., Fairbanks, A. J., Golding, M., Andrewes, P., & Gerrard, J. A., 2012. The role of the Maillard reaction in the formation of flavour compounds in dairy products—not only a deleterious reaction but also a rich source of flavour compounds. **Food & Function**, 3(12), 1231-1241.
- Özbuldu, N., 2019. Peyniraltı ve Loraltı Suyuna Ozon Uygulaması. **Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü**, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Hatay, 54 sayfa.
- Pal, P., Joshi, A., Anantharaman, H., 2022. Nanobubble Ozonation for Waterbody Rejuvenation at Different Locations in India: A Holistic and Sustainable Approach. **Results in Engineering**. (16 (2022) 100725), 1-9.

- Panesar P.S., Kennedy J.F., Gandhi D.N., Bunko K., 2007. Bioutilisation of whey for lactic acid production. *Food Chem.* 105(1):1-14.
- Pereira C.D., Díaz O., Cobos A., 2002. Valorization of by-products from ovine cheese manufacture: clarification by thermocalcic precipitation/microfiltration before ultrafiltration. *Int Dairy J*, 12(9):773–83.
- Poništ, J., Dubšíková, V., Schwarz, M., & Samešová, D., 2021. Methods of processing whey waste from dairies. A review. *Environment Protection Engineering*, 47(4).
- Prazeres, A. R., Luz, S., Fernandes, F., & Jeronimo, E. (2020). Cheese wastewater treatment by acid and basic precipitation: Application of H₂SO₄, HNO₃, HCl, Ca (OH) 2 and NaOH. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(2), 103556.
- Rivas J., Prazeres A.R., Carvalho F., Beltrán F., 2010. Treatment of cheese whey wastewater: Combined coagulation-flocculation and aerobic biodegradation. *J. Agr. Food Chem.*, 58 (13), 7871–7877. DOI: 10.1021/jf100602j.
- Sarp, S., Stanford, B., Snyder, S. A., & Cho, J., 2011. Ozone oxidation of desalinated seawater, with respect to optimized control of boron and bromate. *Desalination & Water Treatment*, 27.
- Shi, Y., Liang, R., Chen, L., Liu, H., Goff, H. D., Ma, J., & Zhong, F., 2019. The antioxidant mechanism of Maillard reaction products in oil-in-water emulsion system. *Food Hydrocolloids*, 87, 582-592.
- Sivrioğlu, Ö., & Yonar, T., 2015. Determination of the acute toxicities of physicochemical pretreatment and advanced oxidation processes applied to dairy effluents on activated sludge. *Journal of Dairy Science*, 98(4), 2337-2344.
- Smith, T., 2012. Bleaching Efficacy of Ozone Gas in Liquid Whey and its Effects on Flavor of 80% Whey Protein Concentrate and Norbixin Partitioning in Full Fat and Fat Free Cheddar Cheese (Under the direction of Dr. MaryAnne Drake). MScThesis. the **Graduate Faculty of North Carolina State University**, Raleigh, North Carolina.
- Suresh, R., Rajoo, B., Chenniappan, M., & Palanichamy, M., 2021. Experimental analysis on the synergistic effect of combined use of ozone and UV radiation for the treatment of dairy industry wastewater. *Environmental Engineering Research*, 26(5).
- Takahashi, M., Chiba, K. & Li, P., 2007. Free-radical generation from collapsing microbubbles in the absence of a dynamic stimulus. *The Journal of Physical Chemistry B*, 111 (6), 1343–1347.
- Un U.T., Kandemir A., Erginel N., Ocal S.E., 2014, Continuous electrocoagulation of cheese whey wastewater. An application of response surface methodology, *J. Environ. Manage.*, 2014, 146, 245–250. DOI: 10.1016/j.jenvman.2014.08.006.
- Uzun H., İbanoğlu E., Çatal H., İbanoğlu Ş., 2012. Effects of ozone on functional properties of proteins. *Food Chemistry* 134, 647-654.
- Üçüncü, M., 2008. **A'dan Z'ye Peynir Teknolojisi cilt II**. 691 s. Meta Basım Matbaacılık Hizmetleri, İzmir.
- Vourch M, Balannec B, Chaufer B, Dorange G., 2008. Treatment of dairy industry wastewater by reverse osmosis for water reuse. *Desalination* 219(1–3):190–202
- Yilmaz, Y., & Toledo, R. (2005). Antioxidant activity of water-soluble Maillard reaction products. *Food chemistry*, 93(2), 273-278.
- Zakar, M., Farkas, D. I., Lakatos, E. H., Keszthelyi-Szabó, G., & László, Z., 2020. Purification of model dairy wastewaters by ozone, Fenton pre-treatment and

membrane filtration. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, 64(3), 357-363.



ÖZGEÇMİŞ

Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü'nü 2014 yılında kazandı. Üniversiteden 2018 yılında mezun oldu. Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalında 2019 yılında Yüksek Lisans öğrenimine başlamış olup halen devam etmektedir.



EKLER

EK 1. Loraltı sularının farklı pH değerlerinde enolizasyon sonucu elde edilen laktoz değerlerine ait istatistiki değerlendirmeler.

Tanımlayıcı İstatistik

LAKTOZ

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean	
					Lower Bound	Upper Bound
455	2	4,2900	,01414	,01000	4,1629	4,4171
915	2	3,9950	,00707	,00500	3,9315	4,0585
1011	2	3,9350	,02121	,01500	3,7444	4,1256
1103	2	2,6900	,01414	,01000	2,5629	2,8171
1200	2	,7650	,02121	,01500	,5744	,9556
Total	10	3,1350	1,37673	,43536	2,1501	4,1199

ANOVA

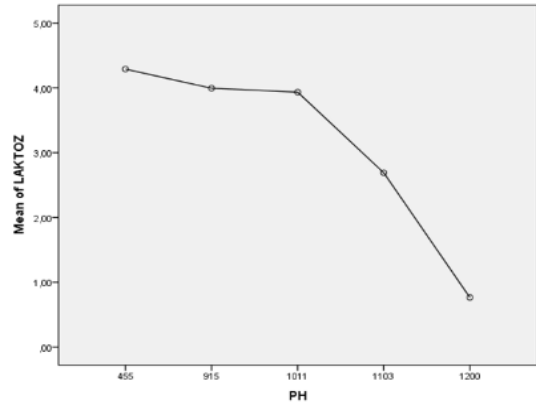
LAKTOZ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	17,057	4	4,264	15793,611	,000
Within Groups	,001	5	,000		
Total	17,058	9			

Post Hoc Tests

Duncan^a

PH	N	Subset for alpha = 0.05				
		1	2	3	4	5
1200	2	,7650				
1103	2		2,6900			
1011	2			3,9350		
915	2				3,9950	
455	2					4,2900
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000



EK 2. Loraltı sularının farklı pH değerlerinde enolizasyon sonucunda elde edilen KOİ değerleri ait istatistiki değerlendirmeler.

Descriptive Statistics

KOİ

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean	
					Lower Bound	Upper Bound
455	2	56806,0000	62,22540	44,00000	56246,9270	57365,0730
915	2	54209,5000	61,51829	43,50000	53656,7801	54762,2199
1011	2	50381,0000	374,76659	265,00000	47013,8557	53748,1443
1103	2	49752,0000	377,59502	267,00000	46359,4433	53144,5567
1200	2	40517,0000	132,93607	94,00000	39322,6168	41711,3832
Total	10	50333,1000	5845,69890	1848,57230	46151,3389	54514,8611

ANOVA

KOİ

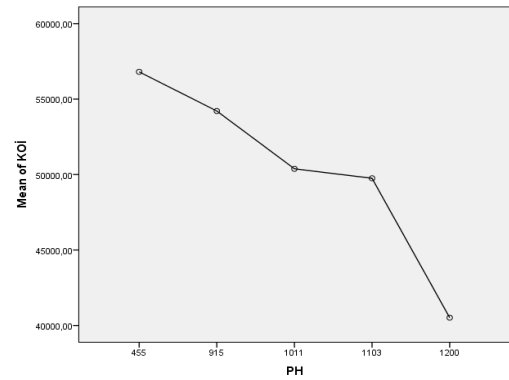
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	307241404,400	4	76810351,100	1245,480	,000
Within Groups	308356,500	5	61671,300		
Total	307549760,900	9			

Post Hoc Tests

KOİ

Duncan^a

PH	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
1200	2	40517,0			
1103	2		49752,0		
1011	2		50381,0		
915	2			54209,5	
455	2				56806,0
Sig.		1,000	,052	1,000	1,000



EK 3. 12 pH değerinde loraltı suyunun farklı sürelerdeki (1, 2, 4 ve 8.saat) ozon, ozon+hidrojen peroksit ve ozon+hidrojen peroksit+uvc birlikte uygulamaları sonucu elde edilen renkteki L^* değerleri

Descriptive Statistics

Dependent Variable: L^*

Treatment	Saat	Mean	Std. Dev.	N
Ozon	Saat 0	50,6333	,15631	3
	Saat 1	50,8433	,34078	3
	Saat 2	61,6333	,11015	3
	Saat 4	82,2700	,19000	3
	Saat 8	93,9900	,33645	3
	Total	67,8740	18,02214	15
Ozon +Hidrojen Peroksit	Saat 0	50,6333	,15631	3
	Saat 1	93,7967	,28024	3
	Saat 2	98,1933	,28361	3
	Saat 4	98,3033	,29704	3
	Saat 8	96,5900	,31765	3
	Total	87,5033	19,15763	15
Ozon+Hidrojen Peroksit+UVC	Saat 0	59,1200	,01000	3
	Saat 1	75,8500	,00000	3
	Saat 2	87,0833	,01155	3
	Saat 4	95,3133	,00577	3
	Saat 8	95,8700	,00000	3
	Total	82,6473	14,30298	15
Total	Saat 0	53,4622	4,24478	9
	Saat 1	73,4967	18,68420	9
	Saat 2	82,3033	16,23250	9
	Saat 4	91,9622	7,38567	9
	Saat 8	95,4833	1,18538	9
	Total	79,3416	18,88069	45

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: L^*

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	15683,786 ^a	14	1120,270	24902,277	,000
Intercept	283278,710	1	283278,710	6296948,200	,000
Treatment	3135,714	2	1567,857	34851,595	,000
Saat	10192,617	4	2548,154	56642,431	,000
Treatment * Saat	2355,455	8	294,432	6544,871	,000
Error	1,350	30	,045		
Total	298963,846	45			
Corrected Total	15685,136	44			

Multiple Comparisons

Dependent Variable: *L**

LSD

(I) Treatment	(J) Treatment	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval
					Lower Bound
Ozon	Ozon +Hidrojen Peroksit	-19,6293*	,07745	,000	-19,7875
	Ozon+Hidrojen Peroksit+UVC	-14,7733*	,07745	,000	-14,9315
Ozon +Hidrojen Peroksit	Ozon	19,6293*	,07745	,000	19,4712
	Ozon+Hidrojen Peroksit+UVC	4,8560*	,07745	,000	4,6978
Ozon+Hidrojen Peroksit+UVC	Ozon	14,7733*	,07745	,000	14,6152
	Ozon +Hidrojen Peroksit	-4,8560*	,07745	,000	-5,0142

Multiple Comparisons

Dependent Variable: *L**

LSD

(I) Saat	(J) Saat	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Saat 0	Saat 1	-20,0344*	,09999	,000	-20,2386	-19,8302
	Saat 2	-28,8411*	,09999	,000	-29,0453	-28,6369
	Saat 4	-38,5000*	,09999	,000	-38,7042	-38,2958
	Saat 8	-42,0211*	,09999	,000	-42,2253	-41,8169
Saat 1	Saat 0	20,0344*	,09999	,000	19,8302	20,2386
	Saat 2	-8,8067*	,09999	,000	-9,0109	-8,6025
	Saat 4	-18,4656*	,09999	,000	-18,6698	-18,2614
	Saat 8	-21,9867*	,09999	,000	-22,1909	-21,7825
Saat 2	Saat 0	28,8411*	,09999	,000	28,6369	29,0453
	Saat 1	8,8067*	,09999	,000	8,6025	9,0109
	Saat 4	-9,6589*	,09999	,000	-9,8631	-9,4547
	Saat 8	-13,1800*	,09999	,000	-13,3842	-12,9758
Saat 4	Saat 0	38,5000*	,09999	,000	38,2958	38,7042
	Saat 1	18,4656*	,09999	,000	18,2614	18,6698
	Saat 2	9,6589*	,09999	,000	9,4547	9,8631
	Saat 8	-3,5211*	,09999	,000	-3,7253	-3,3169
Saat 8	Saat 0	42,0211*	,09999	,000	41,8169	42,2253
	Saat 1	21,9867*	,09999	,000	21,7825	22,1909
	Saat 2	13,1800*	,09999	,000	12,9758	13,3842
	Saat 4	3,5211*	,09999	,000	3,3169	3,7253

EK 4. 12 pH değerinde loralı suyunun farklı sürelerdeki (1, 2, 4 ve 8.saat) ozon, ozon+hidrojen peroksit ve ozon+hidrojen peroksit+uvc birlikte uygulamaları sonucu elde edilen renkteki a^* değerleri.

Descriptive Statistics

Dependent Variable: a^*

Treatment	Saat	Mean	Std. Deviation	N
Ozon	Saat 0	39,5600	,23302	3
	Saat 1	29,4433	,43616	3
	Saat 2	26,5800	,04583	3
	Saat 4	5,6367	,41405	3
	Saat 8	-4,0767	,71675	3
	Total	19,4287	16,69076	15
Ozon + Hidroper	Saat 0	39,5600	,23302	3
	Saat 1	-7,5433	,62308	3
	Saat 2	-7,4400	,68286	3
	Saat 4	-7,0333	,57117	3
	Saat 8	-7,1733	,82106	3
	Total	2,0740	19,40879	15
Ozon + Hidroper+UVC	Saat 0	31,6600	,01000	3
	Saat 1	8,3867	,00577	3
	Saat 2	-1,5767	,02517	3
	Saat 4	-2,5633	,01528	3
	Saat 8	-2,8700	,01000	3
	Total	6,6073	13,66723	15
Total	Saat 0	36,9267	3,95344	9
	Saat 1	10,0956	16,07140	9
	Saat 2	5,8544	15,75387	9
	Saat 4	-1,3200	5,57613	9
	Saat 8	-4,7067	1,99812	9
	Total	9,3700	17,97705	45

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: a^*

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	14213,989 ^a	14	1015,285	5358,458	,000
Intercept	3950,861	1	3950,861	20851,802	,000
Treatment	2430,611	2	1215,305	6414,124	,000
Saat	9762,157	4	2440,539	12880,647	,000
Treatment * Saat	2021,222	8	252,653	1333,447	,000
Error	5,684	30	,189		
Total	18170,534	45			
Corrected Total	14219,673	44			

Multiple Comparisons

Dependent Variable: a *

LSD

(I) Treatment	(J) Treatment	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval
					Lower Bound
Ozon	Ozon +Hidroper	17,3547*	,15894	,000	17,0301
	Ozon+Hidroper+UVC	12,8213*	,15894	,000	12,4967
Ozon +Hidroper	Ozon	-17,3547*	,15894	,000	-17,6793
	Ozon+Hidroper+UVC	-4,5333*	,15894	,000	-4,8579
Ozon+Hidroper+UVC	Ozon	-12,8213*	,15894	,000	-13,1459
	Ozon +Hidroper	4,5333*	,15894	,000	4,2087

Multiple Comparisons

Dependent Variable: a *

LSD

(I) Saat	(J) Saat	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Saat 0	Saat 1	26,8311*	,20520	,000	26,4120	27,2502
	Saat 2	31,0722*	,20520	,000	30,6532	31,4913
	Saat 4	38,2467*	,20520	,000	37,8276	38,6657
	Saat 8	41,6333*	,20520	,000	41,2143	42,0524
Saat 1	Saat 0	-26,8311*	,20520	,000	-27,2502	-26,4120
	Saat 2	4,2411*	,20520	,000	3,8220	4,6602
	Saat 4	11,4156*	,20520	,000	10,9965	11,8346
	Saat 8	14,8022*	,20520	,000	14,3832	15,2213
Saat 2	Saat 0	-31,0722*	,20520	,000	-31,4913	-30,6532
	Saat 1	-4,2411*	,20520	,000	-4,6602	-3,8220
	Saat 4	7,1744*	,20520	,000	6,7554	7,5935
	Saat 8	10,5611*	,20520	,000	10,1420	10,9802
Saat 4	Saat 0	-38,2467*	,20520	,000	-38,6657	-37,8276
	Saat 1	-11,4156*	,20520	,000	-11,8346	-10,9965
	Saat 2	-7,1744*	,20520	,000	-7,5935	-6,7554
	Saat 8	3,3867*	,20520	,000	2,9676	3,8057
Saat 8	Saat 0	-41,6333*	,20520	,000	-42,0524	-41,2143
	Saat 1	-14,8022*	,20520	,000	-15,2213	-14,3832
	Saat 2	-10,5611*	,20520	,000	-10,9802	-10,1420
	Saat 4	-3,3867*	,20520	,000	-3,8057	-2,9676

EK 5. 12 pH değerinde loraltı suyunun farklı sürelerdeki (1, 2, 4 ve 8.saat) ozon, ozon+hidrojen peroksit ve ozon+hidrojen peroksit+uv birlikte uygulamaları sonucu elde edilen renkteki b^* değerleri

Descriptive Statistics

Dependent Variable: b^*

Treatment	Saat	Mean	Std. Deviation	N
Ozon	Saat 0	85,4800	,15588	3
	Saat 1	83,5533	,45325	3
	Saat 2	95,6133	,15011	3
	Saat 4	70,6233	,19655	3
	Saat 8	29,9967	,56048	3
	Total	73,0533	23,75685	15
Ozon + Hidroper	Saat 0	85,4800	,15588	3
	Saat 1	39,8433	,47711	3
	Saat 2	12,7800	,44800	3
	Saat 4	10,8567	5,68574	3
	Saat 8	7,9800	,58949	3
	Total	31,3880	30,47921	15
Ozon + Hidroper+UVC	Saat 0	95,1200	,01000	3
	Saat 1	83,3367	,04726	3
	Saat 2	60,6133	,03512	3
	Saat 4	7,4300	,01732	3
	Saat 8	4,3600	,00000	3
	Total	50,1720	39,15590	15
Total	Saat 0	88,6933	4,82126	9
	Saat 1	68,9111	21,80353	9
	Saat 2	56,3356	36,01187	9
	Saat 4	29,6367	30,90697	9
	Saat 8	14,1122	12,02289	9
	Total	51,5378	35,49447	45

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: b^*

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	55366,258 ^a	14	3954,733	1758,354	,000
Intercept	119526,414	1	119526,414	53143,846	,000
Treatment	13061,970	2	6530,985	2903,807	,000
Saat	32271,458	4	8067,865	3587,135	,000
Treatment * Saat	10032,829	8	1254,104	557,600	,000
Error	67,473	30	2,249		
Total	174960,145	45			
Corrected Total	55433,731	44			

Multiple Comparisons

Dependent Variable: *b**

LSD

(I) Treatment	(J) Treatment	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval
					Lower Bound
Ozon	Ozon +Hidroper	41,6653*	,54761	,000	40,5470
	Ozon+Hidroper+UVC	22,8813*	,54761	,000	21,7630
Ozon +Hidroper	Ozon	-41,6653*	,54761	,000	-42,7837
	Ozon+Hidroper+UVC	-18,7840*	,54761	,000	-19,9024
Ozon+Hidroper+UVC	Ozon	-22,8813*	,54761	,000	-23,9997
	Ozon +Hidroper	18,7840*	,54761	,000	17,6656

Multiple Comparisons

Dependent Variable: *b**

LSD

(I) Saat	(J) Saat	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Saat 0	Saat 1	19,7822*	,70697	,000	18,3384	21,2260
	Saat 2	32,3578*	,70697	,000	30,9140	33,8016
	Saat 4	59,0567*	,70697	,000	57,6128	60,5005
	Saat 8	74,5811*	,70697	,000	73,1373	76,0249
Saat 1	Saat 0	-19,7822*	,70697	,000	-21,2260	-18,3384
	Saat 2	12,5756*	,70697	,000	11,1317	14,0194
	Saat 4	39,2744*	,70697	,000	37,8306	40,7183
	Saat 8	54,7989*	,70697	,000	53,3551	56,2427
Saat 2	Saat 0	-32,3578*	,70697	,000	-33,8016	-30,9140
	Saat 1	-12,5756*	,70697	,000	-14,0194	-11,1317
	Saat 4	26,6989*	,70697	,000	25,2551	28,1427
	Saat 8	42,2233*	,70697	,000	40,7795	43,6672
Saat 4	Saat 0	-59,0567*	,70697	,000	-60,5005	-57,6128
	Saat 1	-39,2744*	,70697	,000	-40,7183	-37,8306
	Saat 2	-26,6989*	,70697	,000	-28,1427	-25,2551
	Saat 8	15,5244*	,70697	,000	14,0806	16,9683
Saat 8	Saat 0	-74,5811*	,70697	,000	-76,0249	-73,1373
	Saat 1	-54,7989*	,70697	,000	-56,2427	-53,3551
	Saat 2	-42,2233*	,70697	,000	-43,6672	-40,7795
	Saat 4	-15,5244*	,70697	,000	-16,9683	-14,0806

EK 6. 12 pH değerinde loraltı suyunun farklı sürelerdeki (1, 2, 4 ve 8.saat) ozon, ozon+hidrojen peroksit ve ozon+hidrojen peroksit+uv birlikte uygulamaları sonucu elde edilen renkteki Croma (C*) değerleri.

Descriptive Statistics

Dependent Variable: C*

Treatment	Saat	Mean	Std. Deviation	N
Ozon	Saat 0	94,1900	1,04000	3
	Saat 1	86,3933	3,11240	3
	Saat 2	99,2400	2,01000	3
	Saat 4	9,5133	,61068	3
	Saat 8	30,2800	1,16000	3
	Total	63,9233	38,09269	15
Ozon + Hidroper	Saat 0	94,1900	1,97000	3
	Saat 1	40,5500	3,68000	3
	Saat 2	14,7900	,30000	3
	Saat 4	12,9400	1,38000	3
	Saat 8	10,6600	,43000	3
	Total	34,6260	32,84428	15
Ozon + Hidroper+UVC	Saat 0	100,2500	,27000	3
	Saat 1	83,7667	1,48001	3
	Saat 2	60,6300	1,27000	3
	Saat 4	7,8600	,37000	3
	Saat 8	5,2200	,01000	3
	Total	51,5453	40,22262	15
Total	Saat 0	96,2100	3,23106	9
	Saat 1	70,2367	22,43611	9
	Saat 2	58,2200	36,63217	9
	Saat 4	10,1044	2,37462	9
	Saat 8	15,3867	11,43243	9
	Total	50,0316	38,30389	45

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: C*

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	64475,997 ^a	14	4605,428	1720,879	,000
Intercept	112642,045	1	112642,045	42090,189	,000
Treatment	6489,062	2	3244,531	1212,362	,000
Saat	48619,696	4	12154,924	4541,848	,000
Treatment * Saat	9367,239	8	1170,905	437,524	,000
Error	80,286	30	2,676		
Total	177198,328	45			
Corrected Total	64556,284	44			

Multiple Comparisons

Dependent Variable: C*

LSD

(I) Treatment	(J) Treatment	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval
					Lower Bound
Ozon	Ozon +Hidroper	29,2973*	,59735	,000	28,0774
	Ozon+Hidroper+UVC	12,3780*	,59735	,000	11,1580
Ozon +Hidroper	Ozon	-29,2973*	,59735	,000	-30,5173
	Ozon+Hidroper+UVC	-16,9193*	,59735	,000	-18,1393
Ozon+Hidroper+UVC	Ozon	-12,3780*	,59735	,000	-13,5980
	Ozon +Hidroper	16,9193*	,59735	,000	15,6994

Multiple Comparisons

Dependent Variable: C

LSD

(I) Saat	(J) Saat	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Saat 0	Saat 1	25,9733*	,77118	,000	24,3984	27,5483
	Saat 2	37,9900*	,77118	,000	36,4150	39,5650
	Saat 4	86,1056*	,77118	,000	84,5306	87,6805
	Saat 8	80,8233*	,77118	,000	79,2484	82,3983
Saat 1	Saat 0	-25,9733*	,77118	,000	-27,5483	-24,3984
	Saat 2	12,0167*	,77118	,000	10,4417	13,5916
	Saat 4	60,1322*	,77118	,000	58,5573	61,7072
	Saat 8	54,8500*	,77118	,000	53,2750	56,4250
Saat 2	Saat 0	-37,9900*	,77118	,000	-39,5650	-36,4150
	Saat 1	-12,0167*	,77118	,000	-13,5916	-10,4417
	Saat 4	48,1156*	,77118	,000	46,5406	49,6905
	Saat 8	42,8333*	,77118	,000	41,2584	44,4083
Saat 4	Saat 0	-86,1056*	,77118	,000	-87,6805	-84,5306
	Saat 1	-60,1322*	,77118	,000	-61,7072	-58,5573
	Saat 2	-48,1156*	,77118	,000	-49,6905	-46,5406
	Saat 8	-5,2822*	,77118	,000	-6,8572	-3,7073
Saat 8	Saat 0	-80,8233*	,77118	,000	-82,3983	-79,2484
	Saat 1	-54,8500*	,77118	,000	-56,4250	-53,2750
	Saat 2	-42,8333*	,77118	,000	-44,4083	-41,2584
	Saat 4	5,2822*	,77118	,000	3,7073	6,8572

EK 7. 12 pH değerinde loraltı suyunun farklı sürelerdeki (1, 2, 4 ve 8.saat) ozon, ozon+hidrojen peroksit ve ozon+peroksit+uv birlikte uygulamaları sonucu elde edilen pH değerlerine ait istatistiki değerler.

Descriptive Statistics

Dependent Variable: pH

Treatment	Saat	Mean	Std. Deviation	N
Ozon	Saat 0	12,0025	,00186	3
	Saat 1	10,5013	,37887	3
	Saat 2	10,0613	,00252	3
	Saat 4	9,3000	,00819	3
	Saat 8	8,0480	,00265	3
	Total	9,9826	1,36221	15
Ozon + Hidroper	Saat 0	12,0367	,00577	3
	Saat 1	9,4500	,00000	3
	Saat 2	8,4533	,00577	3
	Saat 4	7,2100	,01000	3
	Saat 8	6,5533	,00577	3
	Total	8,7407	1,99518	15
Ozon + Hidroper+UVC	Saat 0	12,0000	,00000	3
	Saat 1	11,2500	,00000	3
	Saat 2	11,0300	,00000	3
	Saat 4	9,3800	,00000	3
	Saat 8	7,5233	,00577	3
	Total	10,2367	1,66014	15
Total	Saat 0	12,0130	,01801	9
	Saat 1	10,4004	,80567	9
	Saat 2	9,8482	1,12712	9
	Saat 4	8,6300	1,06558	9
	Saat 8	7,3749	,65673	9
	Total	9,6533	1,78070	45

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: pH

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	139,231 ^a	14	9,945	1036,938	,000
Intercept	4193,396	1	4193,396	437229,762	,000
Treatment	19,225	2	9,613	1002,264	,000
Saat	111,626	4	27,907	2909,712	,000
Treatment * Saat	8,380	8	1,048	109,219	,000
Error	,288	30	,010		
Total	4332,915	45			
Corrected Total	139,519	44			

Multiple Comparisons

Dependent Variable: pH

LSD

(I) Treatment	(J) Treatment	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval
					Lower Bound
Ozon	Ozon +Hidroper	1,2420*	,03576	,000	1,1689
	Ozon+Hidroper+UVC	-,2540*	,03576	,000	-,3271
Ozon +Hidroper	Ozon	-1,2420*	,03576	,000	-1,3150
	Ozon+Hidroper+UVC	-1,4960*	,03576	,000	-1,5690
Ozon+Hidroper+UVC	Ozon	,2540*	,03576	,000	,1810
	Ozon +Hidroper	1,4960*	,03576	,000	1,4230

Multiple Comparisons

Dependent Variable: pH

LSD

(I) Saat	(J) Saat	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Saat 0	Saat 1	1,6126*	,04617	,000	1,5183	1,7069
	Saat 2	2,1648*	,04617	,000	2,0705	2,2591
	Saat 4	3,3830*	,04617	,000	3,2888	3,4773
	Saat 8	4,6382*	,04617	,000	4,5439	4,7324
Saat 1	Saat 0	-1,6126*	,04617	,000	-1,7069	-1,5183
	Saat 2	,5522*	,04617	,000	,4579	,6465
	Saat 4	1,7704*	,04617	,000	1,6762	1,8647
	Saat 8	3,0256*	,04617	,000	2,9313	3,1198
Saat 2	Saat 0	-2,1648*	,04617	,000	-2,2591	-2,0705
	Saat 1	-,5522*	,04617	,000	-,6465	-,4579
	Saat 4	1,2182*	,04617	,000	1,1239	1,3125
	Saat 8	2,4733*	,04617	,000	2,3790	2,5676
Saat 4	Saat 0	-3,3830*	,04617	,000	-3,4773	-3,2888
	Saat 1	-1,7704*	,04617	,000	-1,8647	-1,6762
	Saat 2	-1,2182*	,04617	,000	-1,3125	-1,1239
	Saat 8	1,2551*	,04617	,000	1,1608	1,3494
Saat 8	Saat 0	-4,6382*	,04617	,000	-4,7324	-4,5439
	Saat 1	-3,0256*	,04617	,000	-3,1198	-2,9313
	Saat 2	-2,4733*	,04617	,000	-2,5676	-2,3790
	Saat 4	-1,2551*	,04617	,000	-1,3494	-1,1608

EK 8. 12 pH değerinde loralı suyunun farklı sürelerdeki (1, 2, 4 ve 8.saat) ozon, ozon+hidrojen peroksit ve ozon+hidrojen peroksit+uv birlikte uygulamaları sonucu elde edilen KOİ değerleri.

Descriptive Statistics

Dependent Variable: KOİ

Treatment	Saat	Mean	Std. Deviation	N
Ozon	Saat 0	22064,4667	671,80462	3
	Saat 1	54923,3333	413,25214	3
	Saat 2	36874,9333	604,44058	3
	Saat 4	45902,2000	1267,85028	3
	Saat 8	29438,4000	1907,94598	3
	Total	37840,6667	12083,47572	15
Ozon + Hidro Per	Saat 0	39475,8667	2106,08448	3
	Saat 1	22825,0667	2373,25532	3
	Saat 2	19548,8667	1733,85774	3
	Saat 4	27122,3333	1676,02814	3
	Saat 8	57731,6333	1491,24073	3
	Total	33340,7533	14521,58913	15
Ozon + Hidro Pert+UVC	Saat 0	35829,2000	2119,33299	3
	Saat 1	57115,1200	2722,68134	3
	Saat 2	31483,0667	1155,61067	3
	Saat 4	53572,3733	3557,51832	3
	Saat 8	38740,8267	3605,28250	3
	Total	43348,1173	10742,46360	15
Total	Saat 0	32456,5111	8098,45574	9
	Saat 1	44954,5067	16723,27208	9
	Saat 2	29302,2889	7754,86973	9
	Saat 4	42198,9689	11964,86768	9
	Saat 8	41970,2867	12675,84893	9
	Total	38176,5124	12938,37428	45

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: KOİ

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	7239194852,044 ^a	14	517085346,575	122,656	,000
Intercept	65585074608,937	1	65585074608,937	15557,163	,000
Treatment	753642835,409	2	376821417,704	89,384	,000
Saat	1691859090,064	4	422964772,516	100,330	,000
Treatment * Saat	4793692926,572	8	599211615,821	142,137	,000
Error	126472428,883	30	4215747,629		
Total	72950741889,864	45			
Corrected Total	7365667280,927	44			

Multiple Comparisons

Dependent Variable: KOİ
LSD

(I) Treatment	(J) Treatment	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval
					Lower Bound
Ozon	Ozon +Hidroper	4499,9133*	749,73308	,000	2968,7541
	Ozon+Hidroper+UVC	-5507,4507*	749,73308	,000	-7038,6099
Ozon +Hidroper	Ozon	-4499,9133*	749,73308	,000	-6031,0725
	Ozon+Hidroper+UVC	-10007,3640*	749,73308	,000	-11538,5232
Ozon+Hidroper+UVC	Ozon	5507,4507*	749,73308	,000	3976,2915
	Ozon +Hidroper	10007,3640*	749,73308	,000	8476,2048

Multiple Comparisons

Dependent Variable: KOİ
LSD

(I) Saat	(J) Saat	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Saat 0	Saat 1	-12497,9956*	967,90124	,000	-14474,7136	-10521,2775
	Saat 2	3154,2222*	967,90124	,003	1177,5042	5130,9403
	Saat 4	-9742,4578*	967,90124	,000	-11719,1758	-7765,7397
	Saat 8	-9513,7756*	967,90124	,000	-11490,4936	-7537,0575
Saat 1	Saat 0	12497,9956*	967,90124	,000	10521,2775	14474,7136
	Saat 2	15652,2178*	967,90124	,000	13675,4997	17628,9358
	Saat 4	2755,5378*	967,90124	,008	778,8197	4732,2558
	Saat 8	2984,2200*	967,90124	,004	1007,5020	4960,9380
Saat 2	Saat 0	-3154,2222*	967,90124	,003	-5130,9403	-1177,5042
	Saat 1	-15652,2178*	967,90124	,000	-17628,9358	-13675,4997
	Saat 4	-12896,6800*	967,90124	,000	-14873,3980	-10919,9620
	Saat 8	-12667,9978*	967,90124	,000	-14644,7158	-10691,2797
Saat 4	Saat 0	9742,4578*	967,90124	,000	7765,7397	11719,1758
	Saat 1	-2755,5378*	967,90124	,008	-4732,2558	-778,8197
	Saat 2	12896,6800*	967,90124	,000	10919,9620	14873,3980
	Saat 8	228,6822	967,90124	,815	-1748,0358	2205,4003
Saat 8	Saat 0	9513,7756*	967,90124	,000	7537,0575	11490,4936
	Saat 1	-2984,2200*	967,90124	,004	-4960,9380	-1007,5020
	Saat 2	12667,9978*	967,90124	,000	10691,2797	14644,7158
	Saat 4	-228,6822	967,90124	,815	-2205,4003	1748,0358