

Flotasyon yöntemi ile yağ-gres ve askıda katı madde giderimi-süt ve süt ürünleri endüstrisi örneği

Removal of oil-grease and suspended solid by flotation method-milk and dairy products industry example

Yasemin ÖZDEMİR^{1*}, Deniz DÖLGEN², Mehmet Necdet ALPASLAN²

¹Çevre Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye.
yasemin_koyuncu@yahoo.com

²Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye.
deniz.dolgen@deu.edu.tr, necdetalpaslan@gmail.com

Geliş Tarihi/Received: 26.12.2022
Kabul Tarihi/Accepted: 26.04.2023

Düzeltilme Tarihi/Revision: 06.04.2023

doi: 10.5505/pajes.2023.49284
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Süt endüstrisi atıksularındaki en önemli kirliliklerden biri yağ ve gresdir. Flotasyon, yağ-gres gideriminde kullanılan bilinen ve güvenilir bir yöntem olup, yağ-gres ile birlikte askıda katı madde ve organik maddeleri de uzaklaştırabilmektedir. Flotasyon yöntemlerinden biri olan Çözünmüş Hava Flotasyonu (Dissolved Air Flotation, DAF), hava kabarcığı oluşturma yöntemine göre klasik DAF(KP-DAF) ve yeni nesil mikrobubarcık pompalı DAF (MK-DAF) olmak üzere 2 gruba ayrılırlar. İki sistem arasındaki en büyük farklılık mikrobubarcık boyutudur. Genellikle, KP-DAF sistemlerinde 50-120 mikron çapında oluşan kabarcık boyutu, MK-DAF sistemlerinde 20-50 mikron boyutuna inmektedir. Ayrıca, KP DAF sistemi, yeni nesil DAF sistemlerine göre daha karmaşık bir yapıya sahip olup, daha fazla ekipmandan oluştuğu için bakım-onarım ihtiyacı fazladır ve daha sık arıza yapmaktadır. Bu durum işletme açısından sürekli bir efor ve dikkat gerektirmektedir. Bu çalışmada, pilot bir DAF sistemi düzeneği kullanılarak yağ-gres ve askıda katı madde giderimi incelenmiş, giriş debisi, pompa çeşidi, basınç değişimi parametrelerinin verime etkisi araştırılmıştır. Pilot DAF ünitesi, süt ve süt ürünleri üretimi yapan bir işletmede kurulmuş ve gerçek atıksu ile çalışılmıştır. KP-DAF Sisteminin, MK-DAF sistemlerine göre daha düşük yağ-gres ve askıda katı madde (AKM) giderim verimine sahip olduğu tespit edilmiştir. Her iki sistem için optimum çalışma basıncı 4 bar, en iyi verim de 1 m³/h giriş debisinde elde edilmiştir. KP-DAF sistemi ile yağ-gres ve AKM giderimi sırasıyla %61 ve %54, MK-DAF sistemi ile %70 ve %63 mertebesinde gerçekleşmiştir. Bu verilere göre 1 m³/h ve 4 bar işletme koşulunda MK-DAF Sistemi, KP-DAF Sistemine göre, yağ-gres ve AKM gideriminde %10 ve üzeri performans göstermiştir.

Anahtar kelimeler: DAF (Çözünmüş Hava Flotasyonu), Endüstriyel atıksu, Giderim verimi, Mikrobubarcık pompası, Atıksu arıtımı, Yağ-gres giderimi, Süt atıksuyu.

Abstract

Oil and grease are one of the most important pollutants in dairy industry wastewater. Flotation is a well-known and reliable method used in dairy industry wastewater to remove oil-grease, and it can remove oil & grease as well as suspended solids and organic materials. Dissolved Air Flotation (DAF), is a flotation technique and is classified as (traditional) Classical DAF (CP-DAF) and new generation - microbubble pump DAF (MB-DAF) systems considering the air bubble generation method. The major difference between the two systems is the microbubble size. Generally, the bubble size of 50-120 microns in KP-DAF systems decreases to 20-50 microns in MB-DAF systems. Besides that, the classical DAF system has a more complex structure than the new generation DAF systems. It consists of more equipment, thus maintenance requirement is high and causes troubles more often. This situation requires constant effort and attention during the operation. In this study, oil & grease and suspended solid (SS) removal efficiency was evaluated by using pilot scale experimental DAF system. The impact of inflow rate, pump type, and the pressure was investigated. Pilot-plant was employed in the dairy factory and operated by real wastewater. The results shown that CP-DAF System has yielded lower oil & grease and suspended solid removal efficiency than MB-DAF systems. It has been determined that the optimum working pressure is 4 bar in both systems, and the highest performance was obtained at 1 m³/h. For CP-DAF system, oil & grease and SS removals were obtained as 61% and 54%, respectively. However, 70% and 63% removals for oil & grease and SS were performed for MB-DAF system. Accordingly, it has been obtained that the MB-DAF System operating at 1 m³/h and 4 bar, has approximately 10% higher performance in oil-grease and SS removal than the CP-DAF System.

Keywords: DAF (Dissolved Air Flotation), Industrial wastewater, Removal efficiency, Microbubble pump, Wastewater treatment, Oil & Grease removal, Dairy wastewater.

1 Giriş

Süt ürünlerinin üretiminden kaynaklanan atıksular içerdiği yüksek kirlilik nedeniyle uygun şekilde arıtılmadığında çevre için önemli bir tehdit oluşturmaktadır. Atıksular genel olarak sterilize ve pastörize süt, peynir, tereyağı, dondurma, yoğurt gibi ürünlerin imalatı sırasında temizlik ve tankların yıkama işlemlerinden kaynaklanmaktadır. Süt alımı yapan tankerlerin, süt pişirme tanklarının, süt hatlarının yıkamasından kaynaklanan atıksular yüksek oranda Biyolojik Oksijen İhtiyacı

(BOİ), Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ), çözünmüş ve askıda katı maddeler (AKM) ile yağ-gres içermektedir [1]-[6]. Üretim sürecine bağlı olarak BOİ 40-48,000 mg/L, KOİ 80-95,000 mg/L, yağ-gres 20-3,000 mg/L, AKM 60-22,000 mg/L, pH 4-11 arasında değişebilmektedir [7]. Yüksek kirlilik içeren bu atıksuların olumsuz etkilerinin azaltılması için uygun yöntemler ile arıtılmaları gerekmektedir. Süt ve süt ürünleri atıksularının arıtılması amacıyla tasarlanan konvansiyonel tesisler AKM, yağ-gres giderimi için ön arıtma, organik kirlilikler ve nütrient için biyolojik arıtma proseslerini

*Yazışılan yazar/Corresponding author

çermektedir [8]-[14]. İhtiyaç olması halinde üçüncül arıtma aşaması da değerlendirilmeye alınmaktadır [15],[16]. Özellikle biyolojik arıtma öncesinde ön arıtma kademesi kullanılması, havalandırma havuzu boyutlarının küçülmesi, blower kapasitesinin düşmesi, enerji tasarrufu ile birlikte ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin azalması gibi avantajlar sağlayabilmektedir.

Süt ve süt ürünleri atıksularından yağ-gres giderimi ön arıtma kademesinin temel hedeflerindedir. Yağ bileşiklerinin kimyasal yapısına, miktarına bağlı olarak çeşitli fiziksel ve/veya fizikokimyasal yöntemler önerilmektedir. Adsorpsiyon, flokülasyon, elektrokoagülasyon ve flotasyon prosesleri uygulanabilecek yöntemlerdendir [17]. Bunlar arasında flotasyon yöntemi yağ-gres yanı sıra, askıda katı maddeleri de sudan uzaklaştırılabilen verimli bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Özellikle çözünmüş hava flotasyonu (Dissolved Air Flotation, DAF) uygulaması ile süt ve süt ürünleri işletmelerinin, mezbahaların, kağıt üretim fabrikalarının, metal işleme ve kaplama atölyelerinin, gıda ve içecek fabrikalarının ve petro-kimya sektöründe oluşan atıksuların ön arıtımında başarılı sonuçlar elde edilmektedir [18]-[21]. Son yıllarda geleneksel DAF sistemlerinin yerini mikro-kabarcık üreten yeni nesil flotasyon (yüzdürme) sistemlerine bırakmaya başladığı görülmektedir [22],[23]. Bunun başlıca nedeni daha fazla sayıda ve daha küçük boyutta kabarcık üreten yeni nesil DAF sistemleri ile yağ-gres veriminin artması, daha az enerji ve ekipman kullanılması sonucunda işletme giderlerinin azalmasıdır. Bu anlayışla, makalede süt üretimi atıksularının içerdiği yağın giderimi için klasik ve yeni nesil DAF teknolojileri kullanılarak arıtma verimleri karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda öncelikle klasik ve yeni nesil DAF sistemleri hakkında bilgi verilmiştir. Pilot ölçekli klasik ve mikrokabarcıklı DAF sistemleri kullanılarak debi, basınç gibi işletme parametrelerinin verime etkisi araştırılmış, gerçek atıksu kullanılarak yapılan saha çalışmalarının sonuçları sunulmuştur.

2 Çözünmüş hava flotasyonu

Çözünmüş hava flotasyonu yağ ve gresin sudan uzaklaştırılmasında en etkili arıtma yöntemlerindedir. Verimi etkileyen birçok parametre (hava kabarcığının sayısı/boyutu, hidrolik koşullar, askıda katı madde ve yağların konsantrasyonu, kimyasal ilavesi, sıcaklık, bekleme süresi, geri devir oranı, pH, vb) bulunmaktadır. Bunlar arasında mikro kabarcık boyutu özel öneme sahiptir [23]-[25]. Hava kabarcığı oluşturulma yöntemine göre Klasik DAF (KP-DAF) ve Mikrokabarcık pompalı DAF (MK-DAF) olmak üzere başlıca iki tür DAF sistemi kullanılmaktadır.

Klasik DAF sistemi basınç tankı, kompresör ve geri sirkülasyon pompalarından oluşmaktadır. Arıtılmış suyun %30-40'lık kısmı bir pompa ile 4-5 bara kadar basınçlandırılarak flotasyon ünitesine geri döndürülmektedir [26]. Basınç altında hava ile doygun hale gelen suyun flotasyon ünitesine verilmesiyle, çözünmüş olan hava atmosferik şartlarda gaz haline geçerek 50 ila 120 mikron çapında kabarcıklar oluşturur. Mikro hava kabarcıkları yavaş bir hızla yükselirken su içerisindeki organik bileşikler ve çözünmüş yağları da yukarı taşır [26]. Yüzeyde oluşan çamur-yağ tabakası mekanik sıyrıcı tarafından sıyrılarak çamur tankına iletilir.

Yeni nesil DAF sistemlerinde ise basınç tankı ve kompresör yer almamaktadır. Tek bir pompa ile (mikrokabarcık pompası) sisteme basınçlı su-hava karışımı iletilmektedir [27]. Bu pompa, arıtılmış suyun %30-40'lık kısmını sisteme sirküle

ederken, atmosferden aldığı hava ile atıksuyu karıştırarak 20-50 mikron boyutunda mikro hava kabarcığı üretmektedir [28]. Mikrokabarcık boyutu küçüldüğü için yüzey alanı artmakta ve daha yüksek giderim verimi elde edilmektedir.

Tablo 1'de KP-DAF ve MK-DAF sistemlerinin karşılaştırılması sunulmuştur. Mikrokabarcık boyutu dışında KP-DAF sisteminin daha karmaşık bir yapıya sahip olduğu, daha fazla ekipmandan oluştuğu için bakım-onarım ihtiyacının daha fazla olduğu söylenebilir.

Tablo 1. Klasik DAF (KP-DAF) sistemi ile yeni nesil DAF(MK-DAF) sistemi arasında farklar.

Table 1. Differences between classical DAF (CP-DAF) and new generation DAF (MB-DAF) systems.

Klasik DAF (KP-DAF) Sistemi	Yeni Nesil DAF (MK-DAF) Sistemi
<ul style="list-style-type: none">Hava gereksinimi için kompresör kullanılmaktadırKarışım için basınç tankı bulunmaktadırBasınç tankında seviye kontrolü için basınç şalteri kullanılmaktadırPnömatik vana kullanılmaktadırBasınç tankında seviye şamandırası kullanılmaktadırElektrik panosu içi malzeme sayısı ve kontrol mekanizması fazladırOtomasyon adımları fazladırGeniş alan gereksinimi vardır	<ul style="list-style-type: none">Kompresör bulunmamaktadırBasınç tankı bulunmamaktadırBasınç tankı olmadığı için basınç şalteri bulunmamaktadırBasınç tankı olmadığı için pnömatik vana kullanılmamaktadırBasınç tankı olmadığı için seviye şamandırası kullanılmamaktadırElektrik panosu malzemesi ve kontrol mekanizması azdırOtomasyon adımları azdırKompakt bir tasarım mevcuttur

Literatürde Klasik DAF (KP-DAF) sistemi ile yeni nesil DAF (MK-DAF) sistemlerine dair farklı çalışmalar yer almaktadır. Örneğin Zheng ve diğ. [29] tarafından gerçekleştirilen çalışmada 14 L hacimli flotasyon tankı ile MK-DAF ve KP-DAF sistemlerinin performansı incelenmiştir. Restoran atıksuyu kullanılarak yapılan çalışmada, MK-DAF sisteminde 1.1 kW, 13-40 L/dk. kapasitede mikrokabarcık pompası kullanılmıştır. Bekleme süresi 15 dk, çalışma basıncı 0.35 MPa ve geri devir oranı%25 olarak uygulanmış ve koagülant (PAC) ilave edilmiştir. MK-DAF sisteminde maksimum yağ ve bulanıklık verimi %98 ve %97.5 olarak belirlenmiş, MK-DAF sisteminde yağ, KOİ ve bulanıklık arıtma verimi KP-DAF sistemine göre sırasıyla %10.3, %22.6, %15 daha yüksek elde edilmiştir. Pereira ve diğ. [4] tarafından gerçekleştirilen çalışmada, sentetik olarak hazırlanan süt atıksuyu kullanılmıştır. 2 L hacimli KP-DAF sistemiyle basınç (4-10 bar), geri devir oranı (%20-100), pH (3-12), Fe₂SO₄ kimyasal dozaj miktarı (0-1,000 mg/lt), kationik polimer dozajı (0-50 mg/L) değişimine göre deneyler yapılmış, KOİ (%87.5), renk (%83.1) ve bulanıklık (%97.8) verimleri tespit edilmiştir. Benzer olarak,

Couto vd. [30] tarafından gerçekleştirilen çalışmada, sentetik olarak hazırlanmış süt atıksuyu kullanılmıştır. 5.5 L hacimli flotasyon tankında farklı basınç uygulamalarında mikrokabarcık boyutu incelenmiş, geri devir oranına göre verim belirlenmiştir. Geri devir debisi, besleme debisi ile aynı ve çalışma basıncı 4 atm olduğunda %90 arıtma verimi elde edilmiştir.

Dassey ve diğ. [31] KP-DAF Sisteminde basınç, sıcaklık, bekleme süresi, hava debisi parametrelerini incelemişlerdir. Basınç tankı 1.37 m yüksekliğinde 15.24 cm çapındadır. Bu sistemde en yüksek verim, basınç 621 kPa, hidrolik bekleme süresi 18.2 dk. ve hava debisi 8.5 L/sa. olduğunda elde edilmiştir. Wang vd. [32] tarafından gerçekleştirilen çalışmada, KP-DAF Sisteminde mikrokabarcık boyutuna göre ayırma bölgesindeki etkileşim incelenmiştir. 1 m³ hacimli bir su tankı ve geri dönüşüm tankı, 120 L/sa. kapasiteli bir pompa ve Nikuni pompa kullanılmış, mikro kabarcık boyutu ve sayısı araştırılmıştır.

Literatürde sunulan çalışmalarda genel olarak sentetik atıksu kullanılmış olup gerçek atıksu ile yapılan çalışmaya rastlanmamıştır. Ayrıca, araştırmalar laboratuvar ölçeğinde düzenekler ile gerçekleştirilmiştir. Yeni nesil DAF (MK-DAF) sistemlerinde kullanılan mikrokabarcık pompaların en küçüğü 1 m³/sa. kapasitede olup araştırmalarda laboratuvar ölçeğinde bu pompa ile çalışıldığı görülmüştür. Laboratuvar ölçeğinde genellikle 150 L'lik deney düzeniği kullanılmıştır. 1 m³/sa. kapasiteli pompa ile laboratuvar ölçeğindeki küçük hacimli düzenekler ile çalışılması yani yüksek kapasiteli bir pompanın çok düşük bir alanda kullanılması ölçek etkisinin giderilmesini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, çalışma kapsamında daha gerçekçi sonuçlar elde edebilmek amacıyla bu olumsuzlukları gidermek üzere yaklaşık 1.5 m³ hacminde bir flotasyon ünitesi imal edilmiş ve süt ve süt ürünleri imalatı yapan bir işletmede monte edilerek gerçek atıksu ile işletilmiştir.

3 Materyal ve metot

3.1 Atıksu özellikleri

Deneysel çalışmalar süt ve süt ürünleri endüstrisinde hizmet veren bir işletmede gerçek atıksu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İşletmede yoğurt, tereyağı, peynir, ayran ve süt tatlıları üretimi yapılmaktadır. Peyniraltı suyu ayrı toplanmakta, geri kazanım tesisine gönderilmektedir. Üretim süreçlerinden kaynaklanan atık sular 200 m³/gün kapasiteli bir arıtma tesisinde arıtılmaktadır. Arıtma tesisi dengeleme havuzu, yağ tutucu, aktif çamur sürecinin kullanıldığı biyolojik arıtma sisteminden oluşmaktadır. Çalışma kapsamında, atıksu özelliklerini belirlemek amacıyla dengeleme havuzundan atıksu örnekleri alınmış, KOİ, yağ-gres ve AKM parametrelerinin analizleri yapılmıştır. Tablo 2'de giriş atık suyu ölçüm sonuçları verilmektedir.

Tablo 2. Giriş atıksu özellikleri.

Table 2. Characteristics of influent wastewater.

Parametre	Min	Ort	Max
KOİ (mg/L)	1,073	1,968	3,034
Yağ-gres (mg/L)	110	194	676
AKM (mg/L)	485	842	1,350

KOİ analizleri, fotometrik sistemle, termoreaktör - spektrofotometre (Hacklange DR3900) cihazı ile KOİ kiti (hazır reaktif) kullanılarak ölçülmüştür. Yağ-gres gravimetrik metot sokset ekstraksiyon metodu ve AKM analizleri gravimetrik metot-SM 2540 metodu ile gerçekleştirilmiştir.

3.2 Pilot ölçekli DAF ünitesi

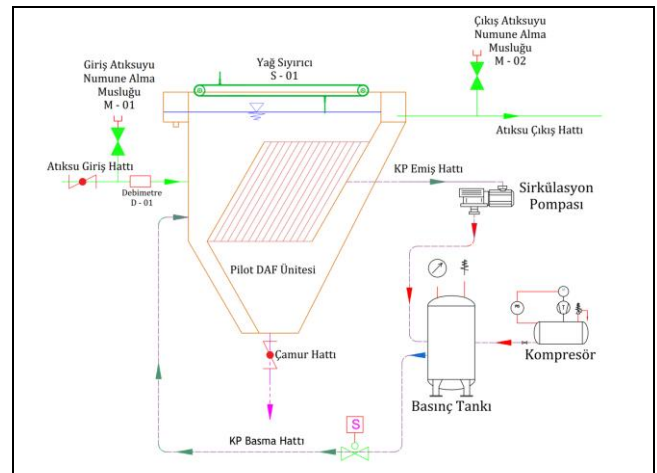
Çalışmada Klasik Pompalı DAF ve Mikrokabarcık Pompalı DAF sistemlerinin performansını incelemek amacıyla polipropilen malzemeden pilot ölçekli bir DAF ünitesi imal edilmiştir. Pilot ölçekli DAF ünitesinin boyutları 100-150-155 cm (En- Uzunluk-Yükseklik) olup yaklaşık 1.5 m³ hacme sahiptir. Şekil 1'de görülen pilot ünite kontak temas, flotasyon ve çöktürme bölümlerinden oluşmaktadır. Ünite giriş ve çıkıştan numune alınabilmesi için giriş ve çıkış hatları üzerinde numune alma muslukları yer almaktadır. Ayrıca, girişte debimetre ile ölçüm yapılmaktadır. Tabanda zamanla birikecek çamurun tahliyesi için çamur alma vanası mevcuttur. Çalışma süresince pilot DAF ünitesi uygun borulama ve ekipman ile KP-DAF ve MK-DAF sistemi olarak kullanılmıştır.



Şekil 1. Pilot DAF tesisi.

Figure 1. The pilot DAF plant.

Saha çalışmalarında ilk olarak KP-DAF sistemi incelenmiştir. KP-DAF Sisteminin akım şeması Şekil 2'de verilmektedir.

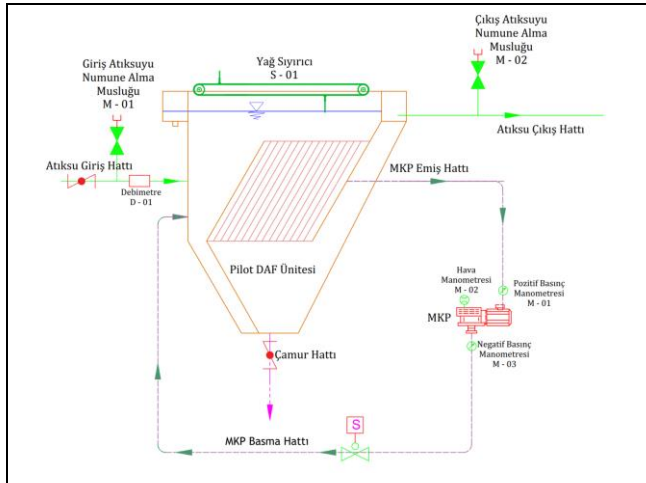


Şekil 2. KP-DAF sistemi akım şeması.

Figure 2. Flow diagram of CP-DAF system.

Şekil 2'den de görüleceği üzere KP-DAF flotasyon ünitesi, sirkülasyon pompası, kompresör ve basınç tankından oluşmaktadır. Sistemde, 1.1 kW gücünde kompresör ile geri devir pompası (1.1 kW, 2 m³/sa- 63 mSS) kullanılmakta, ayrıca basınç tankında dijital manometre, vakum metre debimetre, seviye sensörü, vana, valf vb. ekipmanlar yer almaktadır.

MK-DAF sisteminde ise ayrı bir basınç tankı, kompresör kullanılmamakta, bunların yerine mikrokabarcık pompası (MKP) bulunmaktadır. Pilot sistemde 1.1 kW gücünde, 3-5 bar basınçta çalışan, 1-5 m³/sa. debiye sahip bir MKP kullanılmıştır. Dengeleme havuzundan alınan atık su dalgıç pompası aracılığı ile MK-DAF Sistemine verilmektedir. Tankın çıkışındaki atıksuyun %40'ı MKP ile flotasyon sistemine beslenmektedir. Bu esnada pompa içindeki mekanik yapı sayesinde, atmosferden alınan hava ile atıksu karışarak basınç altında mikro hava kabarcığı üretmektedir. Flotasyon tankında giriş suyu ile geri devir suyunun bir araya gelmesi ile katı maddeler ve yağ-gres hava kabarcıklarına tutunarak yüzeye çıkmaktadır. Yüzey sıyrıcısı aracılığı ile bu yağlar sistemden uzaklaştırılmış ve sistem bekleme süresi dolduğunda çıkış suyu numunesi alınarak verim analizleri yapılmıştır. MK-DAF Sistemine ait akım şeması Şekil 3'te sunulmuştur.



Şekil 3. MK-DAF sisteminin akım şeması.

Figure 3. Flow diagram of MB-DAF system.

3.3 Numune alımı ve deneyler

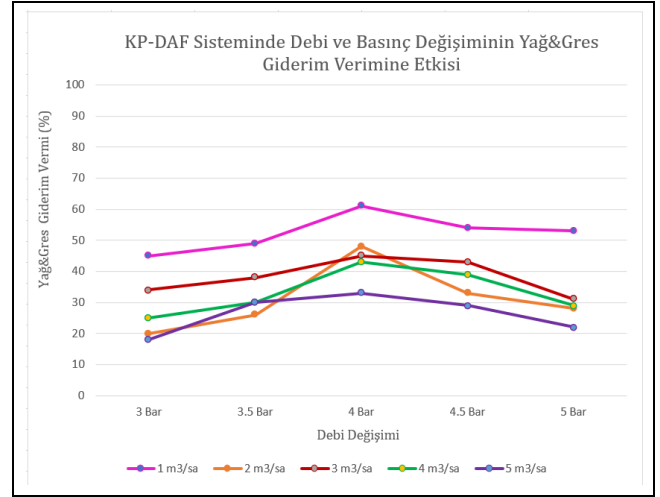
İki ayrı DAF sistemi montajı tamamlandıktan sonra ilk olarak temiz su ile devreye alınmış, sistemin boru ve mekanik ekipmanları kontrol edilmiştir. Her bir debi değeri, debimetre ile ölçülmüş ve her bir basınç değerinde oluşan bulut gözlemlenmiştir. Sistemin beklenen şekilde çalıştığından emin olduktan sonra, gerçek atıksu ile deneysel çalışmalarına başlanmıştır.

KP-DAF ve MK-DAF sistemlerinin performansı giriş ve çıkıştan alınan numunelerin yağ-gres ve AKM analizlerine göre belirlenmiştir. Sıcaklık, pH kontrol amaçlı ölçülmüştür. Giriş numuneleri M-01, çıkış numuneleri ise M-02 nolu musluktan alınmıştır. KP-DAF ve MK-DAF sistemleri beş farklı giriş debisi (1-2-3-4-5 m³/sa.) ve beş farklı basınç değerinde (3-3.5-4-4.5-5 bar) işletilmiştir. Değişkenlerinin arıtma verimine olan etkileri ayrı ayrı belirlenmiştir.

4 Bulgular

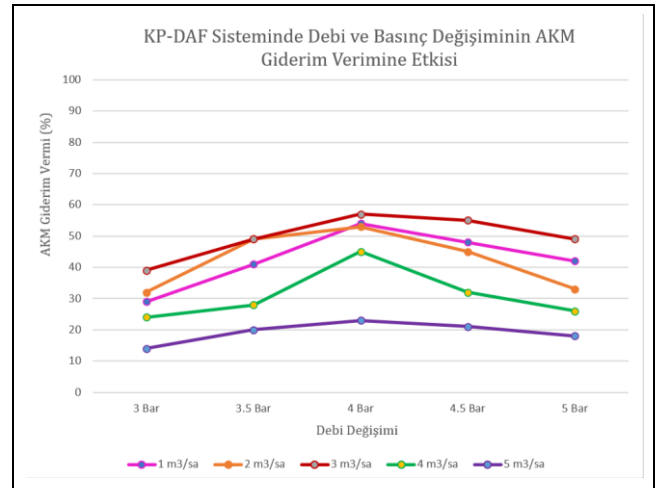
Pilot KP-DAF sisteminin kullanıldığı, gerçek atıksu kullanılarak yapılan çalışmalarda giriş atıksuyunun pH değeri 7.3-8.5,

sıcaklığı 26.6-32 °C arasında değişim göstermiştir. AKM miktarı en düşük 485 mg/L, en yüksek 1,350 mg/L olarak ölçülmüştür. Yağ-gres miktarı 110-262 mg/L mertebesinde değişmiştir. Giriş suyu debisi 1 m³/sa. olduğunda, yağ-gres giderimi %45-61 arasında değişmiştir. En yüksek yağ giderimi 4 bar basınçta elde edilmiş; yağ-gres miktarı 262 mg/l'den 102 mg/l'ye düşmüştür. İncelenen koşullarda (1 m³/sa.) %29-54 oranında AKM giderimi elde edilmiştir. En yüksek giderim, benzer şekilde 4 bar değerinde ölçülmüştür. 4 bar basıncın altı ve üstündeki değerlerde verim azalmıştır (Bk. Şekil 4-5).



Şekil 4. KP-DAF sisteminde giriş debisi ve basıncın yağ&gres giderim verimine etkisi.

Figure 4. Effect of pressure and inflow on oil&grease removal efficiency in CP-DAF system.

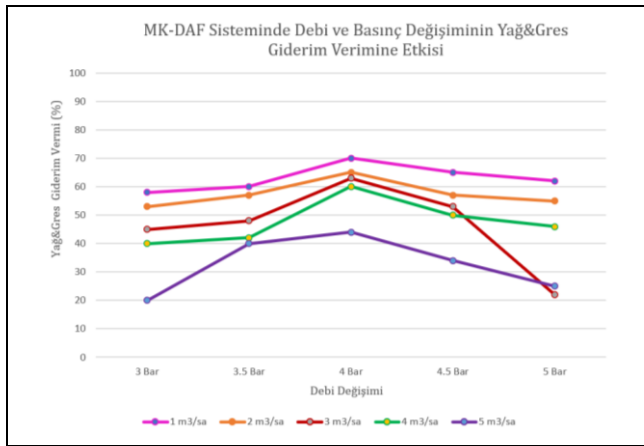


Şekil 5. KP-DAF sisteminde giriş debisi ve basıncın AKM giderim verimine etkisi.

Figure 5. Effect of pressure and inflow on SS removal efficiency in CP-DAF system.

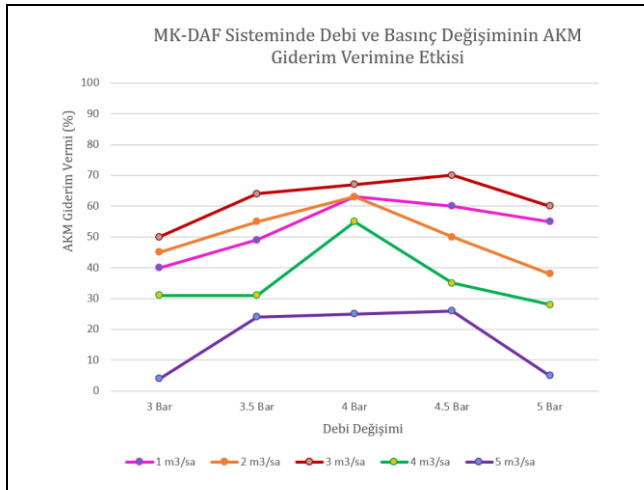
Debi 2 m³/h olduğunda, yağ giderimi %20-48 oranında gerçekleşmiştir. Maksimum yağ giderimi 4 bar için elde edilmiş, 144 mg/l'den 75 mg/l değerine düşmüştür. Daha yüksek veya daha düşük basınç koşullarında yağ gideriminde azalma görülmüştür. AKM verimi ise %32-53 oranında gerçekleşmiştir. 4bar basınç altında AKM 1,350 mg/L'den 630 mg/L değerine düşmüş, %53 oranında AKM giderimi elde edilmiştir.

Artan debi değerleri genellikle verimde düşüğe neden olmuştur. 3 m³/sa. debi için, yağ-gres giderim verimi %31-45 oranında gerçekleşmiştir. Maksimum verim 4 bar'da elde edilmiş, yağ-gres miktarı 144 mg/L'den 79 mg/L'ye düşmüştür. En yüksek AKM 4 bar'da (%57 oranında) giderilmiştir. Daha yüksek veya daha düşük basınç koşullarında AKM verimi azalmıştır. 4 m³/saat debi değerinde yapılan çalışma sonuçları da bu durumu desteklemiştir. Yağ-gres %25-43; AKM parametresi ise %24-45 oranında giderilmiş, maksimum verim her iki parametre için 4bar'da elde edilmiştir. Daha yüksek veya daha düşük basınç koşullarında verim azalmıştır. İncelenen debi değerleri arasında en düşük performans 5 m³/sa. için elde edilmiştir. Yağ-Gres %18-33; AKM ise %14-23 oranında giderilebilmiştir. Maksimum verim tüm parametreler için 4bar'da elde edilmiş, artan ve azalan basınçlarda verim düşmüştür. MK-DAF Sistemi ile yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlar Şekil 6 ve 7'de gösterilmektedir.



Şekil 6. MK-DAF sisteminde giriş debisi ve basıncın yağ-gres giderim verimine etkisi.

Figure 6. Effect of pressure and inflow on oil & grease removal efficiency in MB-DAF system.



Şekil 7. MK-DAF sisteminde giriş debisi ve basıncın AKM giderim verimine etkisi.

Figure 7. Effect of pressure and inflow on SS removal efficiency in MB-DAF system.

Giriş atıksuyunun pH değeri 7.11 - 8.75, sıcaklığı 23.5-30.7 °C arasında değişmiştir. AKM miktarı en düşük 500 mg/L, en yüksek 1,200 mg/L olarak ölçülmüştür. Yağ-Gres miktarı

110-676 mg/L mertebesindedir. Düşük debi değerinde (1 m³/sa.) %58-70 oranında yağ-gres giderilmiştir. En yüksek verim 4 bar basınçta elde edilmiş; yağ-gres miktarı 196 mg/l'den 59 mg/l'ye düşmüştür. AKM giderimi %40-63 oranında gerçekleşmiştir. 4 bar basınçta en yüksek performans elde edilmiştir. Debinin 2 m³/sa. olduğu durumda, yağ-gres giderimi bir miktar azalmış, %53-65 oranında yağ-gres giderimi gerçekleşmiştir. 4 bar'dan daha yüksek veya daha düşük basınç koşullarında yağ giderimi düşmüştür. AKM verimi %38-63 oranında gerçekleşmiştir. Maksimum AKM giderimi 4 bar basınçta elde edilmiştir. Artan debi değerleri gerek yağ-gres gerek AKM parametrelerinin gideriminde azalmaya neden olmuştur.

3m³/saat debi için maksimum yağ-gres giderim verimi 4 bar'da elde edilmiş, yağ-gres konsantrasyonu 176 mg/L'den 66mg/L mertebesine düşmüştür (%63 giderim). En yüksek AKM giderimi ise 4.5 bar basınçta elde edilmiştir. AKM konsantrasyonu 1,000 mg/L'den 300 mg/L'ye düşmüş, yaklaşık %70 oranında giderim gerçekleşmiştir. 4 m³/sa. debi değerinde, yağ-gres %40-60; AKM ise %28-55 oranında giderilmiştir. Maksimum yağ-gres ve AKM giderimi 4 bar için elde edilmiştir. En düşük performans 5 m³/sa. debide gerçekleşmiştir. Yağ-Gres %20-44; AKM ise %4-25 oranında giderilebilmiştir. Maksimum verim her iki parametre için 4 bar'da elde edilmiş, artan ve azalan basınçlar için verim düşmüştür.

5 Sonuç

Gerçek atıksu ile yapılan saha çalışmalarından elde edilen sonuçlar yağ-gres arıtımında mikrokabarcık pompalı DAF sistemlerinin klasik pompalı DAF sistemlerinden daha verimli olduğunu göstermiştir. Optimum çalışma basıncı 4 bar olarak belirlenmiştir. Daha düşük veya yüksek çalışma basınçları verimin azalmasına neden olmuştur. 4 bar basınç için KP-DAF sistemi ile yağ-gres giderimi 1, 2, 3, 4 ve 5 m³/sa. debi değerlerinde sırasıyla %61, %48, %45, %43, %33 mertebesinde gerçekleşmiştir. Aynı koşullarda (4 bar) MK-DAF sistemi ile 1, 2, 3, 4, 5 m³/sa. debi değerleri için sırasıyla %70, %65, %63, %60, %44 yağ-gres giderimi sağlanmıştır. DAF teknolojisine dair teorik bilgiler arttıkça mikro hava kabarcıklarının boyutunun azalması, kabarcığın küçülmesi ile yüzey alanının artması ve tank içinde bekleme süresinin artması nedeniyle yağ-gres giderim veriminin artması şeklindedir. Ancak, deneysel sonuçlar basınç artışının belli bir noktadan sonra olumlu etki yapmadığını ortaya koymuştur. Bu durum, mikro hava kabarcık pompasındaki basıncı artırmak için pompa emme ve basma hattındaki vananın kısılması sonucunda sisteme verilen mikro kabarcıklı hava-su karışımı miktarının azalmasından kaynaklanması ile açıklanmıştır.

Öte yanda, debi artışları pilot DAF tankındaki temas süresinin azalmasına neden olduğundan yağ-gres ve askıda katı madde giderim veriminin düşmesine neden olmuştur.

Çalışmada pilot DAF ünitesi, süt ve süt ürünleri imalatı yapan bir işletmede gerçek atıksu kullanılarak işletildiğinden üretim süreçlerinden kaynaklanabilecek değişimlerin arıtma verimine etkisi de gözlemlenebilmiştir. Saha çalışmalarında giriş yağ-gres konsantrasyonu 110-676 mg/L arasında değişim göstermiştir. Yüksek yağ-gres konsantrasyonlarında %40 üzerinde verim elde edilmiştir.

Bilindiği gibi, flotasyon, yağ-gres gideriminde kullanılan güvenilir bir yöntem olup, yağ-gres ile birlikte askıda katı madde ve organik maddeleri de uzaklaştırabilmektedir. Pilot

çalışmalar kapsamında her iki sistemin KOİ giderimi de incelenmiştir. İncelenen diğer kirlilik parametrelerine benzer olarak, MK-DAF sisteminde KOİ giderimi daha yüksek gerçekleşmiştir. Optimum basınç değerinde (4 bar) 1, 2, 3, 4 ve 5 m³/h debi değerleri için KOİ verimi sırasıyla %51, %55, %50, %44, %28 olarak hesaplanmıştır. KP-DAF Sisteminde KOİ giderimi yaklaşık %5 oranında daha düşük gerçekleşmiştir. KOİ artımına ilişkin sonuçlar ayrı bir makale kapsamında değerlendirildiği için burada detaylı sunulmamıştır.

Sonuç olarak, süt ve süt ürünleri atıksuyu ile yapılan çalışmalarda, yeni nesil DAF sistemlerinin klasik pompalı DAF sistemlerinden daha verimli olduğu görülmüştür. Yeni nesil DAF sisteminin yatırım maliyeti, Klasik Pompalı DAF sistemlerine kıyasla daha yüksektir ancak daha az enerji tüketimi nedeniyle işletme maliyeti daha düşüktür. Özellikle klasik sistemde kullanılan pompa ve kompresörün elektrik tüketimi ile mikrobubarcık pompasının elektrik tüketimi karşılaştırıldığında, mikrobubarcık pompasının kullanılması durumunda %75 daha az enerji tüketimi olduğu belirtilmektedir. Dolayısıyla yeni nesil DAF Sistemlerinin kullanılması halinde birim artım için tüketilen toplam elektrik enerjisi daha düşük olmakta ve işletme maliyetleri azalmaktadır. Çalışma kapsamında kapsamlı bir maliyet analizi yapılmamakla birlikte, KP-DAF ve MK-DAF sistemleri, kullanılan mekanik ekipmanların güç değerleri esas alınarak karşılaştırılmıştır. KP-DAF ünitesinde 1.1 kW gücünde kompresör ile 1.1 kW gücünde geri devir pompası kullanılmaktadır. Ayrıca, basınç tankı üzerinde kontrol ekipmanlarına (basınç şalteri ve seviye sensörü) elektrik bağlantısı bulunmaktadır (0.09 kW). MK-DAF sisteminde ise sadece 1.1 kW gücünde pompa kullanılmaktadır. Bu veriler doğrultusunda MK-DAF sistemlerinin işletme maliyeti açısından yaklaşık %50 daha avantajlı olduğu değerlendirilmektedir. Ayrıca, mevcut konvansiyonel sistemlerin basit modifikasyonlar ile yeni nesil DAF sistemlerine dönüşümünün sağlanabilmesi önemli bir avantajdır. Özellikle yağ-gres, AKM, organik kirleticileri içeren endüstriyel atıksular için biyolojik arıtma öncesinde etkin bir ön arıtma seçeneği olarak daha yaygınlaşarak kullanılması beklenmektedir.

6 Conclusion

Results from field studies using wastewater obtained from milk and dairy industry have shown that DAF systems with micro-bubble pumps are more efficient in oil-grease treatment than conventional pumped DAF systems. The optimum operation pressure has been determined as 4 bar. Lower or higher pressures resulted in a decrease in efficiency. Oil-grease removals in CP-DAF system at 4bar pressure were 61%, 48%, 45%, 43% and 33%, respectively for 1, 2, 3, 4 and 5 m³/hour flow rates. At the same conditions (4bar) using the MB-DAF system, oil-grease removals were obtained as 70%, 65%, 63%, 60%, 44% respectively for the flow rates of 1, 2, 3, 4.5 m³/hour. Theoretically, air bubble size and contact time are important parameter in oil&grease removal. Smaller micro-bubble generation at high pressures yields high surface area and resulted an increase in the removal efficiency. However, the experimental results showed that the pressure increase did not have a positive effect beyond a certain point. This is explained that reducing the amount of micro-bubble air-water mixture supplied to the system by tightening the valve at suction and discharge line.

On the other hand, increases in flowrate caused a decrease in the contact time in the pilot DAF tank, and thus resulted a decrease in oil-grease and suspended solid removal efficiency.

In the study, since the pilot DAF unit was operated by using wastewater obtained from milk and dairy products factory, the effects of variations in wastewater characterization that may arise from the manufacturing processes on the treatment efficiency could also be observed. In field studies, oil-grease concentration in raw wastewater varied between 110-676 mg/L. The efficiency was higher than 40% at high oil-grease concentrations.

As it is known, flotation is a reliable method used in oil-grease removal, and it can also remove suspended solids and organic materials along with oil-grease. COD removal of both systems was also investigated within the scope of pilot studies. Similar to the other pollution parameters investigated, COD removal was also higher in the MB-DAF system. The COD efficiency was calculated as 51%, 55%, 50%, 44%, 28%, respectively, for the flow rates of 1, 2, 3, 4 and 5m³/h at the optimum pressure value (4 bar). COD removal in the CP-DAF System was approximately 5% lower. The results on COD treatment are not presented here as they are considered in a separate article.

Consequently, the results have shown that new generation DAF systems were more efficient than traditional pumped DAF systems for oil-grease removal from milk and dairy products wastewater. Besides that, although the investment costs of the new generation DAF system are higher than traditional DAF systems, its' operating costs is lower due to lesser energy consumption. It has been reported that approximately 75% less energy is consumed when a microbubble pump is used. On the other hand, in traditional DAF systems, especially the electricity consumption of the pump and compressor is high. Therefore, when the new generation DAF Systems are used, the total electrical energy consumption for unit volume of treated wastewater is lower which is resulted a decrease in operating costs. Although a comprehensive cost analysis was not carried out within the scope of the study, CP-DAF and MB-DAF systems were compared based on the power values of the mechanical equipment used. In the CP-DAF unit, a 1.1 kW compressor and a 1.1 kW recirculation pump are used. Also, there is an electrical connection (0.09 kW) to the control equipment (pressure switch and level sensor) on the pressure tank. In the MB-DAF system, only a 1.1 kW pump is used. In line with these data, it is considered that MB-DAF systems are approximately 50% more advantageous in terms of operating costs. In addition, the renewal of conventional systems to new generation DAF systems with simple modifications is an another important advantage. Considering these advantages, it has been expected to use widely as an effective pre-treatment alternative before the biological treatment stage especially for industrial wastewater containing oil-grease, SS and organic pollutants.

7 Teşekkür

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi için finansal destek sağlayan Dokuz Eylül Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (Proje No. 2019.KB.FEN.016) ve KOSGEB'e (Proje No. B.14.2.KGS.1.35.02.00-110.02.01.-844); pilot tesisin imalat sürecinde teknik destek veren Atasü Mühendislik Ltd. Şti.'ne ve saha çalışmalarında kullanılan atık suyun teminini sağlayan Sakıpağa Süt ve Gıda AŞ. Firmasına teşekkür ederiz.

8 Yazar katkı beyanı

Gerçekleştirilen çalışmada Yasemin ÖZDEMİR fikrin oluşması, literatür taraması, kullanılan malzemelerin temin edilmesi ve tasarımın yapılması, veri toplama ve analizlerin yapılması başlıklarında; Deniz DÖLGEN ve Mehmet Necdet ALPASLAN veri analizi ve elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ve yorumlanması başlıklarında katkı sunmuşlardır.

9 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

"Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur".
"Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır".

10 Kaynaklar

- [1] Tikariha A, Sahu O. "Study of Characteristics and treatments of dairy industry waste water". *Journal of Applied & Environmental Microbiology*, 2(1), 16-22, 2014.
- [2] Rad SJ, Lewis MJ. "Water utilization, energy utilization and waste water management in the dairy industry: a review". *International Journal of Dairy Technology*, 67(1), 1-20, 2014.
- [3] Sarkar B, Chakrabarti PP, Vijaykumar A, Kale V. "Wastewater treatment in dairy industries-possibility of reuse". *Desalination*, 195, 141-152, 2006.
- [4] Pereira MDS, Borges AC, Heleno FF, Squillace LFA, Faroni LRD. "Treatment of synthetic milk industry wastewater using batch dissolved air flotation". *Journal of Cleaner Production*, 189, 729-737, 2018.
- [5] Özdemir Y, Alpaslan MN. "Yeni nesil çözülmüş hava flotasyonu (DAF) uygulamaları". *14. National 2. International Environmental Engineering Congress*, Turkey 09-11 December 2021.
- [6] Castillo A, Vall P, Garrido-Baserba M, Comas J, Poch M. "Selection of industrial (food, drink and milk sector) wastewater treatment technologies: a multi-criteria assessment". *Journal of Cleaner Production*, 143, 180-190, 2017.
- [7] Slavov, AK. "General characteristics and treatment possibilities of dairy wastewater-a review". *Food Technol. Biotechnol*, 5 (1), 14-28, 2017.
- [8] Özcan, T, Harputlugil BT. "Süt endüstrisi atıklarının çevresel etkileri ve biyoteknolojik olarak değerlendirilmesi". *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 35(2), 415-437, 2021.
- [9] Ahmad T, Aadil RM, Ahmed H, Rahman UU, Soares BCV, Souza SLQ, Pimentel TC, Scudino H, Guimarães JT, Esmerino EA, Freitas MQ, Almada RB, Vendramel SMR, Silva MC, Cruz AG. "Treatment and utilization of dairy industrial waste: A review". *Trends in Food Science & Technology*, 88, 361-372, 2019.
- [10] Kaur N, "Different treatment techniques of dairy wastewater", *Groundwater for Sustainable Development*, 14, 1-3, 2021.
- [11] Joshibaa GJ, P. Kumara S, Feminaa CC, Jayashreea E, Racchanaa R, Sivanesan S. "Critical review on biological treatment strategies of dairy wastewater". *Desalination and Water Treatment*, 160, 94-109, 2019.
- [12] Zhao K, Wu YW, Young S, Chen XJ. "Biological treatment of dairy wastewater: a mini review". *Journal of Environmental Informatics Letters* 4(1), 22-31, 2020.
- [13] Das A, Kundu P, Adhikari S. "Biological treatment of dairy industry wastewater in a suspended growth batch reactor: performance evaluation and biodegradation kinetics" *Bioremediation Journal*, 26(4), 341-359, 2022.
- [14] Kuzin EN, Kruchinina NE, Tyaglova YV, Gromovykh PS. "Coagulants in the processes of waste water treatment in dairy complex industry". *Chemistry for Sustainable Development*, 28, 388-393, 2020.
- [15] Andrade LH, Motta GE, Amaral MCS. "Treatment of dairy wastewater with a membrane bioreactor". *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 30(4), 759-770, 2013.
- [16] Cruz AG, Pimentel TC, Junior GLSA, Vendramel SMR. "Advanced strategies for dairy wastewater treatment: A perspective". *Advanced Technologies in Wastewater Treatment Food Processing Industry*, 2023. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-88510-2.00012-9>.
- [17] Stasinakis AS, Charalambous P, Vyrides I. "Dairy wastewater management in EU: Produced amounts, existing legislation, applied treatment processes and future challenges". *Journal of Environmental Management*, 303, 1-10, 2022.
- [18] Ng M, Dalhatou S, Wilson J, Kamdem BP, Temitope MB, Paumo HK, Djelal H, Assadi AA, Nguyen-Tri P, Kane A. "Characterization of Slaughterhouse Wastewater and Development of Treatment Techniques: A Review", *Processes*, 10(1300), 1-28, 2022.
- [19] Han N, Zhang J, Hoang M, Gray S, Xie Z. "A review of process and wastewater reuse in the recycled paper industry", *Environmental Technology & Innovation*, 24, 1-23, 2021.
- [20] Thorat BN, Sonwani RK, "Current technologies and future perspectives for the treatment of complex petroleum refinery wastewater: A review". *Bioresource Technology*, 355, 1-18, 2022.
- [21] Falletti L, Conte L, Zaggia A, Battistini T, Garosi D. "Food industry wastewater treatment plant based on flotation and MBBR". *Modern Environment Science and Engineering*, 1(2), 94-98, 2015.
- [22] Rajapakse N, Zargar M, Sen T, Khiadani M. "Effects of influent physicochemical characteristics on air dissolution, bubble size and rise velocity in dissolved air flotation: A review". *Separation and Purification Technology*, 2898, 1-13, 2022.
- [23] Muñoz-Alegría JA, Muñoz-España E, Flórez-Marulanda JF. "Dissolved air flotation: A review from the perspective of system parameters and uses in wastewater treatment". *Tecnológicas*, 24(52), 1-23, 2021.
- [24] Shammas NK, Bennett GF. *Principles of Air Flotation Technology*. Editors: Wang LK, Shammas NK, Selke WA, Aulenbach DB. Flotation Technology, 1-41, New York, USA, Springer Science & Business Media LLC, 2010.
- [25] Liu S, Wang Q, Ma H, Huang P, Li J, Kikuchi T. "Effect of micro-bubbles on coagulation flotation process of dyeing wastewater". *Separation and Purification Technology*, 71, 337-346, 2010.
- [26] Şengül F, Küçükgül E. *Çevre Mühendisliğinde Fiziksel-Kimyasal Temel İşlemler ve Süreçler*, İzmir, Türkiye, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi yayınları, İzmir, Türkiye, 1990.
- [27] Ayhan M. "Atıksuların arıtılmasında DAF sistemlerinin önemi ve enerji verimliliği". *Su ve Çevre Teknolojileri*, 158, 44-45, 2021.

- [28] Nikuni. "Micro-bubble Generator". [https:// www.nikunijapan.com/product/104_index_detail.php](https://www.nikunijapan.com/product/104_index_detail.php) (14.01.2023).
- [29] Zheng T, Wang Q, Shi Z, Huang P, Li J, Zhang J, Wang J. "Separation of pollutants from oil-containing restaurant wastewater by novel microbubble air flotation and traditional dissolved air flotation". *Separation Science and Technology*, 50, 2568-2577, 2015.
- [30] tCouto HJB, Melo MV, Massarani G. "Treatment of milk industry effluent by dissolved air flotation". *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 21(01), 83-91, 2004.
- [31] Dassey A, Theegala C. "Optimizing the air dissolution parameters in an unpacked dissolved air flotation system". *Water*, 4, 1-11, 2012.
- [32] Wang Y, Jin X, Yang S, Wang G, Xu L, Jin P, Shi X, Shi Y. "Interactions between flocs and bubbles in the separation zone of dissolved air flotation system". *Science of the Total Environment*, 761, 1-12, 2021.