



Wastewater characterization in developing cities: A case study of Batman wastewater treatment plant

İbrahim Halil Demirel^{1*}, Erdal Kesgin², Kadir Gezici^{2,3}, Remziye İlayda Tan Kesgin⁴

¹Department of Construction, Kozluk Vocational School, Batman University, 72400, Batman, Türkiye

²Department of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering, Istanbul Technical University, 34469, Maslak, Istanbul, Türkiye

³Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Atatürk University, 25240, Yakutiye, Erzurum, Türkiye

⁴Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Fatih Sultan Mehmet Foundation University, 34445, Bevyoglu, Istanbul, Türkiye

Highlights:

- Analysis of seasonal changes for wastewater pollutant loads
- Wastewater treatment plant peaking factor analysis
- Empirical peak factor formula recommendation for wastewater treatment plant

Keywords:

- Peaking factor
- Wastewater treatment plant
- Pollutant loads
- Batman

Article Info:

Research Article

Received: 23.07.2023

Accepted: 18.01.2025

DOI:

10.17341/gazimmfd.1331387

Acknowledgement:

The authors would like to express their gratitude to the Batman Water and Sewerage Administration (BWSA) and specifically to Amine Evvin Tüzün, the responsible personnel of the Batman WWTP, for providing the wastewater flow data and valuable collaboration

Correspondence:

Author: İbrahim Halil

Demirel

e-mail:

ihalil.demirel@batman.edu.tr

phone: +90 537 262 7088

Graphical/Tabular Abstract

In Figure A (a-b), box plots for flow rate and pollutant loads are presented for both rainy and dry days. Box plots are used to visualize data with a wide distribution. In the graph, the short length of the region between the 25th and 75th percentiles indicates that a large portion of the data does not fall within this range and exhibits variability around the median value. However, it is observed that there are a significant number of outliers at the maximum values. Regarding COD (Chemical Oxygen Demand) values (Figure A(a)), a higher number of outliers is observed at the maximum values during dry days, and these values tend to have relatively higher concentrations. Similarly, the same pattern is evident for other pollutants, such as BOD (Biochemical Oxygen Demand) (Figure A (b)).

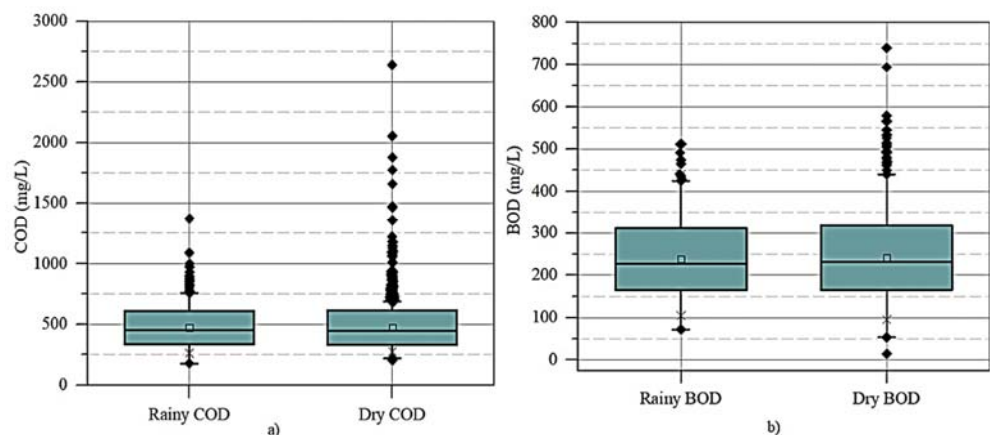


Figure A. Results the effect of precipitation on flow rate and pollutant parameters (a) COD; (b) BOD

Purpose: This study analyzes wastewater data from the Batman WWTP (2011–2022) to assess the impact of weather conditions, identify key pollutant components, evaluate Peak Factors (PF), and estimate leakage rates within the collection system.

Theory and Methods: The dataset was meticulously classified in accordance with seasonal fluctuations encompassing both rainy and dry periods. Moreover, an assessment was conducted to scrutinize the impact of precipitation on the distinctive attributes of the wastewater. Subsequently, a comprehensive peak factor analysis was undertaken to facilitate the optimal design of sewerage systems. This analysis was predicated on utilizing wastewater flow data encompassing diverse time intervals.

Results: The study reveals that pollutant loads increase during summer, though average values show no significant variation. BOD and TSS per capita are lower than national literature values, while TSS/BOD (0.84–2.42) and TSS/COD (0.57–1.13) ratios are high. Peak Factors (PFs) ranged from 1.10–1.82 (daily), 1.09–1.49 (dry), and 1.14–1.62 (rainy) between 2011–2022. The highest PFs (at 70–90% probability) were 1.30–1.37 in 2021, while the lowest were 1.04–1.07 in 2020. A new empirical equation for $PF_{max,dry}$ is proposed ($R^2=0.72$), and leakage is recommended as 44% of wastewater flow.

Conclusion: The study highlights minimal seasonal variation in pollutant loads but a high likelihood of erosivity and solid transport, providing valuable insights into wastewater characteristics and WWTP performance in Batman, which can aid in optimizing wastewater management and treatment facility operations.



Gelişmekte olan şehirlerdeki atıksu karakterizasyonu: Batman atıksu arıtma tesisi örneği

İbrahim Halil Demirel^{1*}, Erdal Kesgin², Kadir Gezici^{2,3}, Remziye İlayda Tan Kesgin⁴

¹Batman Üniversitesi, Kozluk MYO, İnşaat Bölümü, 72400, Batman, Türkiye

²İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34469, Maslak, İstanbul, Türkiye

³Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 25240, Yakutiye, Erzurum, Türkiye

⁴Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34445, Beyoğlu, İstanbul, Türkiye

ÖNEÇİKİMLER

- Atıksu kirlenme yüklerinin mevsimsel değerlendirilmesi
- Atıksu arıtma tesisi pik faktör analizi
- Atıksu arıtma tesisinde kullanılabilecek ampirik pik debi faktörü formül önerisi

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 23.07.2023

Kabul: 18.01.2025

DOI:

10.17341/gazimmfd.1331387

Anahtar Kelimeler:

Pik faktör,
atıksu arıtma tesisi,
kirlenme yükleri,
Batman

ÖZ

Bu araştırma, Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu bölgesinde yer alan Batman ilinde bir Atıksu Arıtma Tesisi (AAT) inşaatı sonrasında elde edilen atıksu verilerinin değerlendirilmesini sunmaktadır. Bu amaçla, 2011-2022 yılları arasındaki yağışlı ve kuru hava koşulları baz alınarak tesisin giriş debi verileri analiz edilmiştir. Kirlenme yüklerinin konsantrasyonu ve yükleme oranları hesaplanarak tipik atıksu bileşenleri belirlenmiş ve Batman AAT için maksimum ve minimum Pik Faktörler (PF) hesaplanmıştır. Ayrıca tesisin toplama sistemi için sızma değerleri tespit edilmiştir. Sonuç olarak, yaz aylarında kirlenme yüklerinin arttığını, ancak ortalama değerlerde ise önemli bir fark olmadığı görülmüştür. Tesise ait PF'lerin aşılması olasılığı yüzdeleri hesaplanmış ve en yüksek değerler 2021 yılında %70, 80 ve 90 için sırasıyla 1,30-1,34 ve 1,37 olarak bulunurken, en düşük değerler 2020 yılında %70, 80 ve 90 için sırasıyla 1,04-1,06 ve 1,07 olarak elde edilmiştir. PF'ler 2011-2022 yılları arasında günlük, kurak ve yağışlı dönemler için sırasıyla 1,10-1,82-1,09-1,49-, 1,14-1,62 aralığında bulunmuştur. Son olarak Batman AAT için maksimum kurak PF tahmini için yeni bir ampirik eşitlik önerilerek ($PF_{\text{mak,kurak}} = 702.16 Q_{\text{ortgün}}^{0.585}$, $R^2=0.726$), tesisin toplama sistemine ait sızma miktarı, atıksu debisinin %44'ü olacak şekilde alınması tavsiye edilmiştir. Bu bulgular, atıksu yönetim stratejilerinin geliştirilmesine, kirlenme yüklerinin anlaşılmasına ve bölgedeki atıksu arıtma tesisleri için tasarım ve operasyonların optimizasyonuna katkıda bulunabilir.

Wastewater characterization in developing cities: A case study of Batman wastewater treatment plant

HIGHLIGHTS

- Analysis of seasonal changes for wastewater pollutant loads
- Wastewater treatment plant peaking factor analysis
- Empirical peak factor formula recommendation for wastewater treatment plant

Article Info

Research Article

Received: 23.07.2023

Accepted: 18.01.2025

DOI:

10.17341/gazimmfd.1331387

Keywords:

Peak factor,
wastewater treatment plant,
pollutant loads,
Batman

ABSTRACT

This research focuses on evaluating the wastewater data collected subsequent to the establishment of a Wastewater Treatment Plant (WWTP) in Batman province, situated in the Southeastern Anatolia region of Turkey. The analysis involves examining the inflow data of the facility over the period from 2011 to 2022, specifically considering the impact of rainy and dry weather conditions. The investigation aims to identify the typical components of wastewater by calculating pollutant concentrations and loading rates. Moreover, the study determines the maximum and minimum Peak Factors (PF) associated with the Batman WWTP. Additionally, leakage values pertaining to the Batman WWTP collection system are determined. As a result, it has been shown that pollutant loads increase during the summer months, but there is no significant difference in average values. The probability of not exceeding the PFs for the Batman WWTP was calculated in percentages, and the highest values were found to be 1.30, 1.34, and 1.37 for 70%, 80%, and 90% respectively in the year 2021, while the lowest values were calculated as 1.04, 1.06, and 1.07 for 70%, 80%, and 90% respectively in the year 2020. The PFs for the Batman WWTP ranged from 1.10 to 1.82 for daily periods, 1.09 to 1.49 for dry periods, and 1.14 to 1.62 for rainy periods between 2011 and 2022. Finally, a new empirical equation has been proposed for the estimation of the maximum dry PF for Batman WWTP ($PF_{\text{mak,dry}} = 702.16 Q_{\text{ave,dry}}^{0.585}$, $R^2=0.726$), and it is recommended to take the leakage amount of the collection system of the facility as 44% of the wastewater flow rate. The outcomes of this research offer valuable insights into wastewater characteristics and the performance of the WWTP in Batman province. These findings can contribute to the enhancement of wastewater management strategies, the comprehension of pollutant loads, and the optimization of design and operations for wastewater treatment facilities in the region.

1. Giriş (Introduction)

Endüstriyel ilerlemelerin bir sonucu olarak büyüyen kentsel bölgelerde, Atıksu Arıtma Tesisleri (AAT), halk sağlığının ve çevrenin korunmasında hayati bir rol oynamaktadır. Sağlığın korunması, yaşam kalitesinin yükseltilmesi ve ekonomik düzeyin iyileştirilmesi için gelişmekte olan bölgelerde iyi bir sanitasyon hizmetine ihtiyaç duyulmaktadır. Endüstriyel atıklar, ülkemiz dahil olmak üzere dünyada çevresel sorunlara yol açan önemli bir boyuta sahiptir. Bu atıkların çeşitli alanlarda değerlendirilmesiyle, çevre kirliliği bir miktar azaltılabilir ve ülke ekonomisine katkı sağlanabileceği düşünülmektedir [1, 2]. Bu nedenle, AAT'lerin önemi her geçen gün artmaktadır. Atıksular, evsel, endüstriyel ve tarımsal faaliyetlerden kaynaklanmaktadır ve doğrudan akarsulara taşındıklarında insan yaşam alanlarına ve sucul yaşama ciddi zararlar verebilmektedir [3].

İklim değişimi etkisiyle hem kış hem de yaz mevsimlerindeki sıcaklık değişimlerinin deniz yaşamını, balık popülasyonunu, turizm alışkanlığını, yağış rejimini ve kuraklık özelliğini değiştirmesi beklenmektedir [4]. Bu etkilerin yanı sıra, iklim değişikliği kentsel atıksu sistemleri için gelecek yıllarda karşılaşılabilecek en büyük zorluklardan biri olarak görülmektedir. Özellikle atıksu arıtma tesislerindeki süreçlerin iklim değişikliğinden etkilenmesi öngörülmektedir. Bu etkiler bölgelere göre farklılık gösterse de aşırı hava olayları ile daha fazla arıtılmamış kanalizasyon taşkınlarına ve kent seline neden olacağı düşünülmektedir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından yapılan Türkiye iklim sınıflandırması sonuçlarına göre, Batman ili 1981-2010 iklim periyodu için aylık ve yıllık bazda incelendiğinde, Aydeniz iklim sınıflandırmasına göre kurak, Erinç, DeMartonne ve Thornthwaite iklim sınıflandırmalarına göre ise yarı kurak bir bölgedir [5]. İklim değişikliğinin bölgedeki kuraklık etkisinden dolayı atıksu arıtma tesislerinin önümüzdeki yıllarda daha da önemli bir rol oynamasına neden olacaktır. Batman ilinde yer alan Türkiye Petrolleri Anonim Şirketi'nin petrol çıkarma ve işletme faaliyetlerinin etkisiyle, şehirde yoğun bir göç hareketi yaşanmıştır. Bu şehirleşme hareketi, nüfus artışı, sanayileşme, alan büyümesi, iş ve ticaret alanlarının oluşması, istihdam gibi faktörleri etkilemiştir. Ancak bu hızlı süreç, şehirlerin kullanım yapısını değiştirmiş ve düşük nitelikli konutlar, çarpık şehirleşme, çevre problemleri, hava kirliliği, gürültü, sanayi atıkları ve işsizlik gibi sorunların da ortaya çıkmasına sebep olmuştur [6]. Sosyo-Ekonomik Gelişmişlik Sıralaması Araştırmaları (SEGE), istatistiksel teknikler kullanarak illerin ve ilçelerin gelişmişlik düzeylerini analiz ederek gelişmişlik sıralamasını belirlemektedir. 2017 yılı SEGE araştırmasına göre, Batman ili son sıralama olan 6. kademede yer almaktadır [7].

Atıksu arıtma tesislerinin tasarımı, birçok faktörün etkisi altındadır. Bu faktörler arasında, bölgenin nüfusu, insanların yaşam standartları, su tüketimi, endüstriyel faaliyetlerin türü ve yoğunluğu, bölgenin sıcaklık ve yağış koşulları ile mevcut altyapı sistemlerinin tasarım durumu bulunmaktadır [8-12]. Özellikle son yıllarda kentleşmenin etkisiyle birlikte, geçirimsiz yüzeylerin artması, yüzeysel akışın ve bu yüzeylerden toplanan çeşitli kirlenmelerin hacminin artması, yağış sularının daha etkin bir şekilde yönetilmesini gerektirmektedir. Aksi takdirde, yüzey ve yeraltı suları kirlenmekte ve atıksu tesislerinin kapasitesi aşıldığında çevre kirliliği artmaktadır [13]. Yağışlı hava koşulları, yeraltı suyu sızıntı seviyelerini etkileyerek, kırık ve/veya hatalı bağlantı noktalarından su girişine neden olmakta ve atıksu tesislerindeki debi miktarında önemli bir artışa neden olmaktadır [14]. Ayrıca, mevsimsel değişiklikler de atıksu karakterizasyonunu etkileyen önemli bir faktördür.

Sudaki organik kimyasalların biyolojik olarak ayrıştırılması için gerekli olan oksijen miktarı, Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ) olarak adlandırılır ve BOİ değeri, suyun kirlilik düzeyi hakkında bilgi

verir [3]. Kimyasal oksidasyon yoluyla sudaki oksitlenebilir bileşiklerin ayrışması için gereken oksijen miktarı ise Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) olarak ifade edilir. KOİ parametresi, dezentegrasyon verimliliğinin değerlendirilmesinde ve meydana gelen çözünmüş toplam azot ve fosfor artışındaki dezentegrasyon verimliliğinin bir göstergesi olarak da kullanılabilir [15]. Askıda Katı Maddeler (AKM), erozyon ve insan faaliyetleri gibi çevresel etkenler sonucu oluşan suda asılı kalan partiküllerdir. Atıksularda bulunan toplam azot (TN) içeriği, amonyak, nitrat ve nitrit gibi bileşiklerden kaynaklanır ve TN miktarı arttıkça sudaki çözünmüş oksijen miktarı azalarak canlıların hayatını tehdit eden zararlı etkilere neden olabilir. Toplam fosfor (TP) ise bitkilerin fotosentezinde önemli bir rol oynar ve canlıların hayatta kalması için gereklidir [16]. Tarımsal su deşarjı, inorganik gübreler ve atıksular nedeniyle su kütlelerinde aşırı fosfor birikmesi, ötrofikasyona ve toksik alglerin büyümesine neden olarak çevresel risk oluşturur [17].

Atıksu arıtma tesislerine giren debi yıl boyunca saatlik, günlük, haftalık ve aylık olarak değişkenlik göstermesi nedeniyle sistemdeki debi miktarına ve dalgalanmalarına bağlı olarak tasarlanmaktadır. Ancak atıksu debi özelliklerine ilişkin yeterli analiz yapılmaması, kanalizasyon sistemlerinin uygun olmayan şekilde tasarlanmasına neden olabilmektedir [18]. Ayrıca, bölge karakteristiklerini tam olarak yansıtmayan ve genel olarak literatürde kullanılan eşitliklerin tasarımlarda kullanılması kısa vadede problemler oluşturmaya bile uzun vadede birtakım kapasite sorunlarına yol açabilmektedir. Atıksu arıtma tesislerinin tasarımı ve arıtma seviyesi, inşaat maliyetleri üzerinde ciddi bir etkiye sahiptir. Tasarım kriteri olarak kullanılan boyutsuz Pik Faktör (PF), maksimum debinin ortalama günlük debiye oranı olarak tanımlanmaktadır. PF, pik debinin tahmin edilmesi için kullanılan yaygın bir yöntemdir. Kanalizasyon sistemi tasarımı için henüz gerçek zamanlı atıksu akımının giriş-çıkış veri ölçümlerine dayalı prosedürler bulunmamaktadır [19]. Bununla beraber bazı tasarım parametreleri farklı şehirlerin nüfus ve kullanım durumlarına da uygun olmayabilir. Ayrıca, pik faktör yağışlı ve kurak hava durumlarında önemli ölçüde etkilenmektedir. Bu nedenle, optimum tasarım kapasitesini belirlemek ve maksimum AAT debisini tahmin etmek için boyutsuz pik faktörü gibi parametreler kullanarak atıksu anlayışımızı geliştirmemiz gerekmektedir.

Atıksu arıtma tesislerinin tasarımı ve süreçleri ile ilgili çeşitli araştırmacılar, farklı yöntemler kullanarak birçok çalışma yapmasına rağmen mevsimsel değişimler konusunda detaylı bir vurgu yapılamamıştır. Literatürde yapılan bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir. Balsari ve Werner [19], yaptıkları çalışmada pik faktörlerini belirlemek için kullanılan farklı yöntemleri karşılaştırmışlardır. Bu çalışmada, aylık nüfus belirlenmesi için ortalama günlük debinin kullanımı yerine bir saatlik atıksu debisinin ölçümlerinin kullanılmasının daha doğru sonuçlar verdiği bulunmuştur. Tchobanoglous vd. [20], atıksu debisinin mevsimsel değişimlerinin tasarım için önemli olduğunu belirtmiştir. Özellikle kış aylarında, yağış miktarının artmasıyla birlikte atıksu debisinde büyük bir artış görülmektedir ve bu durum tasarım parametrelerinin dikkate alınmasını gerektirmektedir. Henze vd. [9], kanalizasyon sistemlerinin tasarımının, atıksu debisini ve kirlilik yüklerini önemli ölçüde etkileyeceğini vurgulamışlardır. Zhang vd. [21] ise kentsel içme suyu kullanımı için teorik bir pik faktör eşitliğini geliştirmişler ve Poisson Dikdörtgen Darbe Modelini (PDDM) önermişlerdir. Çalışmalarında, yüzdalik dilim 99,9'da dikdörtgen darbe modeli ile elde ettikleri sonuçları, farklı nüfus sayılarında Babbitt ve Baumann [22], Giffit [23], Johnson [24] ve Harmon [25] gibi ampirik deterministik ifadelerle karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, teorik pik faktörlerin geleneksel ampirik yöntemlerle uyumlu olduğunu ve PDDM'den elde edilen sonuçların Babbitt ve Baumann [22] eşitliğinin altında ve Harmon [25] eşitliğinin üstünde değerler sunduğunu ortaya koymuşlardır. Gig Limanı Şehri (Washington,

ABD) için yapılan Kapsamlı Atıksu Planı Güncellemesinde [26] günlük PF'leri, kurak ve yağışlı hava koşullarında sırasıyla 1,50 ve 2,46 olarak hesaplamışlardır. Ayrıca günlük atıksu debileri, tarihi yağış verileri ile arasında bir korelasyon bulunarak, geleneksel yağışlı hava (Ekim-Nisan) ve kurak hava (Ekim'den Nisan'a) mevsimleri için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Imam ve Elnakar [18] çalışması, Mısır ve Suudi Arabistan Krallığı'ndaki birkaç küçük havzadan elde edilen debi verilerini kullanarak, olasılığa dayalı tasarım için maksimum ve minimum pik faktörlerinin belirlenmesini incelemiştir. Araştırmada, kanalizasyon sistemlerinin tasarımında debi özelliklerinin belirlenmesinin önemli olduğu vurgulanmış ve sonuçların kanalizasyon sisteminin kritik bir debiye göre tasarlanması gerektiği ifade edilmiştir. Gato-Trinidad ve Gan [27], Avustralya'nın Greater Melbourne şehrinde bir yıl boyunca kaydedilen su tüketim verilerini kullanarak, 5, 10, 20, 30 ve 60 dakikalık aralıklarla hesaplanan saatlik PF üzerindeki popülasyon ve örnekleme aralığının etkilerini incelemiştir. Daha doğru bir PF hesaplaması için daha yüksek zaman aralıkları yerine 5 dakikalık aralıkların kullanılması gerektiği sonucuna varmışlardır. Ayrıca, popülasyon arttıkça PF ve varyasyon katsayısının azaldığını da belirtmişlerdir. Gato-Trinidad ve Gan [27] ayrıca, küçük bir nüfus için pik debiyi tahmin etmek için yeni eşitlikler de önermişlerdir. 1,020 ila 11,695 kişi arasındaki kullanıcı sayısı için, deterministik yaklaşımlar için PF aralığı 8,12 ila 3,12, %90 olasılık yaklaşımı için ise 8,23 ila 3,15 olarak belirlenmiştir. Balaco vd. [28], su ihtiyacı üzerine bir araştırma yürütmek amacıyla İtalya'nın Puglia bölgesinde birkaç kasabada çalışma gerçekleştirmişler. Saatlik, günlük, haftalık ve aylık bazda PF'leri tahmin ederek, PF ile sakinlerin sayısı arasındaki ilişkiyi stokastik bir yaklaşım temelinde araştırmışlardır. Aylık ve haftalık PF'lerin kullanımı dikkate alınmadan su tedarik şebekesi tasarımının mümkün olduğunu belirtmelerine rağmen, mevcut su taleplerinin bu değişimlere özel olarak duyarlı olmadığını gözlemlemişlerdir. Daha sonra Balacco vd. [29], Puglia Bölgesi'nde bulunan üç kasaba için su tüketimine yönelik akış verilerini incelemiş ve 2015 ile 2016 yılları arasında 10 dakikalık zaman aralıklarıyla veri toplamışlardır. Bu şekilde anlık PF'ler üzerinde yürüttükleri frekans analizi sonuçları, Gumbel dağılımının en yüksek su talebi stokastik davranışını temsil ettiğini doğrulamıştır. Tan vd. [30], Antalya ilinde bulunan dört farklı AAT olan Lara, Belek, Kemer ve Hurma'dan elde edilen atıksu debi verilerini kullanarak maksimum ve minimum PF'leri incelemişlerdir. Daha sonra, günlük maksimum pik faktörünün tahmin edilmesi için atıksu debisi kullanılarak yeni bir ampirik eşitlik önermişlerdir. Benzer bölgede Kesgin vd. [31] ise bazı atıksu tesislerinin yağışlı-kurak gün bazında tesis giriş debi verilerinin atıksu bileşenlerini analiz etmiş ve sonuç olarak yaz aylarında daha küçük tesislerde kirlenici yüklerinin belirgin bir şekilde arttığını, ancak daha büyük tesislerde ise önemli bir fark olmadığını belirtmişlerdir.

Atıksu arıtma tesisleri yalnızca çevresel koruma değil, aynı zamanda sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada da önemli bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda, Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan Batman ilindeki bir atıksu arıtma tesisine ait on bir yıllık (2011-2022) veriler incelenmiştir. Çalışmada, bu veriler analiz edilerek atıksu karakteristikleri belirlenmiş ve sonuçlar yağışlı ve kurak günler ile mevsimsel değişimleri yansıtacak şekilde ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Ayrıca, yağışın atıksu özellikleri üzerindeki etkisi detaylı bir şekilde araştırılmıştır. Değişen zaman aralıkları için atıksu debi verileri kullanılarak kanalizasyon sistemlerinin optimum tasarımı için pik faktör analizi yapılmıştır ve hesaplanan değerlerin bölge özelinde tahmini için AAT'lerde kullanılabilecek yeni bir ampirik eşitlik önerilmiştir. Ayrıca tesise ait atıksu toplanma debileri için sızma tahmininde bulunulmuştur. Bu makalenin yapısı sırasıyla şu şekildedir; Kullanılan araç, gereç, yöntemler ve çalışma alanı "Teorik Metot" kısmında, çalışmanın analizi, analiz sonuçları ve sonuçların değerlendirilmesi "Sonuçlar ve Tartışmalar" kısmında, çalışmanın sonuçları ise "Sonuçlar" kısmında sunulmuştur.

2. Teorik Metot (Theoretical Method)

2.1. Çalışma Alanı (Study Area)

Batman ili, Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu bölgesinde yer almaktadır. İl, Dicle Nehri ve onun yan kolları olan Batman ve Garzan Çayları arasındaki havzada bulunmaktadır. Ayrıca, Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerini Ortadoğu'ya bağlayan bir karayolu yakınında yerleşime açık bir ilidir [32]. Batman ili, 1990 yılında il statüsü kazanmış ve hala gelişme aşamasındadır. Batman il merkezi, deniz seviyesinden yaklaşık 550 metre yüksekliktedir. Şubat 2023 yılı itibarıyla, Batman ili nüfusu toplamda 634,491 kişi olarak belirlenmiştir.

Batman ilinde, karasal iklim görülmektedir. Kış ayları serin ve yağışlı, yaz ayları ise sıcak ve kurak geçer. Batman'da kış mevsiminde yoğun yağışlar olmasına rağmen kar yağışı fazla değildir. Güneydoğu Anadolu bölgesinde yer aldığından, Batman ilinde en yüksek hava sıcaklıkları Haziran-Eylül döneminde, en düşük hava sıcaklıkları ise Aralık-Mart döneminde kaydedilir. Batman ilinin yıllık ortalama sıcaklık değeri 15,9 °C'dir. Batman il merkezinde, Batman Belediyesi tarafından işletilen bir adet atıksu arıtma tesisi bulunmaktadır. Tesisin konumu Şekil 1'de verilmiş olup, tesise ait teknik özellikler ise Tablo 1'de yer almaktadır.

2.2. Pik Faktör (Peak Factor)

Pik Faktör (PF), en yüksek/en düşük zamana bağlı su hacmini ifade eden maksimum veya minimum debinin ortalama günlük debiye oranı olarak tanımlanmaktadır. PF terimi, yaklaşık 100 yıldır içme suyu ve atıksu endüstrilerinde kullanılmaktadır. PF'yi tahmin etmek için kullanılan geleneksel yöntemler, saha ölçümleri ve mühendislik değerlendirmesinin bir kombinasyonundan türetilen ampirik deterministik ifadelerle dayanır [21]. PF değerlerinin hesaplanması için, atıksu debi kayıtlarını içeren en az üç ardışık takvim yılının incelenmesi gerekmektedir [33]. Bonilla-Granados vd. [35], debideki değişimlerin, kolektör şebekelerinin ve arıtma tesislerinin hidrolik tasarımı üzerinde büyük bir etkisi olduğunu belirtmişlerdir. Kolektör şebekeleri ve arıtma tesislerinin hidrolik tasarımını etkileyen faktörler, özellikle debideki değişimler gibi, detaylı bir şekilde analiz edilmelidir. Bu nedenle, PF, özellikle günlük ve saatlik debi verileri gibi parametreler kullanılarak, ardışık takvim yılları için maksimum günlük pik faktör değerleri ($PF_{mak,g}$) hesaplanmalıdır (Eş. 1 ve Eş. 2) [21]. Saatlik PF'ler ise pompa tesisleri ve kanalların tasarımında kullanılmaktadır.

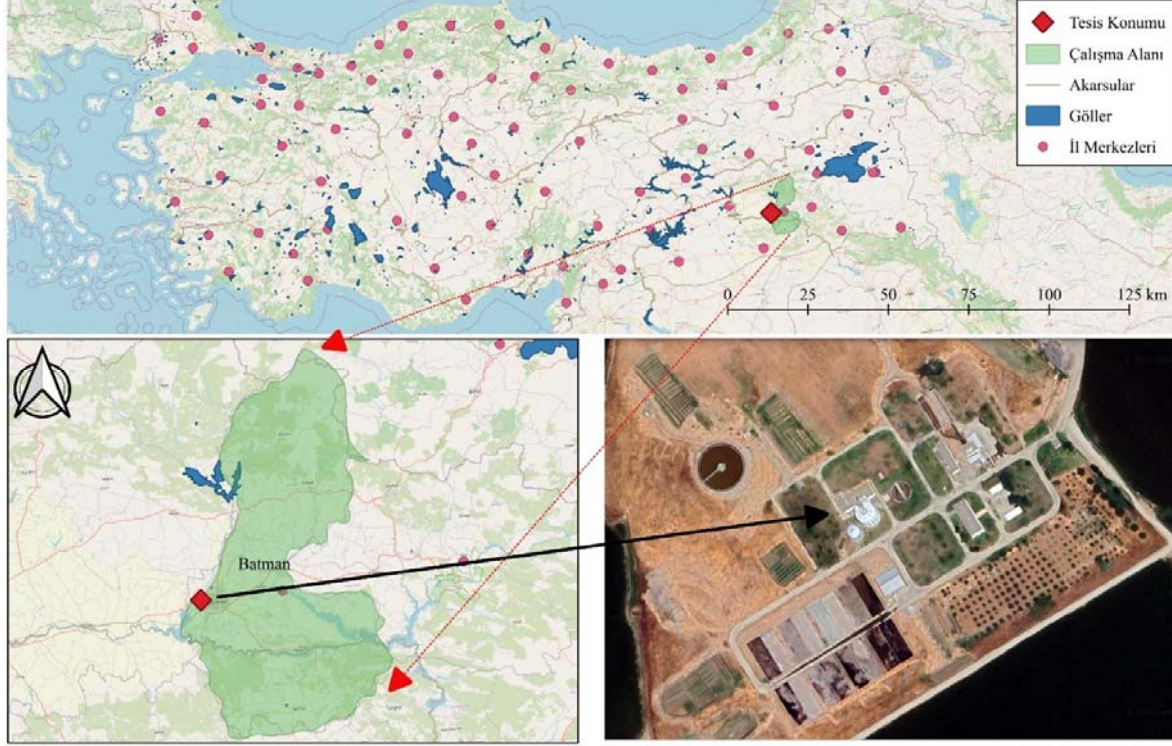
$$PF_{mak,g} = \frac{Q_{mak,g}}{Q_{ort,g}}, PF_{min,g} = \frac{Q_{min,g}}{Q_{ort,g}} \quad (1)$$

$$PF_{mak,h} = \frac{Q_{mak,h}}{Q_{ort,g}}, PF_{min,h} = \frac{Q_{min,h}}{Q_{ort,g}} \quad (2)$$

Burada, $PF_{mak,g}$ günlük maksimum pik faktör, $PF_{mak,h}$ saatlik maksimum pik faktör, $Q_{mak,g}$ günlük maksimum debiyi, $Q_{ort,g}$ günlük ortalama debiyi, $Q_{min,g}$ günlük minimum debiyi, $Q_{mak,h}$ saatlik maksimum debiyi, $Q_{min,h}$ saatlik minimum debiyi ifade etmektedir. Yiu [35], kanalizasyon tesislerinin planlanması için normal hava koşullarında, sadece kuru hava koşullarındaki pik faktörlerinin (yağmur suyu payı hariç) kullanıldığını belirtmektedir. Ancak, memba kanalizasyon sisteminin hizmet koşulları konusunda şüpheler varsa, yağışlı hava koşulları için (yağmur suyu payı dahil) en yüksek pik faktörlerin kullanılması gerektiğini ifade etmektedir. Atıksu debi verileri mevcut ise, PF'nin belirlenmesi için ortalama atıksu debisi kullanılarak diğer farklı eşitlikler de kullanılabilir. Genel olarak, hesaplanan PF ile ortalama atıksu debileri bir Log-Log grafiğine aktarıldığında, neredeyse lineer bir değişim gösterir [36] ve Eş. 3'te verildiği gibi hesaplanır.

Tablo 1. Batman AAT'nin teknik özellikleri (Technical specifications of Batman WWTP)

Atıksu arıtma tesisi	Arıtma tesisinin türü			Mevcut kapasitesi (m ³ /gün)	Deşarj noktası	Atıksu toplama alanı (km ²)	Atıksu hizmet nüfusu
	Fiziksel	Biyolojik	İleri				
Batman	Var	Yok	Yok	61000	Batman Çayı	85	477,456

**Şekil 1.** Çalışma alanı (Study area)

$$PF = C \cdot (Q_{ort,g})^{-m} \quad (3)$$

Burada PF pik faktör değerini, $Q_{ort,g}$ günlük ortalama debi değerini, C ve m ise sabit katsayıları ifade etmektedir. Atıksu debisi mevcut olmadığında, debi faktörlerinin tahmin edilmesi için çeşitli eşitlikler geliştirilmiştir. Bu eşitliklerin en yaygın kullanılanları popülasyona bağlı hesaplamalardır [35]. Çalışma alanında saatlik debi verileri bulunmamaktadır. Saatlik debi verilerinin olmaması nedeniyle, saatlik pik faktörleri Tchobanoglous vd. [20], Babbitt ve Baumann [22], Giffit [23], Johnson [24], Harmon [25], Metcalf ve Eddy [37] literatürde önerdikleri ampirik eşitlikler yardımıyla belirlenebilmektedir. Bu ampirik eşitlikler, atıksu PF'ler için Zhang vd. tarafından belirtildiği gibi 1,000 ila 1,000.000 arasındaki popülasyonlara uygulanma eğilimindedir [21]. Ayrıca, PF'nin uygulama koşulları dikkate alındığında [36-39] bu ampirik eşitlikler Batman AAT için de kullanılmıştır. Ayrıca Tan vd. ortalama atıksu PF'lerin belirlenmesi için Eş. 3'e uygun olarak ampirik eşitlikler kullanmışlardır [30].

Çalışmada günlük yağış ölçümleri, kaydedilen AAT'lerin atıksu verilerinin değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Ortalama günlük atıksu debisi tüm yıl boyunca kaydedilen verilerin ortalaması olarak hesaplanmıştır. Ancak, maksimum günlük yağışlı atıksu debisi ve kurak hava atıksu debisi, sırasıyla ölçülebilir yağışlı ve yağışsız günler için maksimum debi olarak kabul edilmiştir. Geleneksel yağışlı-kurak hava debileri için yağışlı (Ekim-Nisan) ve kurak hava (Mayıs-Eylül) mevsimlerini kullanmak yerine, günlük AAT atıksu debisi yağışın olmadığı (sıfır yağış) ve ölçülebilir yağışlı günler için

değerlendirilebilir. Bu amaçla, yağışlı ve kurak hava koşulları için iki farklı pik faktör (yağışlı ve kurak) hesaplanmıştır. Böylece yağmur suyu payını dahil etmek ve hariç tutmak için sırasıyla $PF_{mak,yağışlı}$ ve $PF_{mak,kuru}$ değerleri bulunmuştur. Aynı zamanda, bu çalışma kapsamında, ilgili pik debi faktörü için aşılmama olasılıklarını gösteren yüzdelik değerleri %70, %80 ve %90 aşılmama değerleri için hesaplanmıştır.

2.3. Atıksu Karakterizasyonu (Wastewater Characterization)

2.3.1. Atıksu konsantrasyon ve yüklerinin hesaplanması (Calculation of wastewater concentration and loads)

Atıksu karakteristikleri, debi ve kimyasal özelliklerin analizi olarak kabul edilir. Atıksular, evsel, endüstriyel ve ticari/kurumsal su tüketimine bağlı olarak farklı karakteristik özellikler gösterirler. Özellikle yağışlı dönemlerde, sızıma debisi ile birlikte atıksulara doğrudan yağmur suları da karışabilir. Bu nedenle, atıksu karakteristiği değişkenlik gösterebilir. Mevcut atıksu arıtma tesislerine girişteki debi ve kirlilik parametrelerinin ölçümleri analiz edilerek, atıksu karakteristikleri belirlenebilir. Bu veriler minimum, ortalama ve maksimum kuru hava debisi, pik yağışlı hava debisi, sürekli maksimum debi ve başlıca kirlenici parametrelerini (BOİ, KOİ, AKM, pH, TN, TP, zehirli kimyasallar vb.) içermektedir [33].

Atıksu akımları ve kirlilik seviyelerindeki değişimleri daha iyi anlamak için, mevcut verilerin istatistiksel analizi yapılabilir. Atıksu akımları genellikle Normal veya Log-Normal dağılıma uygun olarak dağılır. Saatlik, günlük maksimum/minimum atıksu debisi ve günlük

ortalama debilerinin Log-Normal dağılıma uyması, haftalık, 15 günlük, aylık ve yıllık ortalama atıksu debilerinin ise Merkezi Limit Teoremi'ne uygun olarak Normal dağılıma uyması genel bir prensiptir. Ancak, mevcut veri tabanındaki veriler genellikle sınırlı sayıda olduğundan, atıksu debi ve kirlileti seviyeleri ile ilgili bu verilerin özel olarak analizi gereklidir. Bölgede benzer tesislerin kurulması veya mevcut tesisin kapasitesinin genişletilmesi için önemli olan kişi başına düşen günlük kirlileti yük değerleri [41] bu çalışmanın odak noktasıdır. Bu amaçla, çalışma kapsamında, tesis için on bir yıl boyunca (2011-2022, 2018 yılı hariç) ortalama atıksu debisi, nüfus ve ortalama kirlileti konsantrasyonları kullanılarak, kişi başına düşen kirlileti yük konsantrasyonları hesaplanmıştır (Eş. 4). Bu değerler literatürdeki benzer çalışmalardan elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır. Kişi başına düşen kirlileti parametrelerinin evsel atıksular için ülkeler arasında farklılıklar gösterdiği bilinmektedir [8]. Bu nedenle, çalışmada kişi başına düşen kirlileti yük değerleri, gelişmiş ülkelerde yapılan çalışmaların sonuçlarına göre değerlendirilmiştir [9, 20, 42]. Ayrıca, kişi başına düşen kirlileti parametrelerinin evsel atıksular için düşük, normal ve yüksek oranları, Tablo 2'te verilmiştir.

$$\text{Kirlilik değeri (gr/kişi/gün)} = \frac{\text{Debi (m}^3/\text{g)} \cdot \text{Konsantrasyon (mg/L)}}{\text{Popülasyon}} \quad (4)$$

Tablo 2. Evsel atıksularda kirlileti parametreler arasındaki farklı oranların sınıflandırılması [8]
(The classification of different ratios between pollutant parameters in domestic wastewater)

Oran	Düşük	Normal	Yüksek
KOİ/BOİ	1,5-2,0	2,0-2,5	2,5-3,5
KOİ/TN	6-8	8-12	12-16
KOİ/TP	20-35	35-45	45-60
BOİ/TN	3-4	4-6	6-8
BOİ/TP	10-15	15-20	20-30

2.3.2. Yağmur suyunun atıksu arıtma sistemleri üzerindeki etkileri (Effects of rainwater on wastewater treatment systems)

Yağış, akış hızını ve AAT'lerden iletilen kirlileti yükleri etkileyen önemli bir faktördür. Bu nedenle, her tesis için incelenen debi, BOİ, KOİ, ve AKM parametreleri, yağışlı ve kuru günler olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Mevcut veriler, istatistiksel olarak sıklıkla kullanılan kutu grafikleri kullanılarak değerlendirilmiştir.

2.3.3. Mevsimsel değişimin incelenmesi (Examining seasonal change)

Atıksu parametreleri üzerinde mevsimsel değişikliklerin belirgin bir etkisi vardır. Yağış farklılıkları mevsimsel değişimlerde önemli bir faktör olmakla birlikte, sanayi üretimi, tarım veya turistik bölgelerin mevsimsel etkisi de oldukça önemlidir. Debi, BOİ, KOİ ve AKM gibi tüm parametrelerin ortalama mevsimsel değerleri yıl boyunca 3 aylık ortalamalar alınarak kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar gibi dört mevsime ayrılmıştır. Ayrıca 2011-2022 yılları arasında elde edilen yıllık ortalama mevsimsel değerlerin 11 yıllık ortalaması alınarak tek bir mevsimsel değer elde edilmiştir.

2.4. Sızma Debisinin Tahmini (Estimation of Leakage Value)

Sızma, arızalı veya hatalı atıksu hatları, boru bağlantıları ya da rögar duvarları aracılığıyla bir kanalizasyon sistemine giren yeraltı suyu olarak tanımlanır. Sızma debisi, atıksu toplama sistemlerinin tasarımında önemli bir kriter olup doğru tahmin edilmediğinde atıksu arıtma tesislerinin (AAT) verimini önemli ölçüde etkileyebilir. Özellikle su dağıtım sistemlerinde basınç yönetimi uygulamaları sayesinde kaçak akışlar, sızma ve boru patlamaları azaltılarak su ve enerji kayıplarının önüne geçilmelidir [43]. Genel olarak, sızma debisi iki farklı grupta değerlendirilmektedir. Birincisi, boru bağlantı

noktalarından, çatlaklardan veya hatalı bağlantılardan kaynaklanan yeraltı suyunun atıksu kolektör sistemlerine girmesi durumunda ortaya çıkan yeraltı suyu sızmasını (YSS) içerir. İkincisi ise, binaların kaçak olarak atıksu kanallarına bağlanmış yağmur suyu boruları, çatılar ve kanalizasyon bacası kapakları gibi kaynaklardan doğrudan sistem içine giren yağmur suyu akışını içerir ve bu suya yağmur suyu sızması denir. İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ), sızma debisini atıksu borularına veya baca içine yeraltı suyundan sızan debi olarak tanımlamaktadır. İSKİ, atıksu şebekeleri ve atıksu toplayıcıları için sızma hesaplamalarında iki farklı yöntem önermektedir, bu yöntemler sırasıyla Eş. 5 ve Eş. 6'da verilmiştir [45].

$$Q_{\text{sızma}} = A \cdot 0.1 \text{ (l/s-ha)} \quad Q_{\text{sızma}} = A \cdot s \quad (5)$$

Burada, A: Atıksu toplama alanı (ha) ve s: Sızma kapasitesidir.

$$Q_{\text{sızma}} = A_{\text{Eşdeğer}} \cdot 0.1 \text{ (l/s-ha)} \quad Q_{\text{sızma}} = A \cdot s \quad (6)$$

Burada A, eşdeğer nüfusa bağlı eşdeğer alanı verecek şekilde N/300'den belirlenir, N: Nüfustur (N/ha).

Kanalların hizmet ettiği alana göre sızma debisi atıksu toplama havzasının alanına bağlı olarak (0,1–0,2 l/s-ha), kanal uzunluğuna göre (0,80 l/s-km), kanal uzunluğuna ile çapına bağlı olarak (0,5–5 m³/gün-km-cm veya ortalama bir değer olarak 2,5 m³/gün-km-cm) veya muayene bacalarından atıksu kanallarına giren debinin ilave edilmesi şeklinde (0,4 m³/gün-baca sayısı) yaklaşımlar ile sızma debileri tahmin edilmektedir [45].

Çevre Koruma Ajansı (EPA), sızma debisi için kabul edilebilir değer 140 l/gün-mm-km (veya 1,400 l/gün-cm-km) olduğu belirtilmektedir. Bu değerin aşıldığı durumlarda, atıksu sisteminden bu debinin uzaklaştırılması veya kanalların yenilenmesi önerilmektedir. Ayrıca, bu durumda kanalların yenilenmesi, sızma suyunun uzaklaştırılması ve arıtılmasından daha ekonomiktir [46]. Evsel debinin belirli bir oranı sızma debisi olarak kabul edilir ve bu değer genellikle ortalama günlük debinin %50-100'ü arasında yer almaktadır. Farklı ülkelerde önerilen sızma debileri genellikle evsel debinin %45-65 aralığında bulunmaktadır [47]. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, yeraltı suyu sızma debisi farklı ampirik ifadeler kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu ifadeler Tablo 3'te özetlenmiştir.

Toplam atıksu debisi (TAD) metodu, kuru hava ortalama debisinden evsel atıksu debisinin çıkartılmasına dayanmaktadır. Mayer [49], Harping [48] ve University of Wisconsin-Madison [51] çalışmalarında, minimum su tüketiminin gerçekleştiği erken saatlerdeki evsel atıksu debisini dikkate alması ve bunun toplam su tüketiminin %12'sine tekabül ettiğini kabul etmişlerdir. Tüketilen içme suyunun tamamının atıksu kanalına intikal edeceği kabul edilerek, evsel günlük atıksu üretiminde gece yarısı minimum değeri dikkate alınacak şekilde 0,12 katsayısını önermişlerdir. Ayrıca OGD ile MiGKD arasındaki ilişki dikkate alınarak içme suyundan atıksuya dönüşüm (intikal) oranını 0,88 olarak belirlemişlerdir [52].

Minimum Faktör (MF) yöntemi, havza alanına bağlı olarak minimum faktör değişimine dayalı olarak oluşturulmuş ve ASCE [53] tarafından yayınlanmıştır. Bu yöntemde göre, atıksu toplama havzasının alanı arttıkça, MF'nin de arttığı ifade edilmektedir. MF yöntemi, iterasyon yoluyla minimum faktör hesaplamasını içerir ve YSS tahminine olanak sağlar. Mayer [45] tarafından önerilen ampirik ifade ise, mevcut OGD ve MiGKD kayıtlarını kullanarak YSS'yi tek bir formülle hesaplama imkanı sunar. Bu çalışmada, "Birim atıksu debileri ve pik debilerin belirlenmesi" bölümünde verilen günlük minimum debi faktörü ($\beta_{\text{min, kuru}}$) hesaplamasında kullanılan yöntemle benzer şekilde, MiGKD'nin OGD'ne oranı MF olarak dikkate alınmıştır.

Tablo 3. YSS debisinin hesaplanmasında kullanılan ampirik ifadeler (Empirical expressions used in calculating the GWL flow rate) [48]

Kaynak	Formül	Açıklama
Toplam Atıksu Debisi (TAD)	$TAD = (OGKD - MiGKD) / X$ $YSS = OGKD - TAD$	X: Katsayı =0,88 Birimler l/s cinsindendir.
Minimum Debi Faktör (MF)	$MF = 0,222 \cdot (OGKD - YSS)^{0,202}$ $YSS = MiGKD - MF \cdot (OGKD - YSS)$ $YSS = \frac{MiGKD - MF \cdot OGKD}{1 - MF}$	Birimler günlük milyon galon cinsindendir.
Stevens – Schutzbach	$YSS = \frac{0,4 \cdot OGKD}{1 - 0,6 \cdot \left(\frac{MiGKD}{OGKD}\right)^{OGKD^{0,7}}}$	Birimler günlük milyon galon cinsindendir.

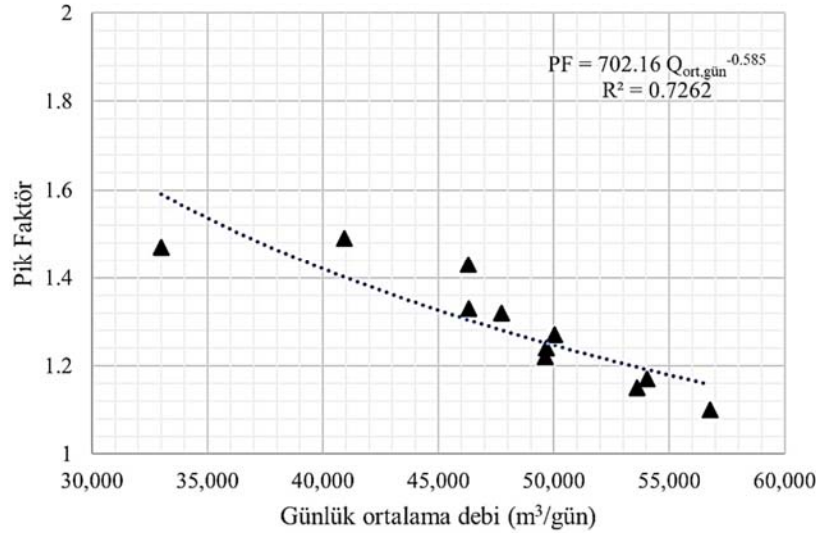
OGKD: ortalama günlük kuru hava debisi, TAD: Toplam Atıksu Debisi, MF: Minimum Faktör,
YSS: Yeraltısuyu sızma debisi, MiGKD: Minimum günlük kuru hava debisi

Tablo 4. Batman AAT için atıksu giriş akımları kullanılarak hesaplanan günlük PF değerleri
(Daily PF calculated using wastewater inflows for Batman WWTP)

Yıl	OGA ^a	MGA ^b	PF _{mak,gün}	OGKA ^c	MGKA ^d	PF _{mak,kurak}	OGYA ^e	MGYA ^f	PF _{mak,yağışlı}
2011	46.556	73.352	1,57	46.291	66.244	1,43	49.154	73.552	1,49
2012	46.404	75.778	1,82	46.323	61.542	1,32	46.660	75.778	1,62
2013	49.767	63.465	1,27	50.041	63.465	1,26	48.342	63.099	1,30
2014	47.544	63.043	1,32	47.745	63.043	1,32	46.683	54.099	1,15
2015	53.130	63.372	1,19	54.040	63.372	1,17	49.999	60.952	1,21
2016	49.631	62.094	1,25	49.641	60.442	1,21	49.571	62.094	1,25
2017	49.922	61.609	1,23	49.686	61.609	1,24	51.021	60.904	1,19
2019	53.543	61.708	1,15	53.614	61.708	1,15	53.256	61.151	1,15
2020	56.198	62.187	1,10	56.769	62.187	1,09	53.870	61.566	1,14
2021	41.368	61.132	1,47	40.920	61.132	1,49	44.704	61.105	1,36
2022	33.149	48.566	1,46	33.000	48.566	1,47	33.694	46.767	1,39

^aOrtalama günlük atıksu debisi / ^bMaksimum günlük atıksu debisi / ^cOrtalama günlük kurak atıksu debisi / ^dMaksimum günlük kurak atıksu debisi

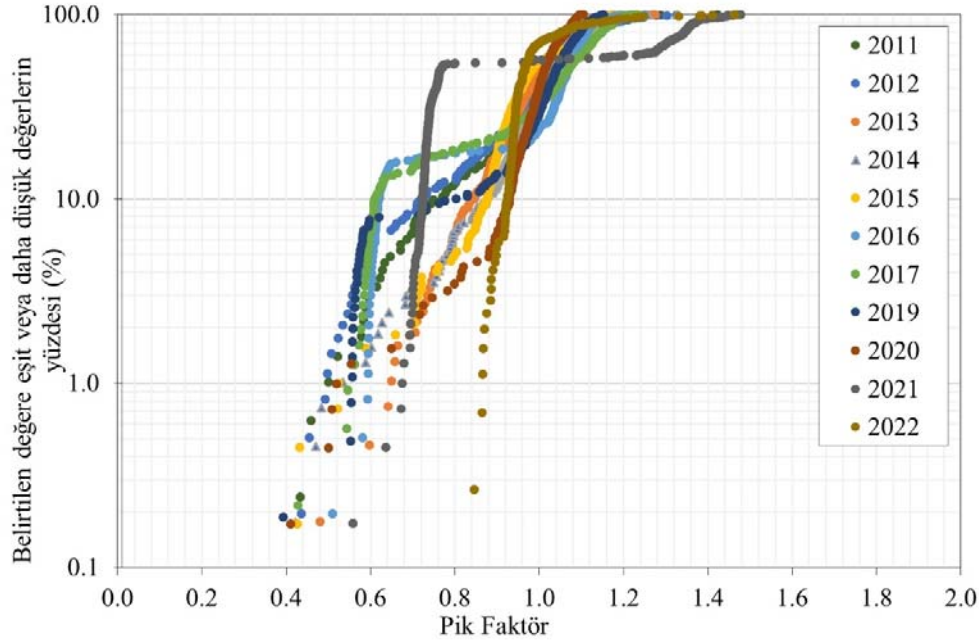
^eOrtalama günlük yağışlı atıksu debisi / ^fMaksimum günlük yağışlı atıksu debisi

**Şekil 2.** Batman AAT’deki günlük ortalama debi değerleri ile PF arasındaki ilişki
(Relationship between PF and daily average flow rates in Batman WWTP)

3. Sonuçlar ve Tartışmalar (Results and Discussions)

Bu çalışma kapsamında Türkiye’nin Güneydoğu Anadolu bölgesinde bulunan Batman ilinde bir AAT’ye ait günlük atıksu debisi, KOİ, BOİ ve AKM giriş verileri 2011-2022 yılları arası (2018 yılı hariç) için değerlendirilmiştir. İlk aşamada atıksu tesisleri için tasarım esaslarında [55] belirtildiği üzere PF’ler günlük atıksu verileri kullanılarak birbirini izleyen her bağımsız yılda değerlendirilmiş ve Tablo 4’te sunulmuştur. Ayrıca ortalama günlük atıksu değerleri

dışında ilgili takvim yıllarındaki günler yağışlı ve kurak olarak iki kısma ayrılarak PF_{kurak} ve PF_{yağışlı} değerleri yağışın olduğu ve yağışın olmadığı (kurak) günlerdeki atıksu debilerinin ayrı ayrı analiz edilmesi ile hesaplanmıştır. Tablo 4’te gösterildiği gibi günlük PF değerleri 1,10 ve 1,82 arasında değişmektedir. Kurak gün PF değerleri 1,09-1,49 arasında, yağışlı günlerde ise 1,14-1,62 arasında değişmektedir. Yağışlı günlerde PF değerlerinin kurak günlere nazaran hem daha yüksek değerlere sahip olduğu hem de daha geniş bir değer aralığına sahip olduğu ifade edilebilir.



Şekil 3. Batman AAT için PF'lere karşı yüzdelikler (Percentages versus PF's for Batman WWTP)

Tablo 5. PF'ler için belirli yüzde değerleri (Specific percentage values for PFs)

Yıl	Pik Faktör yüzdeleri		
	%70	%80	%90
2011	1,09	1,12	1,14
2012	1,08	1,12	1,17
2013	1,05	1,10	1,15
2014	1,05	1,07	1,11
2015	1,11	1,13	1,15
2016	1,09	1,11	1,13
2017	1,12	1,14	1,17
2019	1,07	1,09	1,11
2020	1,04	1,06	1,07
2021	1,30	1,34	1,37
2022	1,00	1,05	1,12

Pik faktör eğrisi, Batman AAT'si için 2011-2022 yılları arasındaki (2018 hariç) günlük ortalama debi verileri kullanılarak her yıl için kurak hava koşullarını dikkate alarak oluşturulmuştur (Şekil 2). Yeni bir ampirik eşitlik önermek için, üssel olarak Eş. 3'ün kullanıldığı ve ortalama günlük debi değerlerinin maksimum kurak pik faktörü elde etmek için Batman AAT'si için değerlendirilmiş olup yeni bir ampirik Eşitlik önerilmiştir (Eş. 7).

$$PF_{mak,kurak} = 702.16 Q_{ort,gün}^{-0.585} \quad (R^2=0.726) \quad (7)$$

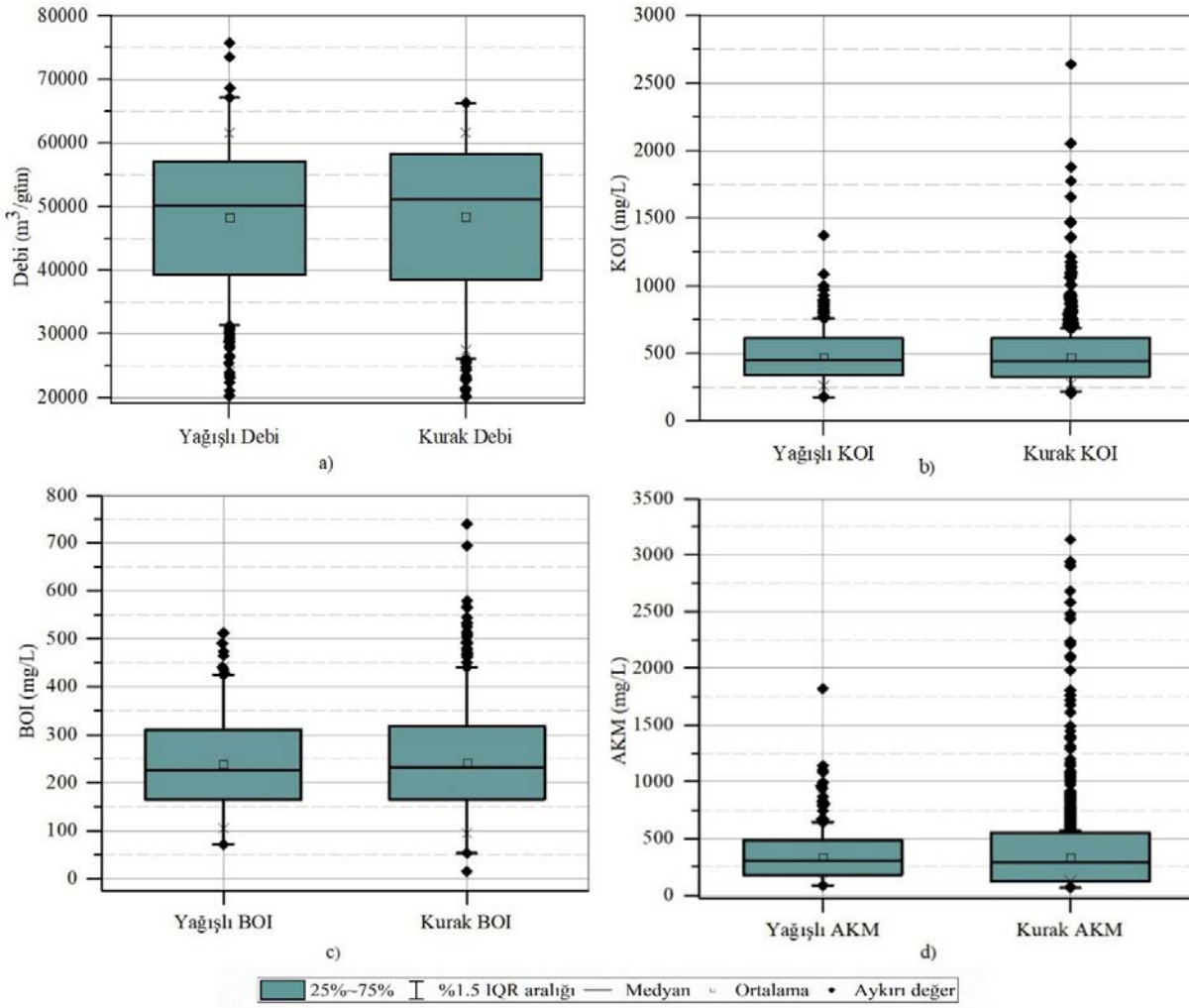
Şekil 3, Batman AAT için her bağımsız yılda PF'lerin büyüklüğünü x-ekseninde ve yüzdeliklerini y-ekseninde göstermektedir. Bu yüzdelikler, sunulan çalışmada kullanılan arıtma tesisi için PF değerlerinin aşılmama olasılığını ifade etmektedir. Ayrıca, Şekil 3'te gösterilen belirli yüzdelikler (70%, 80% ve 90%) Tablo 5'te verilmiştir.

Atıksu arıtma tesislerinin hizmet ettiği nüfusu dikkate alarak ampirik olarak PF değerlerini hesaplamak için eşitlikler geliştirilmiştir. Çalışmamızda, tüm zaman periyodu için elde edilen günlük veriler

kullanılarak PF değerleri hesaplandı ve bu değerler, literatürde verilen nüfus bazlı ampirik ifadelerin sonuçlarıyla ve literatürdeki önemli çalışmalarla karşılaştırıldı (Tablo 6). Elde edilen sonuçlar, ampirik ifadelerin sonuçlarının birbirlerine oldukça yakın olduğunu göstermektedir. Ancak, mevcut çalışmamızda en iyi tahminin Giffit [23] eşitliğiyle uyumlu olduğu bulunmuştur. Batman AAT verileriyle hesaplanan PF değeri 1,59 iken, Giffit [23] tarafından önerilen ampirik eşitliğin sonucu 1,58 olarak bulunmuştur ve bu, yüzde 1'den daha az bir hata payıyla yüksek tahmin kapasitesini göstermektedir.

Tablo 6. Nüfusa dayalı saatlik PF hesabı için verilen ampirik eşitlikler ve Batman AAT ile ilişkisi
(Empirical equations given for hourly PF calculation based on population and Batman WWTP relationship)

Çalışma	Pik Faktör
Babbitt ve Baumann [22]	1,78
Giffit [23]	1,58
Tchobanoglous [20]	2,02
Mevcut Çalışma	1,59



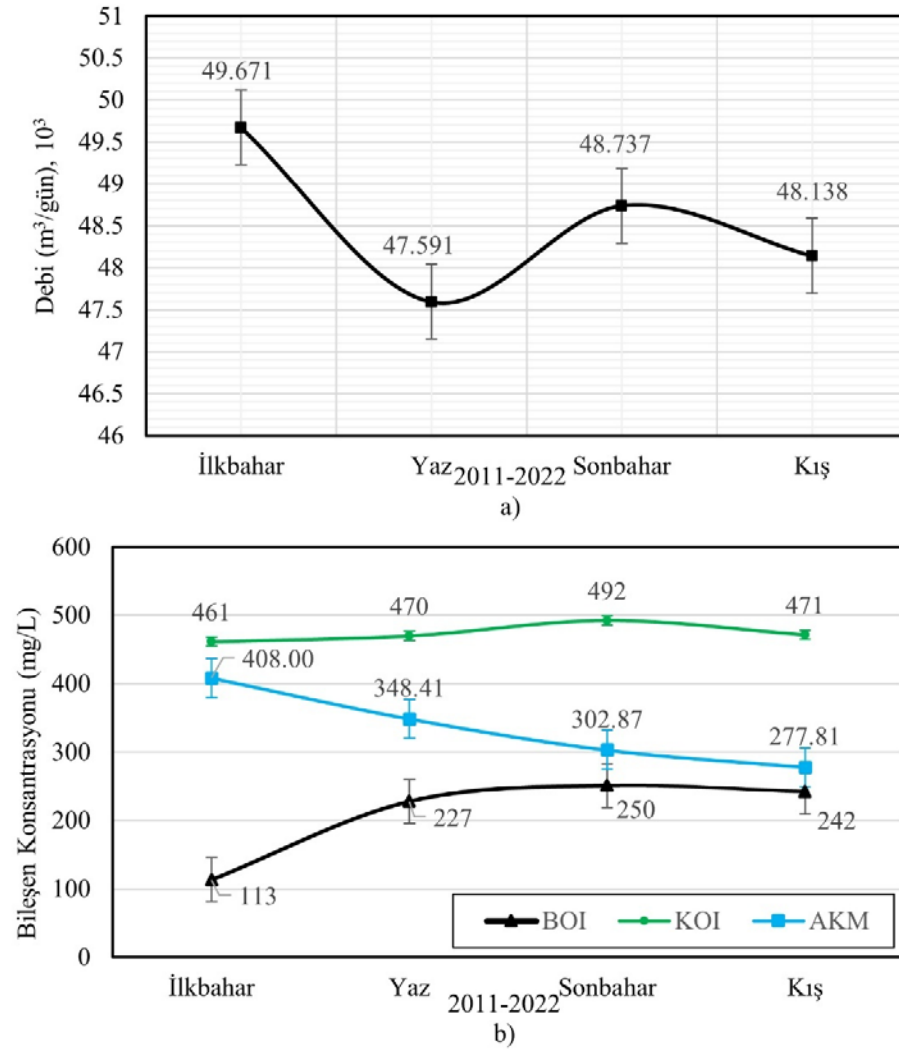
Şekil 4. Debi ve kirlenici parametreleri üzerindeki yağışın etkisinin sonuçları (a) Debi; (b) KOİ; (c) BOİ; (d) AKM
(Results the effect of precipitation on flow rate and pollutant parameters (a) Flow rate; (b) COD; (c) BOD; (d) TSS)

Şekil 4'te, debi ve kirlenici yükler için kutu grafikleri sunulmuştur. Bu grafikler hem yağışlı hem de kurak günler için olan verileri kapsamaktadır. Kutu grafikleri, geniş bir dağılıma sahip verilerin görselleştirilmesinde kullanılmaktadır. Kutu şeklindeki grafiklerde, %25 ile %75 arasında kalan bölgenin kısa olması, verilerin çoğunun bu aralıkta yer almadığını ve ortanca değer çevresinde değişkenlik gösterdiğini göstermektedir. Bununla birlikte, gözlemlenilen maksimum değeriyle, çok sayıda aykırı veri maksimum değerlerde bulunmaktadır. Kutu grafikleri incelendiğinde, özellikle ortalama değerlerin yağışlı ve kurak koşullar altında birbirine oldukça yakın olduğu gözlemlenir. Debi değerleri açısından, maksimum aykırı değerlerin sayısı azdır, ancak minimum aykırı değerlerin sayısı fazladır. Atıksu tesisine iletilen debi değerleri, yağışlı günlerde kurak günlere göre daha yüksek bir seviyededir. Bu durum, evsel atıksu kullanımının yanı sıra yağmur sularının da belirli bir miktarının atıksu tesisine ulaşması nedeniyle ortaya çıkmaktadır.

KOİ değerleri için ise, debiye kıyasla kurak günlerde daha fazla sayıda maksimum aykırı değer bulunmakta ve nispeten daha yüksek konsantrasyon değerlerine sahiptir. Aynı şekilde, diğer kirleniciler olan BOİ ve AKM için de benzer bir durum söz konusudur. Genel olarak, kirleniciler için yağışlı ve kurak koşullarda ortalama değerler arasında farklılıklar olmasa da maksimum uç değerlerde kurak günler

için önemli bir artış gözlenmektedir. Bu durum, yağışlı günlerde konsantrasyon değerlerinde azalma olabileceğine dair görüşü desteklemektedir [55]. Ortalama değerler açısından, yağışlı ve kurak süreçlerde değerler birbirine oldukça yakındır. Bu durum, yağışsız günlerde özellikle evsel kullanımlarda artan su miktarı ve buna bağlı olarak kirlilik artışının, yağışlı günlerde ise özellikle geçirimsiz yüzeylerden (kaldırım, çatı vb.) toplanan kirlenicilerin artmasıyla açıklanabilir. Ancak, yukarıda belirtildiği gibi, yağışlı günlerde yağmur suyunun seyreltme etkisi özellikle aşırı kirlenici yüklerinin oluşumunu engellemiştir. Ayrıca, çalışma alanının nüfus oranının istikrarlı bir şekilde değişmediği bir bölgede yer aldığı göz önüne alındığında, özellikle evsel ve endüstriyel kirlenicilerin miktarında yıl ve mevsimden bağımsız olarak önemli bir değişimin gerçekleşmediği anlaşılmaktadır. Bu da etkili bir değerlendirme kriteri olarak kabul edilebilir.

Debi ve kirlenici yüklerinin mevsimsel değişimini incelemek amacıyla, mevcut verilerin 3 aylık mevsimsel ortalamaları tüm çalışma süresi boyunca (2011-2022, 2018 hariç) hesaplanmıştır. Şekil 5'te, debi değerlerinin değişimi incelendiğinde, beklenildiği gibi yağışlı mevsimlerde (ilkbahar, sonbahar ve kış) debi miktarının nispeten yüksek ve birbirine yakın değerlerde olduğu görülmüştür. Kesgin vd. [31], turistik bir bölgede yaptıkları dört farklı atıksu arıtma tesisi üzerindeki çalışma sonucunda, mevsimsel olarak debi



Şekil 5. Debi ve kirlenici yüklerinin sezonsal değişimi a) Debi; b) BOİ, KOİ, AKM
(Seasonal variation of flow rate and pollutant loads a) Flow rate; b) BOD, COD, TSS)

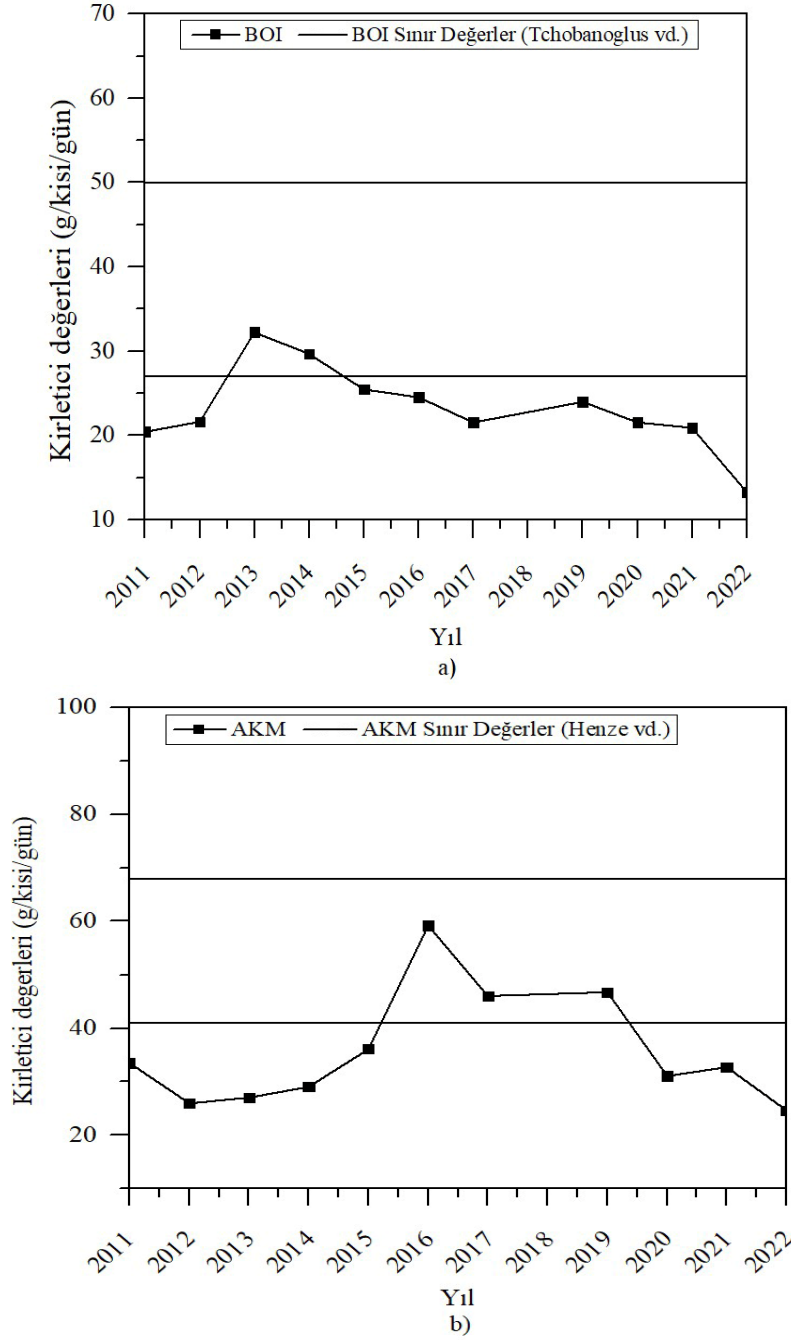
miktarında önemli bir değişimin olmadığını belirtmişlerdir. Bu durum, çalışma alanının turistik olarak yaz aylarında yoğun turist akınına uğraması ve yüksek su tüketimiyle ilişkilendirilmektedir. Öte yandan, Batman AAT nispeten az gelişmiş ve turistik özelliklere sahip olmayan bir bölgede bulunması nedeniyle mevsimsel olarak nüfus ve su tüketimi arasında önemli farklılıkların olmadığı yaz aylarında debi değerlerinin nispeten düşük olduğunu ifade etmek mümkündür.

Mevsimsel değişim açısından KOİ parametresinde önemli değişikliklerin görülmediği ifade edilebilir (Şekil 5b). Maksimum değer sonbahar ayında 492 mg/L iken en düşük değer ilkbahar ayında 461 mg/L olarak belirlenmiştir. BOİ değeri için ise yaz, ilkbahar ve kış aylarında benzer değerler gözlemlenirken ilkbahar döneminde daha düşük bir konsantrasyon değeri tespit edilmiştir. İki kirlenici parametre (KOİ-BOİ) için ortak bir nokta, yağışlı mevsimlerde (sonbahar ve kış) nispeten daha yüksek bir ortalama değere sahip olmalarıdır. Atıksu tesisine iletilen kirlenici yük miktarı, çevresel ve sosyal faktörlerden dolayı farklı çalışma bölgelerinde değişiklik gösterebilir. Bununla birlikte, yağışlı mevsimlerde özellikle yüzey akışlarıyla taşınan maddelerin etkisiyle BOİ ve KOİ değerlerinin kurak mevsimlere göre daha yüksek olabileceği belirtilmektedir [56]. Nehir ve su kütlesine biyolojik olarak parçalanamayan malzemelerin

taşınması genellikle yüksek KOİ değerlerine neden olmaktadır. Yüksek yağışlı mevsimlerde (sonbahar, kış), yağmur sularının ve atık deşarjlarının su kütlesine biyolojik olarak parçalanamayan malzemelerin akışıyla ilişkili olarak KOİ değerlerinde artış gözlemlenebilir.

AKM değerleri en yüksek ilkbahar ayında gözlenirken yaz, sonbahar ve kış aylarında zamanla azalmaktadır. İlkbahar ve yaz aylarında sıcaklıkların artması su kaynaklarındaki besin maddesi seviyelerinin yükselmesine neden olabilir ve bu da AKM değerlerinde artışa yol açabilir. Sonbahar ve kış aylarında ise düşük sıcaklıklar, su kaynaklarındaki biyolojik aktivitenin azalmasıyla birlikte AKM değerlerinde düşüşe neden olabilir. Ancak, bölgenin özellikleri, sanayi faaliyetleri, nüfus değişimleri, tüketici alışkanlıkları gibi temel ve süreç içerisinde ölçülmesi zor olan faktörlerin, bir atıksu arıtma tesisi tarafından alınan debi ve kirlenici yüklerindeki değişkenliklere büyük ölçüde etkisi olduğunu belirtmek önemlidir.

Çalışmanın bu bölümünde, BOİ ve AKM için literatürde verilen Türkiye tabanlı değerlerle Batman AAT'nin verileri, kirlenici yükleri değerlendirmek amacıyla karşılaştırılmıştır. Eş. 4 kullanılarak her yıl için tesiste kirlenici konsantrasyonları hesaplanmış ve Tablo 7'de



Şekil 6. Kirletici değerlerinin zaman içerisindeki değişimi ve Türkiye için sınır koşulları a) BOİ, b) AKM
(Change of pollutant values over time and boundary conditions for Türkiye a) BOD b) TSS)

sunulmuştur. Tchobanoglus vd. [20], Türkiye için BOİ değerinin 27-50 g/kşi/gün arasında değiştiğini, AKM için ise 41-68 g/kşi/gün olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca Henze vd. [8], bu iki parametrenin sırasıyla 27-41 g/kşi/gün ve 41-68 g/kşi/gün arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Kesgin vd. [29], Türkiye'nin güneyinde turistik alanlar için yaptıkları çalışmada BOİ için 37,3-82,3 arasında, AKM için ise 37,1-65 arasında değerler elde ettiklerini göstermişlerdir. Batman AAT'si için yapılan bu çalışma kapsamında, BOİ değerleri 13,26-32,23 arasında, AKM değerleri ise 24,65-59,23 arasında değişmiştir (Şekil 6a ve 6b). Bu değerlerin bölgesel bazda literatüre kıyasla daha düşük olmasının sebebi, sabit bir nüfusa sahip olması ve bölgenin sanayi ve endüstri açısından daha az gelişmiş olmasıyla

ilişkilendirilebilir. Ayrıca bu durum, kirlotici üretim oranının düşüklüğü olarak da ifade edilebilir.

Ayrıca, literatürde belirtilen kirlotici parametre oranları da değerlendirilmiştir. KOİ/BOİ oranı, atıksu biyolojik bozuna birliğinin bir göstergesi olarak kabul edilmekte ve ideal olarak 2 oranını göstermesi gerektiği ifade edilmektedir [57]. Atıksuların KOİ/BOİ oranı genellikle 1,25 ile 2,5 arasında değişir. Ancak, bu oran 3 ile 7 arasında olduğunda, atıksuyun biyolojik olarak ayrıştırılması daha zor hale gelir ve çözünemez hale gelebilir. Bu nedenle, yüksek KOİ/BOİ oranına sahip atıksuların artırılması daha zor olabilir ve ek arıtma yöntemleri gerekebilir [55]. Henze [8], KOİ/BOİ oranını

Tablo 7. Batman AAT'si için yıllık bazda kişi başı kirlenici yük değerleri ve oranları
(Pollutant load values and rates per capita on an annual basis for Batman WWTP)

Yıl	Ortama Debi	Kirlenici yükleri (g/kişi/gün)			Kirlilik yük oranları		
		BOİ	KOİ	AKM	KOİ/BOİ	AKM/KOİ	AKM/BOİ
2011	46.556	20,96	38,22	34,32	1,82	0,90	1,64
2012	46.404	24,20	41,01	290,6	1,69	0,71	1,20
2013	49.767	33,04	46,59	27,73	1,41	0,60	0,84
2014	47.544	30,17	51,88	29,57	1,72	0,57	0,98
2015	53.130	25,48	54,19	36,17	2,13	0,67	1,42
2016	49.631	24,74	52,81	59,77	2,13	1,13	2,42
2017	49.922	21,85	51,76	46,74	2,37	0,90	2,14
2019	53.543	24,00	55,51	46,76	2,31	0,84	1,95
2020	56.198	21,54	50,26	31,07	2,33	0,62	1,44
2021	41.368	20,97	42,80	32,84	2,04	0,77	1,57
2022	33.149	13,26	28,88	24,65	2,18	0,85	1,86

düşük, tipik ve yüksek olmak üzere üç gruba ayırmıştır. İlgili oranın 1,5-2 arasında düşük, 2-2,5 arasında tipik, 2,5-3,5 arasında ise yüksek olduğunu belirtmiştir. Bu oranın artmasıyla birlikte atıksuyun biyolojik olarak arıtılabilirliğinin zorlaştığı ifade edilmiştir [3]. Tablo 7'den de görülebileceği gibi, Batman AAT'si için ilgili oran, yaklaşık 10 yıllık dönem içinde 1,41-2,37 aralığında değişmektedir. 2011-2014 yılları arasında düşük seviye oranı gösterirken, 2015 ve 2022 arasında tipik sınıflandırma grubuna girmiştir. Çalışma süresi boyunca yüksek KOİ/BOİ oranı gözlenmemiştir.

Diğer bir değerlendirme oranı olan AKM/KOİ için Pons vd. [59], optimum değer 0.5 olduğunu ifade etmişlerdir. Bu oranın artması, ilgili bölgede erozyon ve sediment taşınma mekanizmasının yüksek olduğunu gösteren bir gösterge olarak kabul edilmektedir [60]. Bu çalışmada, ilgili oranın 0,57 ile 1,13 arasında değiştiği ve oldukça yüksek bir değere sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, özellikle çevre kirliliği açısından taşınan suların büyük ölçüde kirlenmiş olması, geçirimsiz yüzeylerden suların toplanması ve bölgedeki yağış seyrine miktarının düşük olmasıyla ilişkilendirilebilir.

AKM/BOİ oranı, evsel atıksuları için klasik olarak 0,8-1,2 arasında değişen bir değere sahiptir [61]. Ortalama değeri 1,36 olan bu oran, granüler kirliliğin çözünmüş kirlilikten daha fazla olduğunu gösterir [58]. AKM/BOİ oranının daha yüksek değerleri ise sedimentasyon-erozyon fenomeniyle ilişkilendirilebilir. Batman AAT için AKM/BOİ oranı 0,84-2,42 arasında değişmektedir. Bu durum, taşınabilir granüler askı katı madde miktarının oldukça yüksek olduğunu ifade eder ve özellikle insan faaliyetleri ve erozyon süreçlerinin çalışma alanı çevresinde izlenmesinin gerekliliğini ortaya çıkarır.

Özet olarak, Şekil 6 ve Tablo 7'de yer alan kişi başına düşen kirlenici yüklerinin Türkiye için literatürde verilen değerlerden daha düşük olmasının başlıca nedenleri bölgenin turistik ve sanayi faaliyetlerinin az gelişmiş olması, tüketim oranı ve alışkanlıklarının büyük şehirlere göre daha düşük ve istikrarlı olmasıdır. Kirlenici oranına bakıldığında özellikle AKM parametresinin (AKM/BOİ ve AKM/KOİ) değerlendirildiği süreçlerde yüksek konsantrasyon oranları gözlemlenmektedir. Bu durum, bölgenin erozyon ve sediment taşıma açısından kritik olduğunu göstermektedir. Ayrıca, yağmur sularının geçirimsiz yüzeylerden granüler malzemeleri taşıma kapasitesinin yüksek olduğu da belirtilmelidir. Bölgede, sanayi ve turistik faaliyetlerin az olması nedeniyle kimyasal ve mikrobiyolojik kirlenicilerden ziyade, atıksu arıtma tesisindeki ana kirlenici çevresel sorunlardan kaynaklanan katı madde taşınımı olarak ifade edilebilir.

Son olarak Batman AAT'ye ait toplama sistemi için sızma değerleri hesaplanmıştır. İSKİ'nin önerdiği yaklaşım [44] yardımıyla sızma değeri yaklaşık 0.021 l/s/ha olarak bulunmuştur. Ayrıca, toplam sızma

değeri 2,5 m³/gün-ha ve 2.504,9 l/gün-ha olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplarda 2021 yılı toplam sızma değeri dikkate alınmıştır. Metcalf ve Eddy toplam sızma değerini 0,2-28 m³/gün-ha, Qasım [62] ise 200-28.000 l/gün-ha olarak vermiştir. Çalışma kapsamında bulunan sonuçların bu sınır değerlerle uyumlu olduğu görülmektedir. Batman AAT ile ilgili toplam boru boyu ve boru uzunlukları ile ilgili net bir bilgi sahibi olmadığımızdan dolayı birim boy ve çap cinsinden sızma değerleri hesaplanmamıştır. Burada Amerika Çevre Koruma Ajansı (EPA), sızma debisi için kabul edilebilir 140 l/gün-mm-km (veya 1,400 l/gün-cm-km) rakamları dikkate alınabilir.

Genel olarak, literatürde evsel debinin belirli bir oranı sızma debisi olarak kabul edilir ve bu değer genellikle ortalama günlük debinin %50-100'u arasında yer almaktadır. Farklı ülkelerde önerilen sızma debileri genellikle evsel debinin %45-65 aralığında bulunmaktadır [47]. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, yeraltı suyu sızma debisi farklı ampirik ifadeler kullanılarak hesaplanmaktadır. Tablo 3'te özetlenen; Toplam atıksu debisi (TAD), Minimum Faktör (MF) ve Steven Schutzbach (SS) yönetimlerine göre bu çalışma kapsamında da sızma debileri hesaplanmıştır. 2011-2021 yılları için TAD'a göre toplam sızma miktarı atıksu debisini %32-%59 arasında, MF'ye göre %14-%47 arasında ve SS'ye göre ise %40-%49 arasında bulunmuştur. Bu oran 2021 yılında tüm yöntemler için maksimum olarak hesaplanmıştır. Genel ortalama ise sırasıyla %44,1-, %28,5 ve %44,7 olarak bulunmuştur. TAD ve SS'nin literatürde en çok kullanılan yöntemler olduğu düşünülürse, bu değerlerin birbirine yakın sonuçlar vermesi çalışmadaki sızma sonuçlarının umut verici olduğunu göstermektedir. Özetle, toplam sızma miktarı Batman AAT için atıksu debisinin yaklaşık %44'ü olacak şekilde alınması önerilmektedir. Ancak, sızma için yapılan tüm bu yaklaşımların genel anlamda kaba yaklaşımlar olduğu, günlük ölçümlerin saatlik ölçümler yardımıyla desteklenerek daha hassas sonuçların bulunması gerektiği unutulmamalıdır.

4. Simgeler (Symbols)

AAT	: Atıksu Arıtma Tesisi
AKM	: Askıda Katı Maddeler
BOİ	: Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
PF	: Pik Faktör
WWTP	: Wastewater Treatment Plant
YSS	: Yeraltı Su Seviyesi

4.1. Kısaltmalar (Abbreviations)

L	: Litre
PF	: Pik faktör [Boyutsuz]
PF _{mak}	: Maksimum pik faktör [Boyutsuz]
PF _{min}	: Minimum pik faktör [Boyutsuz]

$Q_{\min}$	: Minimum debi [m^3/s]
$Q_{\max}$	: Maksimum debi [m^3/s]
Q_{ort}	: Ortalama debi [m^3/s]
Q_{kuru}	: Kuru günlerdeki debi [m^3/s]
Q_{islak}	: Islak günlerdeki debi [m^3/s]
$Q_{\text{sızma}}$	: Sızma debisi [l/s]
R^2	: Determinasyon katsayısı [Boyutsuz]
S	: Sızma

5. Sonuçlar (Conclusions)

Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan ve gelişmekte olan bir bölgede bulunan Batman Atıksu Arıtma Tesisi için giriş debisi, KOİ, BOİ ve AKM değerleri 2011-2022 (2018 hariç) yılları için analiz edilmiştir. Çalışmanın bulguları aşağıda listelenmiştir:

- Çalışmada, günlük, kurak ve yağışlı dönemler için atıksu PF değerleri sırasıyla 1,10-1,82-, 1,09-1,49-, 1,14-1,62 aralığında gözlenmiştir.
- Bu çalışma, gelişmekte olan bir bölgede ve nüfusun mevsimsel olarak önemli değişiklikler yaşamadığı bir alandaki AAT için maksimum kurak pik debi tahminini yapmak amacıyla yeni bir ampirik eşitlik geliştirmiştir ($PF_{\text{mak,kurak}} = 702.16 * Q_{\text{ort,gün}}^{-0.585}$, $R^2=0.726$).
- Çalışma kapsamında, ilgili AAT için %70-90 aralığında PF'lerin aşılmama olasılığı yüzdeleri hesaplanmıştır. Maksimum değerler, 2021 yılı için sırasıyla %70-80-90 olarak 1,30-, 1,34 ve 1,37 olarak hesaplanmıştır. En düşük değerler ise 2020 yılı için sırasıyla %70-80-90 olarak 1,04-, 1,06 ve 1,07 olarak hesaplanmıştır.
- Debi, KOİ, BOİ ve AKM değerleri yağışlı ve kurak dönemlerde değerlendirilmiştir. Ortalama değerler açısından önemli farklılıklar olmasa da, özellikle kirlilik parametreleri (KOİ, BOİ, AKM) kurak günlerde maksimum aşırı değerlere ulaşmıştır. Debi için ise minimum aşırı değerler kurak günlerde gözlenmiştir.
- Mevsimsel değişimin incelendiği çalışmada, debi değerinin minimum düzeyde yaz aylarında olduğu görülmüştür. Bu durum, yaz mevsiminde yağışın etkisiyle açıklanabilir. En yüksek debi değerleri ise ilkbahar aylarında gözlenmiştir. Bu durum, ilkbaharda hem yağış miktarının artışı hem de evsel su tüketiminin yüksek olmasıyla ilişkilendirilebilir. KOİ ve BOİ için ise sonbahar ve kış aylarında nispeten yüksek değerler gözlenmiştir. Bu durum, yağışlı dönemlerde yüzey akışıyla taşınan kirlleticilerin miktarındaki artışla ilişkili olabilir, ancak yağmur sularının seyreltme etkisi de göz önünde bulundurulduğunda mevsimsel etkinin düşük olduğu ifade edilebilir.
- Kirleticiler yüklerinden kaynaklanan kişi başı günlük BOİ ve AKM değerleri, Türkiye için literatürde sunulan değerlerden daha düşüktür. KOİ/BOİ oranı düşük ve tipik sınıflandırmaya uygunken, AKM/BOİ (0.84-2.42) ve AKM/KOİ (0.57 ile 1.13) oranları ise yüksektir. Bu durum, bölgede yüksek bir erozivite ve katı madde taşınımı olasılığına ve taşınabilir granüller askıda katı madde oranının yüksek olduğuna işaret etmektedir.
- Sızma miktarı ise farklı yöntemler kullanılarak evsel atıksu debisinin %14-%59 arasında bulunmuştur. En çok tercih edilen yöntemlerin ortalama benzer sonuçları dikkate alınarak bu oranın Batman AAT için %44 olarak alınması tavsiye edilmektedir. Ayrıca, toplam sızma miktarı, İSKİ'nin önerdiği yaklaşıma göre yaklaşık 0.021 l/s/ha bulunmuştur. Bununla beraber, toplam sızma değeri 2,5 m³/gün-ha veya 2.504,9 l/gün-ha olarak da ifade edilebilir.

Özellikle Güneydoğu Anadolu Bölgesi, iklim değişikliğiyle birlikte kurak veya yarı kurak bir bölge olarak sınıflandırılmaktadır. Gelecekteki durumun daha da kötüleşmesi olasıdır, çünkü uygun su temini ve talep yönetimi uygulamaları ciddi önlemler alınmadığı takdirde sağlanamayabilir. Bu durum, ülkelerin ulusal su bütçelerinde atıksuyun bir atık olarak değil, bir kaynak olarak değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Ayrıca, atıksu yönetimi, geleneksel sağlık

ve çevre koruma amaçlarını aşarak arıtılmış atıksuyun ulusal su kaynaklarını artırabilecek değerli bir kaynak olarak kullanılmasını hedeflemelidir. Atıksu geri kazanımı ve yeniden kullanımı, mevcut su kaynaklarının kullanımını artırabilen ve güvenli atıksu bertarafını sağlayabilen geçerli bir geleneksel olmayan su kaynağı olarak kabul edilmelidir. Ancak, mevcut su kıtlığına rağmen, bölgede atıksu potansiyeli tam anlamıyla kullanılamamaktadır. Birçok ülkede olduğu gibi Türkiye'de de mevcut su yeniden kullanım uygulamaları yetersizdir ve bu durumu düzeltmek için etkili yönetim planlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, çoğu ülke halen uygun bir şekilde uyarlanmış yeniden kullanım yönergelerine sahip değildir. Bölgedeki atıksu yönetimine ilişkin veriler genellikle yetersiz, çelişkili ve güvenilir bir şekilde kullanılamayacak kadar zor elde edilebilir. Bu durum, atıksu sektörünün planlama ve yönetim gibi her yönünün gelişmesinin önünde büyük bir engel teşkil etmektedir. Sonuç olarak bu bulgular, atıksu yönetim stratejilerinin geliştirilmesine, kirleticiler yüklerin anlaşılmasına ve bölgedeki atıksu arıtma tesislerinin tasarım ve operasyonlarının optimizasyonuna katkı sağlayabilir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Yazarlar, Batman Su ve Kanalizasyon İdaresi'ne (BASKİ) ve özel olarak da Batman atıksu arıtma tesisi sorumlusu Amine Evin Tüzün'e atıksu akış verilerini ve değerli iş birliklerini sağladığı için teşekkür eder.

Kaynaklar (References)

1. Palas B., Ersöz G., Atalay S., Investigation of the kinetics of the micropollutant removal by using environmentally friendly wastewater treatment methods: Fenton like oxidation of Methylene Blue in the presence of LaFeO₃ perovskite type of catalysts, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 32 (4), 1181-1192, 2017.
2. Yiğit B., Salihoğlu G., Mardani-aghahaglou A., Salihoğlu N. K., Özen S., Recycling of sewage sludge incineration ashes as construction material, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 35 (3), 1647-1664, 2020.
3. Cırık K., Eskikaya O., The characteristics of the Kahramanmaraş central wastewater treatment plant, Sıtcu Imam University Engineering Science Journal, 21, 286-294, 2018.
4. Dabanlı I., Şişman E., Güçlü Y. S., Birpınar M. E., Şen Z., Climate change impacts on sea surface temperature (SST) trend around Turkey seashores, Acta Geophys., 69, 295-305, 2021.
5. Meteoroloji Genel Müdürlüğü. İklim sınıflandırması Batman. <https://www.mgm.gov.tr/iklim/iklim-siniflandirmalari.aspx?m=BATMAN>. Yayın tarihi Ocak 20, 2016. Erişim tarihi Mayıs 29, 2023.
6. Aleaddinoğlu F., Batman şehri, fonksiyonel özellikleri ve başlıca sorunları, Doğu Coğrafya Dergisi, 15 (24), 19-42, 2010.
7. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, İllerin ve bölgelerin sosyo-ekonomik gelişmişlik sıralaması araştırması, Kalkınma Ajansları Genel Müdürlüğü Yayını Sayı: 3, Araştırma Raporu Sayı 3, Ankara, Türkiye, Aralık 2019.
8. Colak S., Oztekin E., Effect of Covid-19 pandemic on chemical parameters of wastewater treatment plant: a case study in Zonguldak city, Turkey, Environ. Eng. Manage. J., 21, 805-817, 2022.
9. Henze M., Harremoës P., Jansen J.I.C., Arvin E., Wastewater Treatment: Biological and Chemical Processes, 3th Edition, Springer-Verlag, Berlin, Germany, 2002.
10. McMahan E.K., Impacts of rainfall events on wastewater treatment processes, Yüksek Lisans Tezi, Institute of Environmental Science and Policy, Florida, USA, 2006.
11. Erdirençelebi D., Sarıkaya F., Optimization of anaerobic co-digestion of sewage sludge with fruit and vegetable wastes(FVW): Methane production potential, process performance and stabilized sludge quality, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 37 (3), 1493-1508, 2022.
12. Koşucu M. M., Sarı Ö., Demirel M., Kıran S., vd., Gerçek zamanlı basınç yönetimiyle su dağıtım şebekesinde su kaybının azaltılması. Teknik Dergi, 32 (1), 10541-10564, 2021.

13. Cunningham W.P., Barbara W.S., Environmental Science: A Global Concern, 6th Edition, McGraw Hill Higher Education, Boston, USA, 2005.
14. Droste R.L., Gehr R.L., Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment, 2th Edition, John Wiley & Sons, New York, USA, 2018.
15. Dindar E., Topaç Şağban F.O., Etyam C., Variations of dissolved nitrogen and phosphorus levels in disintegration of active sludge using hydrodynamic cavitation, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, (33) 3, 1145-1154, 2018.
16. Ateeq F., Chemical removal of total phosphorus from wastewater to low levels and its analysis, Yüksek Lisans Tezi, Ontario Tech's Faculty of Science, Canada, 2016.
17. Drolc A., Koncan J.Z., Estimation of sources of total phosphorus in a river basin and assessment of alternatives for river pollution reduction, Environ. Int., 28, 393-400, 2002.
18. Imam E., Elnakar H.Y., Design flow factors for sewerage systems in small arid communities, J. Adv. Res., 5 (5), 537-542, 2014.
19. Balsari N., Werner H.J., Investigating potentials for energy efficiency measures for the WWTP's in Antalya. Izmir and Bursa Fact Finding, Mission Report 2, Antalya, Turkey, 2008.
20. Tchobanoglous G., Burton F. L., Stensel H.D., Wastewater Engineering: Treatment and Reuse, 4th Edition, McGraw- Hill Inc., Boston, USA, 2003.
21. Zhang X., Buchberger G. S., Van Zyl E. J., A Theoretical Explanation for Peaking Factors. In Proceedings of World Water and Environmental Resources Congress: Impacts of Global Climate Change, Anchorage, AK, USA, May 15-19, 2005.
22. Babbitt H. E., Baumann E.R., Sewerage and Sewage Treatment, 8th Edition, John Wiley & Sons. Inc., New York, USA, 1958.
23. Giff H.M., Estimating variations in domestic sewage flows, Water Works & Sewerage, 92, 175-177, 1945.
24. Johnson C.F., Relation between average and extreme sewage flow rates, Engineering News-Record, 129, 500-501, 1942.
25. Harmon W.G., Forecasting sewage at Toledo under dry weather conditions, Engineering News Record, 80 (1233), 1918.
26. The Wastewater Comprehensive Plan Update City of Gig Harbor. Wastewater Flow Projections, No. 892-895, 2012.
27. Gato-Trinidad S., Gan K., Understanding peak demand factors for water and wastewater supply system design, 2-8, 2014.
28. Balacco G., Carbonara A., Gioia A., Vito I., Piccinni A., Evaluation of peak water demand factors in Puglia (Southern Italy), Water, 9 (2), 96, 1-14, 2017.
29. Balacco G., Gioia A., Vito I., Piccinni A., At-site assessment of a regional design criterium for water-demand peak factor evaluation, Water, 11 (1), 24, 1-10, 2018.
30. Tan R.I., Arslankaya E., Kesgin E., Agaccioglu H., Determination of peaking factors for sewerage system in Antalya, tourism capital of Turkey, Water Environ. Res., 93 (11), 2609-2622, 2021.
31. Kesgin E., Agaccioglu H., Gezici K., Tan R.I., Arslankaya E., Statistical analysis of wastewater constituents for a touristic city: case study of antalya, Turkey, Environ. Eng. Manage. J., 21 (8), 1373-1385, 2022.
32. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Batman İli 2021 Yılı Çevre Durum Raporu, Batman, Türkiye, 2022.
33. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Atıksu Aritma Tesisleri Tasarım Rehberi, 2013.
34. Bonilla-Granados C., Barrera-Triviño J., Cifuentes-Ospina G., A systematic review of wastewater monitoring and its applications in urban drainage systems, Respuetas, 24 (3), 54-64, 2019.
35. Yiu W.Y.M., Guidelines for Estimating Sewage Flows for Sewage Infrastructure Planning Version 1.0., Environmental Protection Department, Technical paper, Report No.: EPD/-TP 1/05, 2005.
36. Walski T. M., Barnard T.E., Wastewater Collection System Modeling and Design, Bentley Institute Press, 2004.
37. Metcalf L., Eddy H., Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse, McGraw-Hill, New York, USA, 2003.
38. Munksgaard D., Young J., Flow and load variations at wastewater treatment plants, Water Pollute Control Federation, 52 (8), 2131-2144, 1980.
39. City and County of Denver Department of Public Works, Sanitary Sewer Design Technical Criteria Manual, 2008.
40. Merritt L.B., Tractive force design for sanitary sewer selfcleansing, J. Environ. Eng., 135 (12), 1338-1347, 2009.
41. Metcalf L., Eddy H.P., Tchobanoglous G., Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse, vol. 4, 3th Edition, McGraw-Hill, New York, USA, 1991.
42. Henze M., Gujer W., Mino T., Matsuo T., Wentzel C.M., Marias G., Activated sludge model No:2 biological phosphorus removal, Water Sci. Technol., 31, 13-23, 1995.
43. Koşucu M. M., Demirel, M. C., Cost efficiency assessment of four pressure management methods in water distribution systems, J. Water Resour. Plann. Manage., 150 (3), 05023022, 2024.
44. İSKİ Teknik Şartname, Atıksu Kanalizasyonu Projelerinin Hazırlanması, No: H.17.14.1.2, 2017.
45. Öztürk İ., Koyuncu İ., Gömeç Ç.Y., Karpuzcu M.E., Erşahin M.E., Timur H., Özgün H., Dereli R.K., Koşkan U., Gülhan H., Fakioğlu M., Öztürk M., Atıksu Mühendisliği, İSKİ, Teknik Kitaplar Serisi, İstanbul, 2017.
46. The Environmental Protection Agency (EPA), Guide for estimating infiltration and inflow, 2014.
47. Hey G., Jönsson K., Mattsson A., The impact of infiltration and inflow on wastewater treatment plants: a case study in Sweden, VA-teknik Sodra, Rapport Nr.06, 2016.
48. Mitchell P. S., Stevens P. L., Nazarov A., Quantifying base infiltration in sewers: a comparison of methods and a simple empirical solution, Proceedings of the Water Environment Federation, (4), 219-238, 2007.
49. Mayer P. W., DeOreo W. B., Opitz E. M., Kiefer J. C., Davis W. Y., Dziegielewski B., Nelson J. O., Residential end uses of water, 1999.
50. Harping J.S., Nature of Indoor Residential Water Use, MS Thesis, Dept. of Civil, Environmental, and Architectural Engineering, University of Colorado, Boulder, CO., 1997.
51. University of Wisconsin-Madison, Management of Small Wastewater Flows, EPA- 600/7-78-173. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Municipal Environmental Research Laboratory (MERL) Cincinnati, OH, 1978.
52. City of Puyallup Comprehensive Sewer Plan, BHC Consultants, 2016.
53. ASCE Manual of Practice, Gravity Sanitary Sewer Design and Construction, No.60, 1982.
54. Design Guidelines for Wastewater Facilities, Maryland Department of the Environment Engineering and Capital Projects Program, 2016.
55. Mara D., Pearson H., Design Manual for Waste Stabilization Ponds in Mediterranean Countries, Vol. I, Lagoon Technology International, Leeds, UK., 1998,
56. Abdar M.R., Physico-chemical characteristics and phytoplankton of Morna lake, Shirala (M. S.) India. Biolife., 1, 1-7, 2013.
57. Zhang B., Ning D., Yang Y., Van Nostrand J.D., Zhou J., Wen X., Biodegradability of wastewater determines microbial assembly mechanisms in fullscale wastewater treatment plants, Water Res., 169, 2020.
58. Karef S., Kettab A., Loudyi D., Bruzzoniti M. C., Del Bubba M., Nouh F. A., Mandi L., Pollution parameters and identification of performance indicators for wastewater treatment plant of medea (Algeria), Desalin. Water Treat., 65, 192-198, 2017.
59. Pons M. N., Spanjers H., Baetens D., Nowak O., Gillot S., Nouwen J., Schuttinga N., Wastewater characteristics in Europe-A survey, European Water Management Online, 4 (10), 2004.
60. Gromaire, M. C., Pollution urban stormwater in the combined sewer network, characteristics and origins, Doctoral dissertation, National School of Bridges and Roadway, France, 1998.
61. Canler J.P., Biological Dysfunction of Treatment Plants-Origins and Solutions, FNDAE No. 33, Technical Paper, Cemagref, 2005.
62. Qasim, S. R., Wastewater Treatment Plant, Planning, Design and Operation, 1998.