

İstanbul Baraj Doluluk Oranlarının Zamansal İncelenmesi ve Çözüm Önerileri

Ferhat Yılmaz^{1*}, İsmail Ulusoy², Hüseyin Toros³

¹ Sorumlu yazar: Department of Earth Sciences, University College London, Gower Street, London, UK, ferhat.yilmaz@ucl.ac.uk

² Ennotes Hava Kalitesi Yönetim Hizmetleri, Ankara, Türkiye, ismail@ennotes.com.tr

³ Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, toros@itu.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, İstanbul iline temiz su sağlayan barajların doluluk oranlarının 2005 yılından itibaren günlük verileri zamansal olarak analiz edilmiş ve su tasarrufu sağlayacak yöntemler önerilmiştir. Baraj doluluk oranlarının değişimine aylık, mevsimsel ve yıllık olarak bakıldığında 2007, 2008, 2014 ve 2020 yıllarının kurak geçtiği, aylık ortalamaların 2011, 2013, 2019 ve 2020 yıllarının ilkbahar aylarında başlayan düşüşün bahsi geçen yıllar içerisinde tekrar artışa geçmediği tespit edilmiştir. Ayrıca baraj doluluk oranlarının tekrar kazanımının iki ay sonrasına kadar ötelendiği de görülmektedir. Çalışma kapsamında genel hatları verilen su tasarrufu yöntemlerinin etkin uygulanması durumunda su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı ve kuraklık dönemlerinde suyun verimli kullanımı sağlanabilecektir. Özellikle yaşanan Covid-19 salgın hastalığı sürecinde temizlik için artan el yıkama davranışı ve çalışma kısıtlaması sebebiyle su tüketiminin artışı ve azalışı net ilişkilendirilememiştir. Sadece elleri sabunlarken musluğun kapalı olması ile İstanbul ilinde günlük yaklaşık 150 milyon litre su tasarrufu sağlanabileceği hesaplanmıştır. Ayrıca ileride yapılacak olan yağmur sularının aktif kullanımı ve evsel-endüstriyel su kullanım analizleri ile su kaynaklarının etkin ve sürdürülebilir kullanımı sağlanabilir.

Anahtar Kelimeler: Baraj doluluk oranları, İstanbul barajları, kuraklık, su kıtlığı

Temporal Analysis of Istanbul Water Reservoir Levels and Suggestions for Solution

Abstract

In this study, daily data sets of water reservoir levels in İstanbul since 2005 have been analysed and some suggestions for saving water have been given. When looking at the monthly, seasonally, and yearly reservoirs levels, it is seen that the years of 2007, 2008, 2014, and 2020 were the driest years, and that monthly averages in 2011, 2013, 2019, and 2020 did not increase again throughout the year after the decrease starting from the spring months. It is also seen that the recovery of reservoir levels at the beginning of the year has been delayed up to two months. With the suggestions for saving water, it could be possible to achieve sustainable use of water resources and efficient water usage in drought periods. Especially, during the Covid-19 pandemic, water consumption with the increased hand washing for hygiene could not be associated with the increase and decrease of water consumption with restrictions on workplaces. In addition, it is calculated that daily 150 million litres of water could be saved per day in İstanbul by turning off the taps while soaping hands. With the help of active rainwater usage, and domestic-industrial water usage analyses in the future, efficient and sustainable usage of water resources could be achieved.

Keywords: Water reservoir levels, İstanbul reservoirs, drought, water scarcity

1. Giriş

Yağış üzerindeki iklim değişikliğinin etkileri ve artan su talebi dünya genelinde su risklerini arttırmıştır. Su kıtlığı insanlık için 21.yüzyıldaki en önemli sorunlardan birisi haline gelmiştir (Locosselli et al., 2020). Tatlı suyun mevcudiyeti, insanların hayatta kalması ve ulusların ekonomik kalkınması için temel bir ön koşuldur (Gao et al., 2019). Artan nüfus, sanayileşme, sulamaya olan bağımlılık, altyapı eksiklikleri, yüksek yağış ve deşarj değişkenliği nedeniyle; su kaynaklarının kıtlığı dünyanın pek çok bölgesinde yaygındır ve daha şiddetli olması beklenmektedir (Shu et al., 2020). Barajların, göllerin, nehirlerin su seviyeleri ve depolama kapasitelerinin devamlı izlenmesi, su kaynaklarının etkili bir şekilde kullanılmasında çok önemlidir (Thakur et al., 2020). Baraj ve göllerdeki su seviyesindeki değişimin, insan aktiviteleri ve iklim değişikliğinin bölgesel su kaynakları üzerindeki etkisini doğru bir şekilde yansıttığı görülmektedir (Ye et al., 2017). Bu izlenim ise su kaynaklarının etkin

yönetimi ve sektörel tahsis ile iklim değişikliğinin etkilerinin daha iyi anlaşılması açısından önemlidir (Shu et al., 2020).

Beş farklı küresel sıcaklık veri setine dayalı olarak, 2020 yılının kayıtlardaki en sıcak üç yıldan birisi olacağı ve ortalama sıcaklığın 1850-1900 dönemine göre 1,2 °C artacağı tahmin edilmiştir (WMO, 2020). Türkiye’de bu beklenti, 2020 yılı ortalama sıcaklığı 14,9 °C olarak, 1981-2010 yılı ortalamasının (13,5 °C) 1,4 °C üzerinde gerçekleşmiş, 1971’den itibaren gerçekleşen en sıcak üçüncü yıl olmuştur. Yağış konusunda 2020 yılı aylık yağışları Şubat, Mart, Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında normallerin üzerinde diğer aylarda normallerin altında gerçekleşmiştir (MGM, 2021).

Bu çalışmada İstanbul ilinde bulunan barajların 2005 yılından itibaren su seviyeleri incelenerek, zamansal analizi yapılmış ve gelecekte beklenen olası kuraklıklara karşı çözüm önerileri sunulmuştur.

2. Metodoloji

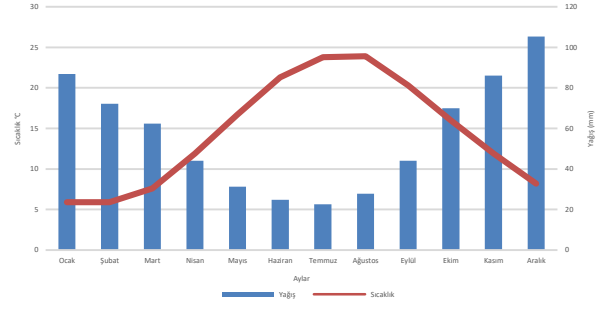
Çalışmada kullanılan barajların doluluk oranları İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ)'den alınmıştır. Elde edilen veriler aylık, yıllık ve mevsimsel olarak uzun yıllar yağış ve sıcaklık değerleri ile analiz edilmiştir. Aylık ortalama baraj doluluk oranları Python ile yıllara göre görselleştirilmiştir. İstanbul ilinde bulunan ve baraj doluluk oranları hesabına katılan barajlar ve su kaynakları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. İstanbul ili su kaynaklarının yıllık verimleri, azami biriktirme hacimleri ve hizmete giriş yılları

Su Kaynağı	Yıllık Verim (Milyon m ³)	Azami Biriktirme Hacmi (Milyon m ³)	Hizmete Giriş Yılı
Ömerli Barajı	220	235.371	1972
Darlık Barajı	97	107.5	1989
Elmalı 1 ve 2 Barajları	15	9.6	1893-1950
Terkos Barajı	142	162.241	1883
Alibeyköy Barajı	36	34.143	1972
Büyükçekmece Barajı	100	148.943	1989
Sazlıdere Barajı	55	88.73	1998
Istrancalar (Düzdere Barajı, Kuzuludere Barajı, Büyükdere Barajı, Sultanbahçedere Barajı, Elmalıdere Barajı)	75	6.231	1995-1997
Kazandere Barajı	100	17.424	1997
Pabuçdere Barajı	60	58.5	2000
Yeşilçay Regülatörü	145		2004
Melen 1 ve 2 Regülatörleri	575		2007-2014
Yeşilvadi Regülatörü	10		1992
Şile Keson Kuyuları	30		1996
Toplam	1 Milyar 660 Milyon m³/Yıl	868.683	

3. Sonuçlar ve Tartışma

İstanbul için Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerine göre uzun yıllar yıllık toplam yağış değeri 677 mm'dir (MGM, 2020). İl genelinde ise yağışların önemli ölçüde Ekim ve Mart ayları arasında yoğun olduğu görülmektedir (Şekil 1). Bu durum, baraj doluluk oranlarının barajlara gelecek fazla yağışla birlikte artacağı dönemleri göstermektedir. Ayrıca ortalama sıcaklığın yaz aylarında yaklaşık 24 °C, kış aylarında ise 5-10 °C arasında değiştiği görülmektedir.



Şekil 1. İstanbul ili uzun yıllar (1929 – 2019) aylık sıcaklık ve yağış ortalamaları.

3.1 Baraj doluluk oranları

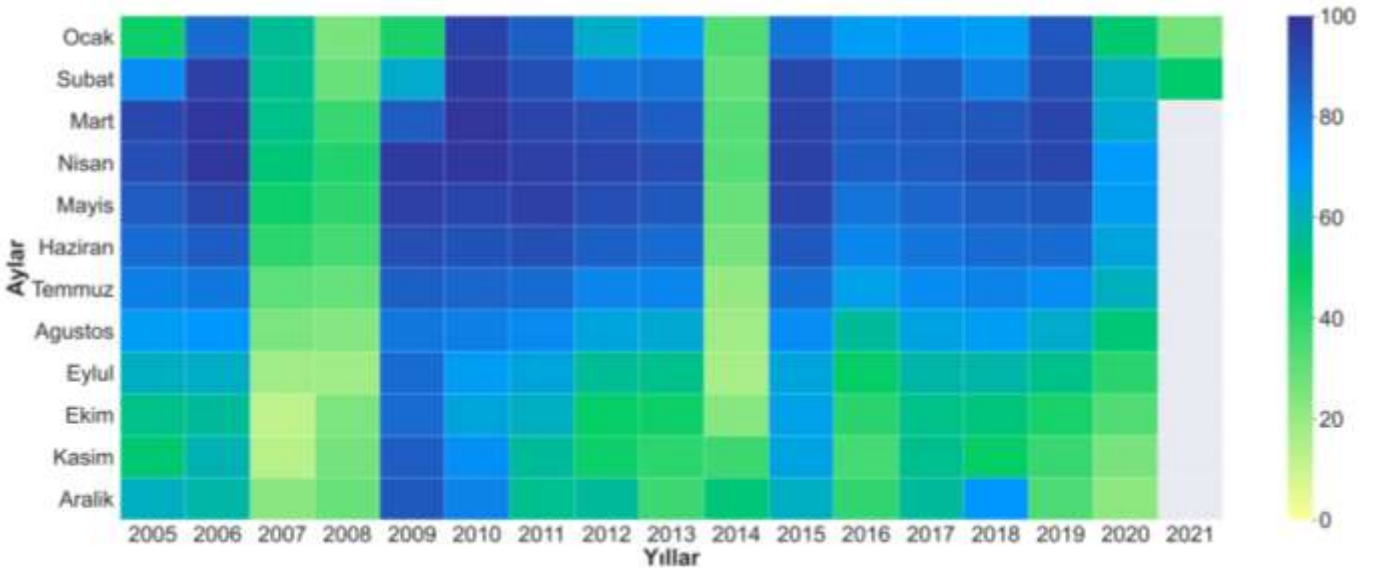
2005 yılından itibaren İstanbul ili aylık baraj doluluk oranlarının yıllara göre değişimi Şekil 2 (a)'da gösterilmiştir. Görüleceği üzere baraj doluluk oranları kış ve ilkbahar aylarında en yüksek seviyeye ulaşırken, yaz aylarında su tüketimi barajlara gelen yağış miktarını geçerek düşük seviyelere gerilemektedir.

Aynı zamanda 2007, 2008 ve 2014 yıllarında İstanbul ilinde meydana gelen kuraklık sebebiyle baraj doluluk oranlarında önemli ölçüde azalma olduğu tespit edilmiştir. Bu durum Şekil 2 (b)'de net bir şekilde görülmektedir. Uzun yıllar verilerine göre 2020 yılı nispeten kurak geçmiş ve en yüksek doluluk oranı (yüzde 69) Nisan ayında görülmüştür.

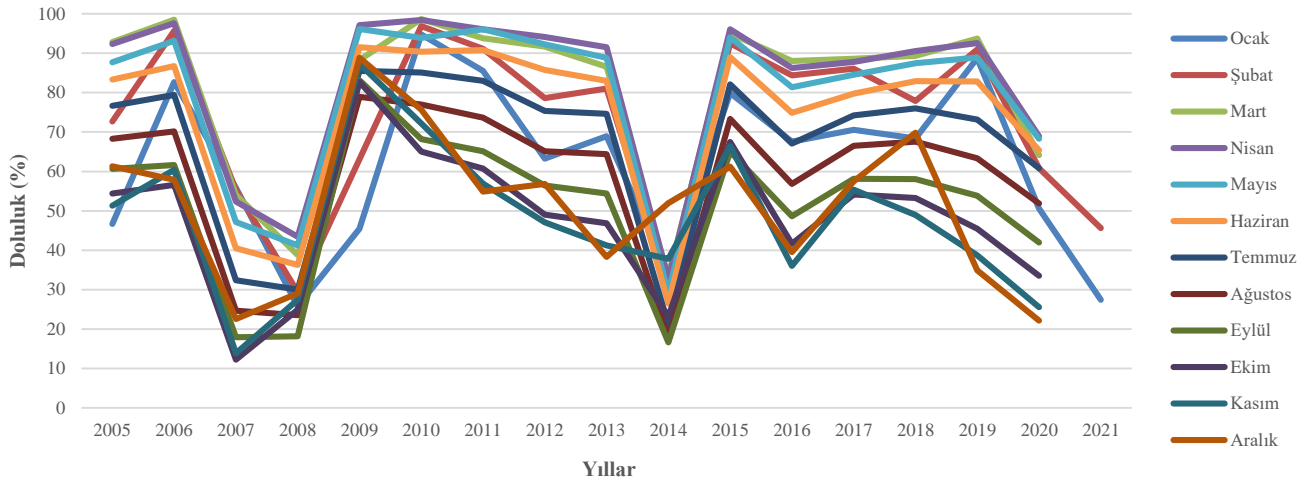
20 Şubat 2021 tarihi itibarı ile barajlardaki doluluk oranı yüzde 50,03'tür. Bu oran 2008 yılında 30,4 ve 2014 yılında ise yüzde 30,34'dür. Bu oran son 16 yıldaki en düşük üçüncü seviyesinde olup, 2021 yılı Ocak ayı ortalaması ise son 16 yılın en düşük ikinci seviyesidir. (Tablo 2)

Tablo 2. Karşılaştırmalı Ocak ayı ortalama baraj doluluk yüzde oranı

Kasım 2020	Aralık 2020	Ocak 2021	En Düşük Ocak 2008	Ocak 2020	2021-2020 Ocak Farkı
26	22	27	26	51	24



Şekil 2 (a). Aylık baraj doluluk oranlarının yıllara göre değişiminin Seaborn grafiği.



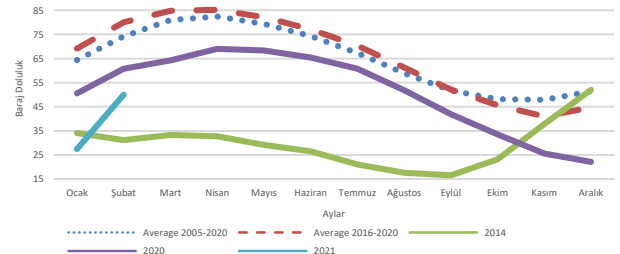
Şekil 2 (b). Aylık baraj doluluk oranlarının yıllara göre değişiminin Çizgi grafiği.

Ek olarak, barajlardaki doluluk oranlarının düştüğü tarihten yilsonuna doğru artan yağışlarla birlikte oranların artması beklenmektedir. Ancak 2011, 2013, 2019 ve 2020 yıllarının ilkbahar aylarında başlayan düşüşler, yıl boyunca tekrar yükselişe geçememiştir. Özellikle son iki yılın bu şekilde yıl sonu itibari ile düşen oranlarının artışa geçmemesi, İstanbulluların su tasarrufu gibi sıkı önlem ve tedbirler alması gerekliliğinin göstergesidir.

2007, 2008, 2014 ve 2020 yıllarında meydana gelen kuraklık ile kısıtlı dönem verileri, kuraklıkların 6-7 yıllık dönemlerde İstanbul'da etkili olduğu görülmektedir.

Son 5 ve 15 yıllık ortalama doluluk oranlarını karşılaştırdığımızda, son 5 yılın Ocak ve Eylül ayları arasındaki ortalamanın, son 15 yıla göre daha yüksek olduğu ancak Ekim, Kasım ve Aralık aylarında düşük olduğu görülmektedir (Şekil 3). Bu durum, baraj tekrar kazanım

durumlarının geçmiş yıllara göre yakın dönemde iki aya kadar ötelendiğini göstermektedir. 2021 yılı Ocak ve Şubat ayına bakıldığında, uzun yıllar ortalamasının 2020 yılına göre daha düşük seviyede kaldığı görülmektedir.



Şekil 3. Yıllık ve ortalama baraj doluluk oranlarının aylara göre değişimi.

Tablo 2. Aylık baraj doluluk oran farklarının yıllara göre değişimi

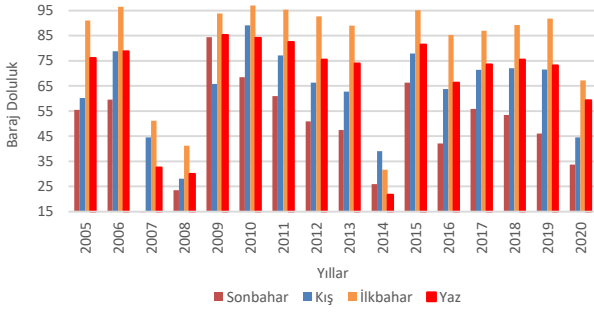
Zaman	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
2005	11.66	24.95	11.96	-4.18	-3.70	-6.19	-7.03	-8.24	-5.46	-6.56	2.93	17.93
2006	15.43	9.08	0.33	-2.66	-5.84	-6.02	-8.34	-9.07	-5.31	-5.57	3.63	-2.68
2007	-1.49	-0.34	-0.79	-4.31	-5.27	-7.55	-7.69	-6.88	-6.11	-4.73	7.92	8.25
2008	-0.53	9.92	7.77	-0.50	-3.75	-5.44	-5.96	-7.15	5.75	3.02	-0.49	6.18
2009	15.99	27.35	17.66	0.09	-2.76	-5.32	-6.18	-6.81	9.70	-4.12	0.23	6.01
2010	5.13	0.02	1.28	-1.82	-5.96	-2.86	-6.06	-9.50	-7.30	10.21	-3.28	12.74
2011	5.94	2.46	1.47	3.09	-3.49	-6.18	-9.02	-8.63	-7.92	-1.07	-5.16	6.14
2012	6.36	21.36	3.31	2.53	-4.29	-9.04	-10.34	-9.09	-8.14	-2.95	-3.84	17.95
2013	12.98	7.16	6.25	0.43	-5.48	-5.69	-9.91	-10.41	-8.55	-5.84	-3.80	-3.44
2014	-2.96	-3.61	5.51	-4.60	-3.35	-2.89	-4.77	-3.10	7.08	9.79	10.11	15.52
2015	19.53	9.81	-1.50	0.79	-3.12	-6.09	-7.60	-8.86	-2.16	2.76	-5.30	-5.30
2016	17.02	11.27	0.60	-3.34	-5.74	-6.39	-9.35	-8.94	-7.06	-7.05	-1.67	14.07
2017	32.44	3.12	1.05	-2.02	-4.73	-3.83	-6.46	-8.01	-8.03	0.91	-1.98	9.05
2018	9.81	8.91	5.13	-1.68	-2.52	-5.65	-7.26	-10.45	-6.78	-5.01	4.80	25.19
2019	8.59	2.29	0.85	-2.47	-4.40	-7.83	-9.67	-9.06	-9.54	-7.21	-5.98	1.39
2020	19.00	6.40	0.78	3.97	-1.69	-1.83	ND	ND	ND	ND	ND	-4.21
2021	20.26	ND										

Tablo 2'de görüldüğü üzere ay sonu ve başındaki doluluk oranlarının farkı Nisan ve Mayıs aylarında eksi seviyelere inmeye başlarken, Kasım ayında yağışların artmaya başlaması ile birlikte gözle görülür bir artış meydana gelmiştir. Tabloda görülen ND (No Data) değerleri günlük verilerdeki eksikliklerden dolayı kaynaklanmış ve o aylar için ay farkları hesaplanamamıştır.

Şekil 4, baraj doluluk oranlarının mevsimsel dağılımının yıllara göre değişimini göstermektedir. Doluluk geri kazanım aylarının ötelendiği, ilkbahar ve kış ayları arasındaki farkın son yıllarda açıldığı ve ilkbahar aylarında daha çok yağış olarak oranların arttığı görülmektedir.

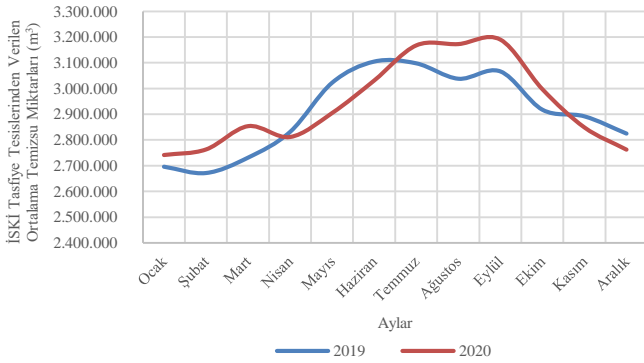
2014 yılında meydana gelen kuraklıkta 2005 yılından itibaren ilk defa kış aylarındaki oranların ilkbahar

değerlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durumda yaz aylarında azalan yağış ile barajlarda düşüşün başlaması İstanbul için su sıkıntısına sebep olmuştur.



Şekil 4. Mevsimsel baraj doluluk oranlarının yıllara göre değişimi.

İSKİ tasfiye tesislerinden verilen günlük ortalama temiz su miktarları (m^3) olarak 2019 ve 2020 aylık değişimleri verilmiştir (Şekil 5). Salgın hastalık çerçevesinde yoğun tedbirlerin alındığı 2020 yılının Nisan, Mayıs, Kasım ve Aralık aylarında su tüketiminin, aynı ayların 2019 yılına göre daha az olduğu görülmektedir.



Şekil 5. İSKİ tasfiye tesislerinden verilen günlük ortalama temiz su miktarları (m^3)

3.2 Su tasarrufu

İstanbul ilinde görülen belirli dönemlerdeki kuraklıkların ve iklim değişikliğinin etkisi ile azalması beklenen yağış miktarı göz önüne alındığında, su tasarrufunun ne kadar önemli olduğu daha iyi anlaşılmaktadır. Bu durum göz önüne alındığında etkin su tasarrufu yöntemlerinin uygulanması önem arz etmektedir. Bu yöntemler genel hatları ile aşağıda değerlendirildiği gibidir;

- Şebeke veya bina içerisinde su kaçaklarını azaltılması,
- Kademeli ücretlendirme sisteminin yaygınlaştırılması,
- Ekonomik musluk başlığı kullanılması,
- Yağmur hasadının yapılması,
- Etrafı açık olan ağaç yalıkları ile cadde ve sokak sularının yalakta biriktirilmesi ve bitkilerin daha fazla su alması sağlanarak, yer altı suyunun daha fazla beslenmesi,

- Salgın döneminde ellerin en az 20 saniye yıkanması gerektiği tavsiye edildiğinden, ellerin sabunlanması sırasında muslukların kapalı olması,
- Dış fırçalanırken ve tıraş olurken musluğun kapalı olması,
- Duş kullanımlarında musluk açıldığında gelen soğuk suyu depolayarak temizlik veya bahçe sulama gibi farklı alanlarda kullanılması,
- Çamaşır ve bulaşık makinelerini dolu veya doluya yakın iken çalıştırılması,
- Sebze ve meyve yıkarken akan musluk altında yıkamak yerine bir kap içerisinde bekletilerek durulama yapıp, kalan suyun bitkileri sulamada kullanılması,
- Banyo ve tuvalet tadilatlarında yeni tip kademeli sifon tercih edilmesi veya mevcut sifon içerisine 1 litrelik su dolu pet şişe konularak tasarruf edilmesi,
- Bahçe sulamada havanın az rüzgârlı, soğuk ve nemin yüksek olduğu dönemlerin seçilmesi,
- Bahçe sulamada damlama ve sızma gibi sistemlerin kullanılması,
- Apartman veya daire girişlerinde sabit basınç ayarlayıcı vanalar ile su akış dengesinin sağlanması.

4. Tartışma ve Öneriler

Son iki yılda yıl içerisinde doluluk oranlarındaki düşüşün yıl boyunca devam etmesi ve yıl sonuna doğru artışın olmaması, ilerisi için daha sıkı tedbir alınması gerektiğini göstermektedir.

Şekil 2'de görüleceği gibi barajlardaki durumun yöneticiler ve çeşitli kurumlar tarafından daha dikkat çekici bir şekilde görselleştirilmesi ile halk arasında farkındalık oluşturulabilir, gerekli önlem ve tedbirlerin daha kolay alınması sağlanabilir.

Su tasarrufu konusunda alınacak tedbirler, gelecekte su kaynakların daha yeterli seviyelerde kalmasını sağlayacaktır. El yıkama sırasında muslukların 20 saniye boyunca açık kullanılması durumunda 2-3 litre su harcanırken, bu süre boyunca kapalı kalması halinde 100-200 mililitre su kullanımı olacaktır. Yaklaşık 15 milyonluk nüfusun bu şekilde günde 10 defa el yıkama sırasında musluklarını kapalı tutması halinde ise günlük 150 milyon litre su tasarrufu sağlanabilecektir.

Ek olarak, yıllık toplam yağışın 677 milimetre olduğu İstanbul ilinde bulunan işyerleri için yağmur hasadı işyeri kurulu alanların büyüklüğü dolayısıyla önem arz etmektedir. Örneğin, bir işyeri 1000 m^2 'lik alanda kurulu ise, yağmur su bütçesi yıllık ortalama 677 ton olacaktır. Yüzde 50 kayıp kaçak oranı ile hesaplandığında bu işyeri kendi imkanları ile yılda 338 ton suyunu elde edebilir. Bu durumda ise, İSKİ içme suyu olarak 338 ton suyu arıtmayacak ve su taşıma maliyetine girmemiş olacaktır.

Su kaynaklarının azaldığı ve yağışların öneminin arttığı bu dönemde, yağmur suyu depolama (yağmur hasadı) ve aktif kullanımı konusunda yapılacak çalışmalar, su ihtiyacındaki sorunları ortadan kaldırmaya yönelik daha sürdürülebilir bir yaklaşım sağlayacaktır. Evsel ve endüstriyel su kullanımı analizi ile su kaynakları üzerindeki baskı belirlenerek su

kaynaklarının etkin ve sürdürülebilir kullanımı sağlanmalıdır. Son olarak baraj doluluk oranlarının yüzde yüz olduğu durumda dahi suyun verimli ve idareli kullanılması konusundaki duyarlılık devam etmelidir.

Teşekkür

Bu çalışmada verilerin temin edildiği İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) kurumlarına veri paylaşımından dolayı teşekkür ederiz.

Kaynakça

- Gao, Q., Makhoul, E., Escorihuela, M. J., Zribi, M., Seguí, P. Q., García, P., & Roca, M. (2019). Analysis of retracker's performances and water level retrieval over the Ebro River basin using sentinel-3. *Remote Sensing*, *11*(6), 1–25. <https://doi.org/10.3390/RS11060718>
- Locosselli, G. M., Brien, R. J. W., de Souza Martins, V. T., Gloor, E., Boom, A., de Camargo, E. P., Saldiva, P. H. N., & Buckeridge, M. S. (2020). Intra-annual oxygen isotopes in the tree rings record precipitation extremes and water reservoir levels in the Metropolitan Area of São Paulo, Brazil. *Science of the Total Environment*, *743*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140798>
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM). (2020). *İllere Ait Uzun Yıllar Mevsim normalleri*. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A>
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM). (2021). *Türkiye 2020 Yılı İklim Değerlendirmesi*.
- Shu, S., Liu, H., Beck, R. A., Frappart, F., Korhonen, J., Xu, M., Yang, B., Hinkel, K. M., Huang, Y., & Yu, B. (2020). Analysis of Sentinel-3 SAR altimetry waveform retracking algorithms for deriving temporally consistent water levels over ice-covered lakes. *Remote Sensing of Environment*, *239*(January), 111643. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111643>
- Thakur, P. K., Garg, V., Kalura, P., Agrawal, B., Sharma, V., Mohapatra, M., Kalia, M., Aggarwal, S. P., Calmant, S., Ghosh, S., Dhote, P. R., Sharma, R., & Chauhan, P. (2020). Water level status of Indian reservoirs: A synoptic view from altimeter observations. *Advances in Space Research*. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2020.06.015>
- World Meteorological Organisation (WMO). (2020). *State of the Global Climate 2020: provisional report*.
- Ye, Z., Liu, H., Chen, Y., Shu, S., Wu, Q., & Wang, S. (2017). Analysis of water level variation of lakes and reservoirs in Xinjiang, China using ICESat laser altimetry data (2003–2009). *PLoS ONE*, *12*(9), 1–21. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0183800>