



İçme Suyu Dağıtım Sistemlerinin Arıza ve Altyapı Rehabilitasyon Önceliği Analizi: Erzurum İli Örneği

Failure and Infrastructure Rehabilitation Priority Analysis of Water Distribution Systems: Erzurum Province Case

Ferdi Canyurt¹, Reşat Acar², Burak Çırağ^{3*}

¹ Atatürk Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, ferdi.canyurt16@ogr.atauni.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-0239-5837>

² Atatürk Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, racar@atauni.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0653-1991>

³ Atatürk Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, burak.cirag@atauni.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7721-5128>

MAKALE BİLGİLERİ

Makale Geçmişi:

Geliş 14 Mart 2025
Revizyon 7 Nisan 2025
Kabul 16 Nisan 2025
Online 30 Haziran 2025

Anahtar Kelimeler:

Altyapı rehabilitasyon önceliği,
Arıza analizi, CBS, Erzurum, İçme
suyu şebekesi, Su kayıpları

ÖZ

Kentlerde içme suyu dağıtım sistemlerinin işletilmesi sırasında çeşitli teknik ve yönetsel sorunlarla karşılaşmakta olup, bu durum sosyolojik, ekonomik ve çevresel açıdan önemli etkiler yaratmaktadır. Bu çalışmada, Erzurum kent merkezinde içme suyu şebekesinin mevcut durumu arıza kayıtları ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) verileri kullanılarak değerlendirilmiştir. Yapılan analizlerde, son beş yıl içinde en fazla arıza kaydı görülen mahalleler belirlenmiş ve arızaların mahallelerin fiziksel ve demografik özellikleriyle ilişkisi incelenmiştir. Özellikle Kazım Karabekir Paşa, Kurtuluş ve Rabia Ana Mahallelerinde arıza oranlarının yüksek olduğu, bunun nedeninin ise eskiyen altyapı ve düzensiz kentleşme olduğu tespit edilmiştir. Buna karşılık, Müftü Solakzade ve Adnan Menderes Mahallelerinde arıza oranlarının görece düşük olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, Erzurum kent merkezinde içme suyu su kayıpları oranının %50 seviyesinde olduğu saptanmıştır. Sonuç olarak, içme suyu şebekesinin mevcut durumu analiz edilerek, özellikle arıza oranlarının yüksek olduğu bölgelerde altyapının bakım ve rehabilitasyonunun öncelikli olarak ele alınması gerektiği ortaya konulmuştur. Çalışma kapsamında elde edilen bulgular, içme suyu şebekelerinin sürdürülebilirliği ve etkin yönetimi açısından önemli veriler sunmaktadır.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 14 March 2025
Received in revised form 7 April 2025
Accepted 16 April 2025
Available online 30 June 2025

Keywords:

Priority of infrastructure
rehabilitation, Failure analysis,
GIS, Erzurum, Water networks,
Water losses

ABSTRACT

Various technical and managerial problems are encountered during the operation of water distribution systems in cities and this situation creates significant sociological, economic and environmental impacts. In this study, the current status of the water network in Erzurum city center was evaluated using failure records and geographic information systems (GIS) data. In the analysis, the neighborhoods with the highest number of breakdowns in the last five years were identified and the relationship between the breakdowns and the physical and demographic characteristics of the neighborhoods was examined. It was found that the failure rates were particularly high in Kazım Karabekir Paşa, Kurtuluş and Rabia Ana neighborhoods, and the reason for this was found to be aging infrastructure and irregular urbanization. On the other hand, Müftü Solakzade and Adnan Menderes neighborhoods have relatively low failure rates. It was also found that the rate of water losses in Erzurum city center was 50%. As a result, the current state of the water network was analyzed and it was revealed that maintenance and rehabilitation of the infrastructure should be prioritized, especially in areas with high failure rates. The findings of the study provide important data for the sustainability and effective management of water networks.

DOI: 10.24012/dumf.1657874

* Sorumlu Yazar

Giriş

İçme suyu dağıtım sistemleri, modern toplumların sağlıklı işleyişi için hayati öneme sahip altyapı unsurlarından biridir. Günümüzde şehirlerin ve kırsal alanların yaşam kalitesini belirleyen önemli faktörlerden biri olan içme suyu, temiz ve güvenilir bir şekilde dağıtılmalıdır. Bu sistemler, suyun arıtılmasından depolanmasına, dağıtımından tüketiciye ulaştırılmasına kadar geniş bir yelpazeyi kapsar. Bu nedenle içme suyu dağıtım sistemleri altyapı sistemlerinin temelidir. Çeşitli faktörlere bağlı olarak bu sistemlerde meydana gelen arızalar işletme kalitesini düşürmekte, maliyeti artırmakta bununla beraber şikâyetlerin artmasına sebep olmaktadır [1]-[3]. Bu sebeple dağıtım sistemleri üzerindeki arızaları minimum seviyeye indirmek sistemin işleyişi açısından çok önemlidir. Ancak bu arızaları azaltmak için uygun ve ölçülebilir bir şekilde analiz yapılmalıdır.

Literatür incelendiğinde arızaların azaltılmasına yönelik yapılan çalışmalarda, izole ölçüm bölgesi yöntemi [4]-[6], basınç kontrol yönteminin uygulanması [7]-[9], öncelikli bölgeleri belirleyerek şebeke rehabilitasyonu uygulanması [10]-[12] dikkat çekmektedir. Fırat vd. [13] illerimizde bulunan Su ve Kanal İdarelerinin su kayıpları tespitleri ve yönetimlerinin performans analizleri için web tabanlı bir model geliştirmiştir. Fırat vd. [14] su şebekeleri üzerindeki sızıntıların yönetim uygulamaları için fayda maliyet analizi yapmıştır ve aynı zamanda ekonomik kaçak seviyesi modelini önermiştir. Liemberger ve Farley [15], su kayıpları oranının azaltılması için yapılacak çalışmalarda kullanılacak verilerin sahada ölçülmesi gerektiğini ve eksik verilerin bulunduğu bölgelerde ise tahmin yöntemlerinin kullanılması gerektiğini vurgulamıştır. Kanakoudis ve Gonelas [16], yapmış olduğu çalışmada su kayıpları hacminin azaltılmasının bütün su dağıtım idarelerinin ortak ve en önemli hedefi olması gerektiğini vurgulamıştır. Ayrıca su kayıpları oranının azaltılmasına yönelik yapılacak olan çalışmalar için gerekli maliyet analizlerinin hazır bulundurulması gerektiğini vurgulamışlardır. Francisque vd. [17], içme suyu dağıtım sistemlerinde idareler için hem şebekeyi yenileme hem de değiştirmek amacıyla maliyet hesabına dayalı bir destek aracı sunmuştur.

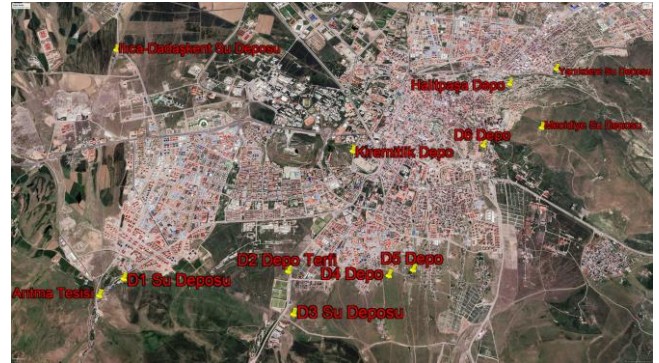
Bu çalışmada Erzurum ilinin içme suyu sistemlerinin coğrafi bilgi sistemleri ve içme suyu ihtiyacı hesabı kullanılarak değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Bu kapsamda ilk olarak İller Bankası İçme Suyu Hesabı Metodu ile Erzurum ilinin içme suyu arıtma tesisini kullanan 17 mahalle için içme suyu ihtiyacı hesaplanmıştır. Bu ihtiyaç, arıtma tesisinden çıkan debi ile karşılaştırılarak sistemin su kayıpları performansı değerlendirilmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde yine aynı mahallelerin nüfus, arıza kaydı, bina ve abone sayılarına göre Kernel Yoğunluk Analizi yapılarak yoğunluk haritaları ile mevcut sistemin olası bir rehabilitasyon önceliği senaryosu araştırılmıştır. Çalışma, yerel yöneticilere, karar vericilere ve akademik çalışmalara içme suyu sistemlerinin değerlendirilmesi ve sistemlerin rehabilite edilmeden yapılabilecek ön analiz yöntemleri hakkında bilgiler sunmasıyla ön plana çıkmaktadır.

Materyal ve Metot

Çalışma Alanı

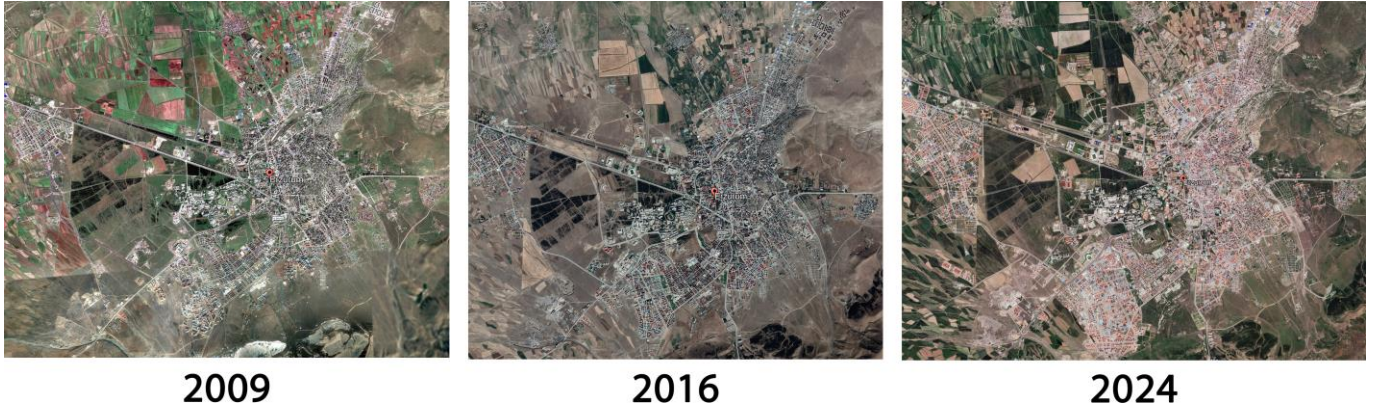
Erzurum, Doğu Anadolu Bölgesinde 39°- 55 kuzey enlemi 41-16 doğu boylamı üzerinde bulunmaktadır. İl, kuzeyden Artvin-Rize, batıdan Gümüşhane-Erzincan, güneyden Bingöl-Muş, doğudan Ağrı -Kars illeri ile çevrilmiş olup genel sınırları içinde 24768 kilometrekaredir. 1800 m rakıma sahip olan Erzurum'da yer yer yerleşim alanlarının rakımı 2000 m üzerine çıkmaktadır. Toplam nüfusu 750 bin olan Erzurum'un merkez 3 ilçesinin nüfusu 431426 kişidir. İl merkezi içme suyu hattından beslenen 3 adet merkez ilçe ve 17 adet mahalle bulunmaktadır. Merkez içme suyu hattından hizmet alan kişi sayısı 396517 kişidir [18].

Erzurum il merkezi 1940'lı yıllara kadar içme suyu ihtiyacını Palandöken Dağı'ndan gelen sular ile temin etmekteydi. Gelen sular zamanla yetersiz olması sebebi ile içme suyu ihtiyacı için 1940 ile 2008 yılları arasında Erzurum ovasında açılan 51 adet su kuyusu kullanıldı. Daha sonra Devlet Su İşleri (DSİ) 8. Bölge Müdürlüğü tarafından 1995 yılında başlanılıp 2005 yılında yapımı tamamlanan Palandöken Barajı sayesinde, Erzurum il merkezinin 2008 yılından itibaren içme suyu ihtiyacı karşılanmaktadır. Yaklaşık olarak 20 km uzunluğunda ve 1500 mm çapındaki çelik borular ile gelen içme suyu hattı arıtma tesisinde arıtılarak Erzurum il merkezine dağıtılmaktadır. İl merkezine gelen yaklaşık olarak saatlik 8000 m³ içme suyu, arıtma tesisinden çıktıktan sonra il merkezinde bulunan 11 adet depoya iletilmektedir (Şekil 1). Aziziye, Palandöken ve Yakutiye olmak üzere üç merkez ilçenin 17 adet mahallesi bu su ile beslenmektedir [18]. Bu çalışmada Erzurum il merkezindeki arıtma tesisinden beslenen 3 adet merkez ilçedeki toplamda 17 adet mahalleyi kapsayan alan, çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Bu kapsamda çalışmada son 5 yıla ait gelen su debileri, nüfus verileri, arıza kaydı verileri, bina verileri ve abone sayıları kullanılmıştır.



Şekil 1. Çalışma alanı içerisinde bulunan içme suyu depoları.

Nüfus sayısı içme suyu talebiyle doğru bir orantıya sahiptir. Bu bağlamda 2009 ve 2024 yılları arasında Erzurum il merkezinin 16 yıllık değişim bölgeleri Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Erzurum ili değişim görüntüsü.

Erzurum il merkezindeki yeni yerleşim yerlerinin artışı ile gelişmekte olan mahallelerin oldukça fazla olmasının yanı sıra Yakutiye ilçesindeki mahallelerin büyük bir kısmı eski yerleşime sahip mahallelerdir. Bu sebeple şehrin içme suyu altyapı hatlarının büyük bir kısmı yeni olması ile beraber göz ardı edilemeyecek kadar da eski hatlar mevcuttur. 2009 yılından bugüne kadar il merkezinde birçok yeni yerler yerleşime açılmış olup gerekli altyapı sistemleri de yeni bölgelere doğru genişlemiştir. Çırağ vd. [19] yaptıkları çalışmada Erzurum ilindeki sürekli şehir yapılarının ve inşaat sahalarının 1990 yılından 2018 yılı arasında artış gösterdiğini belirtmişlerdir.

İçme Suyu Hesabı

Erzurum şehir merkezinin içme suyu hattından faydalanan nüfus ve özel debi gerektiren durumlar göz önüne alınarak İller Bankası İçme Suyu Hesabı Metodu [20] ile Erzurum ilinin içme suyu ihtiyacı hesaplanmıştır. İçme suyu ihtiyacı çalışma yapılan bölgenin nüfusu, tüketicilerin sosyo-ekonomik durumu, verilen suyun kalitesi, bölgenin sanayileşme durumu, iklimi, sulama yapılacak yeşil alan büyüklüğü gibi birçok etkene bağlıdır. İçme suyu ihtiyacı hesabı yapılırken bu etkenlerin hepsi dikkate alınmalıdır. Toplam içme suyu ihtiyacında evsel su ihtiyacı, ticaret, sanayi, hizmet sektörü, turizm ve hayvan suyu ihtiyaçlarından oluşur. Evsel su ihtiyacında nüfusu 400 binden fazla olan bölgeler için kişi başı günlük tüketim 150 L olarak hesaplanır (Tablo 1). Eğitim düzeyi yüksek olan bölgelerde bu sayı 100L'lere kadar düşmektedir.

Tablo 1. Evsel su ihtiyacı [20].

Proje başlangıç nüfusu (N) (kişi)	Evsel su tüketimi (L/Kişi/Gün)
$N \leq 50.000$	80 - 100
$50.000 < N \leq 100.000$	100 - 120
$100.000 < N$	120 - 150

Hayvan suyu ihtiyaçlarında küçükbaşlar için günlük 20 L ve büyükbaş hayvanlar için günlük tüketim 50 L'dir [20]. Yapılan hesaplamalarda merkez içme suyu hattından faydalanan nüfus, okullar, hastaneler, fabrikalar, özel ticarethaneler, kışlalar, vb. özel debi gerektirecek bütün tesisler hesaba katılmıştır. İller Bankası İçme Suyu Hesabı Metoduna göre özel debilerin su ihtiyacını gösteren değerler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Özel debiler [20].

Tesis	Su ihtiyacı (L/Gün)
Havaalanı (kişi başı)	10-20
Hamam (kişi başı)	100
Pansiyoner (kişi başı)	190
Fabrika işçisi (Kişi başı)	100
Hastane (yatak başı)	250-600
Restoran (Kişi başı)	10-25
Okul (öğrenci başı)	95-75
Kışla (asker başı)	100
Yüzme havuzu	500 l/m ²
Sinema-Tiyatro (koltuk başı)	20
Yıkama istasyonu (araç başı)	50
Mezbahada kesilen küçük baş (hayvan başı)	150-300
Mezbahada kesilen büyük baş (hayvan başı)	300-400

Yoğunluk Analizi

Yoğunluk analizleri, belirli bir bölgedeki nokta ve çizgi verilerinin mekânsal dağılımını görselleştirerek hem analiz sürecine katkı sağlamakta hem de sonuçların sade ve anlaşılır şekilde sunulmasına yardımcı olmaktadır. Farklı ölçeklerde uygulanabilen bu yöntemler, özellikle yoğunluk haritaları aracılığıyla verilerin hangi bölgelerde yoğunlaştığını etkili bir şekilde ortaya koymaktadır [21]-[23].

Bu çalışmada yoğunluk analizi yöntemlerinden birisi olan ve ArcGIS'de araç kutusu olarak bulunan Kernel Yoğunluk Analizi kullanılmıştır. Kernel Yoğunluk Analizi yöntemi, popüler etkin nokta haritalama tekniklerinden biri olup, yoğunlukların kümelenmesini belirlemek ve haritalamak için kullanılmaktadır. Bu yöntem, analiz sonuçlarının daha iyi yorumlanmasına ve değerlendirilmesine katkı sağlar. Kernel Yoğunluk Analizi, noktalar arasındaki mesafeye bağlı olarak en yoğun kümelenmenin olduğu alanları belirleyerek, bu bölgelerde en yüksek etkin noktaları oluşturur [24]. Kernel Yoğunluk Analizi, genel olarak aşağıdaki denkleme göre gerçekleştirilmektedir:

$$f_h(x) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n K_h(x - x_i) \quad (1)$$

burada f , yoğunluktur; K , negatif olmayan bir fonksiyon olan çekirdektir; $h > 0$, bant genişliği olarak adlandırılan bir yumuşatma parametresidir; $x_1, x_2, \dots, x_n$ tek değişkenli bağımsız ve aynı dağılımlı örnekler [25].

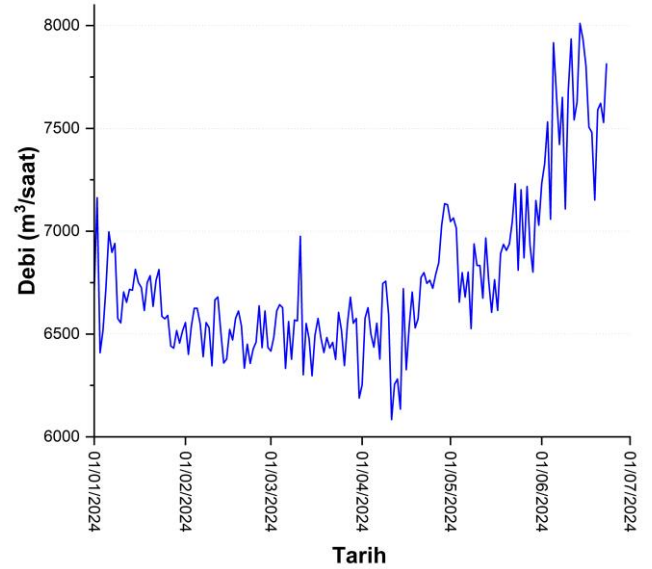
Sonuç ve Tartışma

İçme Suyu Hesabı Sonuçları

İçme suyu dağıtım sistemleri, yerleşim alanlarına uygun miktarda ve kalitede suyun sağlanması bakımından kentsel su yönetimi için oldukça önemlidir. Fakat artan su talebi ve giderek azalan su kaynakları nedeniyle içme suyu sistemlerinin doğru ve verimli bir şekilde çalışması gerekmektedir [26]. İçme suyu hatlarında meydana gelen fiziki kayıplar, kaynaktan aboneye kadar olan bütün süreçlerde meydana gelmekte ve su kaynaklarının verimsiz kullanılmasına neden olmaktadır [27]. Bu nedenle mevcut çalışmada içme suyu hesabı yapılarak arıtma tesisinden çıkan debi miktarıyla karşılaştırılma yapılması amaçlanmıştır. Yapılan içme suyu hesaplarında hesap yapılan bölgenin öncelikle nüfusa göre evsel içme suyu ihtiyacı hesaplanmıştır. Bu tüketim kişi başı günlük 150 litre olarak hesaplanmıştır. Gelişmiş ve eğitim seviyesi yüksek olan ülkelerde bu değer 100 litreler kadar düşmektedir. Evsel su ihtiyacından sonra hesap yapılan bölgedeki özel debiler teker teker hesaba katılmalıdır. Okul, hastane, cezaevi, fabrika vb. özel debi gerektiren bütün yerlerin debileri de hesaba katılmalıdır. Hesap yapılırken alınacak olan değerler Tablo 2’de belirtilmiş olup bu değerlerden yola çıkarak Erzurum ili merkez içme suyu ihtiyacı hesaplanmıştır (Tablo 3). Yapılan bütün hesaplamalar İller Bankası İçme Suyu Hesabı Metodu [20] ile yapılmaktadır. Ayrıca Erzurum Su ve Kanalizasyon İdaresi (ESKİ) içme suyu arıtma tesisi 2024 yılının ilk 7 ayı için çıkış debileri içme suyu hesap debisiyle karşılaştırmak amacıyla temin edilmiştir (Şekil 3).

Tablo 3. İçme suyu hesabı sonuçları.

İçme suyu kullanılan alan	Debi (m ³ /saat)
Evsel İhtiyaç	2500
Mezbaha	5
Yıkama İst.	11
Günlük işçi	250
Sinema-Tiyatro	10
Yüzme havuzu	60
Kışla	10
Restoran	53
Hastane	95
Fabrika	42
Otel	200
Hamam	42
Havaalanı	2
Okul	720

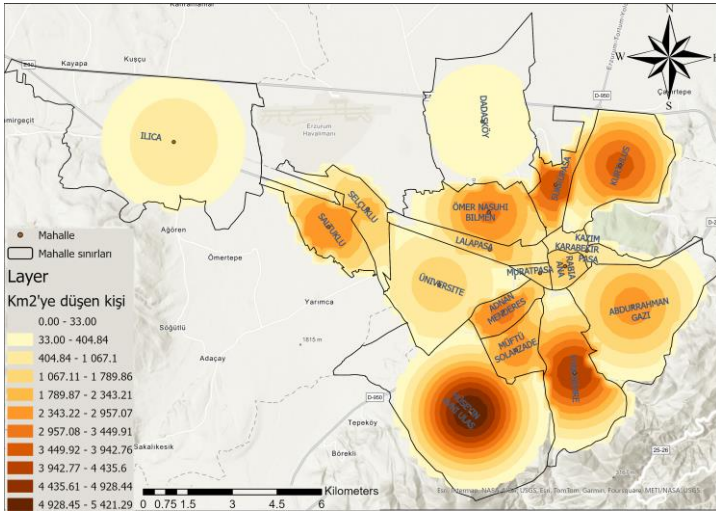


Şekil 3. Erzurum ili arıtma tesisi çıkış debileri.

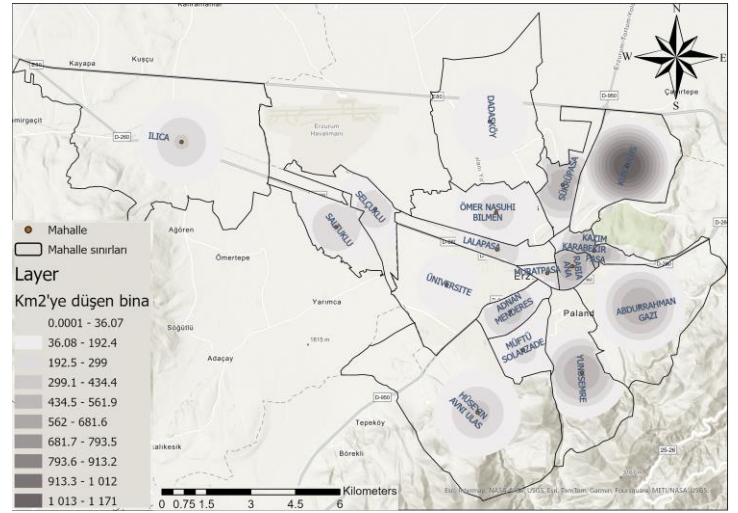
Yapılan hesaplama sonuçları Tablo 3’te ayrı ayrı belirtilmiş olup toplamda 4000 m³/saat’lik bir içme suyu ihtiyacı olduğu görülmüştür. Kabul edilebilir su kayıpları oranı %25 olarak hesaplanırsa İl merkezi için saatlik 5000 m³’lük içme suyunun verilmesi yeterli olacaktır. Fakat arıtma tesisinden alınan veriler Erzurum’da kullanılan içme suyu, ihtiyacının yaklaşık olarak 2 katı olduğunu göstermektedir. Şekil 3’te 2024 yılının ilk yedi ayında Erzurum il merkezine gelen içme suyunun debi değerleri aylara göre verilmiştir. Karasal iklime sahip olan Erzurum’da yazlar sıcak ve kurak olduğu için su kullanımı fazla olmaktadır. Kış ve ilkbahar aylarında yağışların fazla olduğu ve hava sıcaklıklarının düşük olduğu için bu aylarda su kullanımı yaz aylarına göre daha azdır. Şekil 3’te 7 aylık çıkış debilerine göre Erzurum ilinin en az su tüketimi nisan ayında 6300 m³/saat olarak ölçülmüştür. En yüksek tüketim ise temmuz ayında olmuştur ve 8100 m³/saattir. Çalışma içme suyu hesabı ile gerçek debi verilerinin karşılaştırmasıyla öne çıkmaktadır.

Erzurum İli Yoğunluk Haritaları Analiz Sonuçları

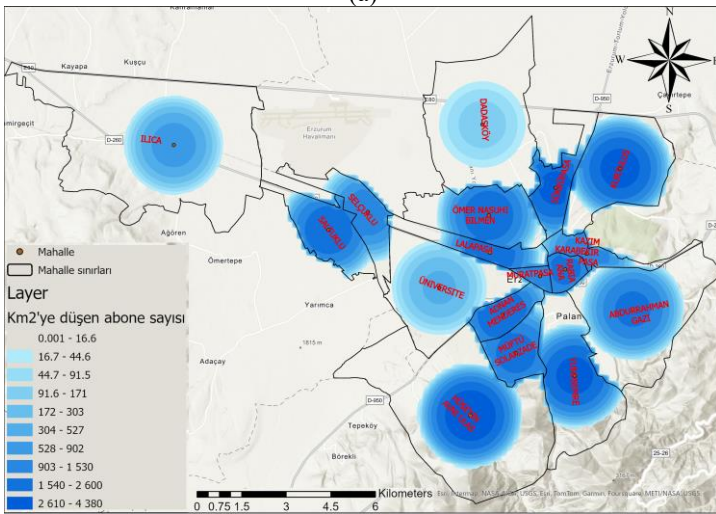
Bu çalışmada, incelenen altı mahallede içme suyu altyapısının mevcut durumunu değerlendirmek amacıyla nüfus, bina sayısı, arıza sayısı ve abone sayısı verileri kullanılarak bir analiz gerçekleştirilmiştir. Verilerin mekânsal dağılımını görselleştirmek ve bölgesel yoğunluk farklılıklarını belirlemek için Kernel Yoğunluk Haritaları oluşturulmuş, elde edilen bulgular Tablo 4’teki veriler ile karşılaştırılarak yorumlanmıştır. Bu kapsamda, mahalleler arasındaki su altyapısı performans farkları ortaya konularak, iyileştirme ve planlama çalışmalarına yönelik çıkarımlarda bulunulması amaçlanmıştır.



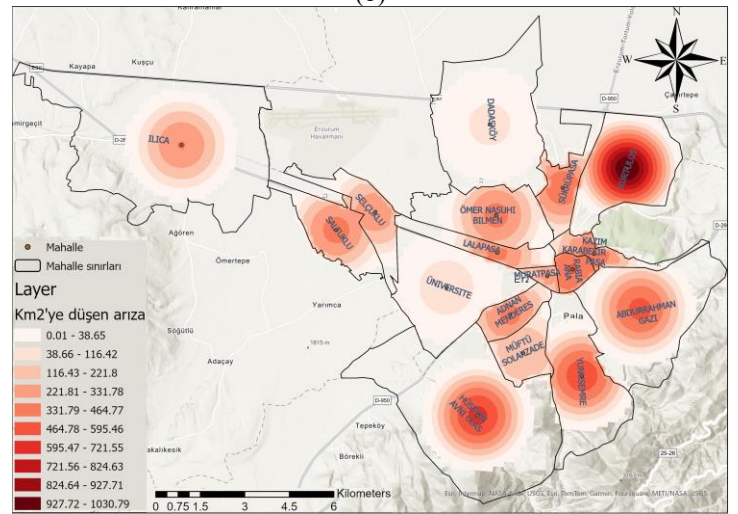
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 4. Erzurum ili içme suyu arıtma tesisindeki su ile beslenen mahallere ait yoğunluk haritaları: (a) nüfus, (b) bina sayısı, (c) abone sayısı, (d) arıza sayısı.

Tablo 4. Çalışma kapsamında kullanılan mahallelere ait nüfus, bina, arıza ve abone sayıları.

Mahalle	Nüfus	Bina sayısı	Arıza sayısı	Abone sayısı	Arıza Sayısı/Abone Sayısı
Hüseyin Avni Ulaş Mah.	51414	1407	2679	18440	0.1453
Müftü Solakzade Mah..	24362	925	863	8752	0.0986
Adnan Menderes Mah.	29385	1410	1505	10779	0.1396
Kurtuluş Mah.	34839	4905	4318	14741	0.2930
Rabia Ana Mah.	17379	2148	1993	7736	0.2575
Kazım Karabekir Paşa Mah.	8854	2284	1661	5868	0.2832

Yoğunluk haritaları (Şekil 4) ve Tablo 4'deki değerlere göre yapılan analizler, içme suyu altyapısının mevcut durumunu ve olası iyileştirme gereksinimlerini ortaya koymaktadır. Kurtuluş Mahallesi hem tablodaki yüksek arıza sayısı hem de arıza yoğunluğu haritasında belirgin bir yoğunlaşma göstermektedir. Bu durum, mahalledeki bina sayısının fazlalığı ve nüfus yoğunluğu nedeniyle su şebekesi üzerindeki baskının yüksek olduğunu düşündürmektedir. Benzer şekilde, Hüseyin Avni Ulaş Mahallesi de yüksek nüfus ve abone sayısı ile dikkat çekmektedir. Arıza sayısı

açısından yüksek değerlere sahip olması, bu mahallede su altyapısının zorlandığını ve bakım gerektirebileceğini göstermektedir. Çoruhlu ve Altaş [28], mevcut çalışmayla benzer bir metodoloji izleyerek Trabzon iline ait arıza noktalarını CBS ortamında analiz etmiş, verilerin öznitelik bilgilerini kullanarak yoğunluk haritaları oluşturmuşlardır. Bu haritaların, bakım ve onarım çalışmalarında zaman ve emek tasarrufu sağlama potansiyeline sahip olduğunu ifade etmişlerdir.

Yoğunluk haritaları, nüfus dağılımı ile içme suyu ihtiyacı arasındaki ilişkiyi de ortaya koymaktadır. Hüseyin Avni Ulaş Mahallesi, en yüksek nüfus yoğunluğuna sahip bölge olarak içme suyu talebinin en fazla olduğu yerleşim alanlarından biridir. Buna karşılık, Kazım Karabekir Paşa Mahallesi, en düşük nüfusa sahip mahalle olarak toplam su tüketimi açısından daha düşük değerlere sahiptir. Ancak, bina yoğunluğu haritası bu mahallede daha fazla yapı bulunduğunu göstermekte, dolayısıyla su dağıtım altyapısının planlanmasında bu durum göz önünde bulundurulmalıdır.

Arıza yoğunluğu haritası ve tablodaki veriler birlikte değerlendirildiğinde, Kurtuluş, Rabia Ana ve Kazım Karabekir Paşa Mahalleleri'nde arıza oranlarının diğer mahallelere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu mahallelerde altyapının eskimiş olması, yüksek basınç sorunları ya da aşırı yüklenme gibi etkenler arızaların sık görülmesine neden olabilir. Müftü Solakzade Mahallesi, en düşük arıza yoğunluğuna sahip mahalle olarak altyapının daha iyi durumda olabileceğini göstermektedir. Alptekin vd. [29] mevcut çalışmaya benzer şekilde, Kocaeli ilinin Darıca ve Çayırova ilçelerindeki arıza verilerini analiz ederek CBS'de yoğunluk haritaları oluşturmuştur.

Sonuç ve Değerlendirme

Yapılan bu çalışmada Erzurum ilinin merkezine ait içme suyu ihtiyacı, mevcut kullanılan içme suyu miktarı ile karşılaştırılarak şehir merkezindeki kaybolan su miktarı ve bu miktara en çok etki eden mahalleler araştırılmıştır. Çalışmada kullanılan veriler 2024 yılına ait veriler olup ESKİ Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Arıtma tesisinden çıkan suyun miktarı devamlı ölçüldüğü için şehir merkezine verilen suyun miktarı devamlı kayıt altındadır.

Yapılan analizler ve oluşturulan yoğunluk haritaları doğrultusunda, Erzurum il merkezi mahallelerindeki içme suyu altyapısının mevcut durumu değerlendirilmiştir. Erzurum merkezinde içme suyu ihtiyacının yaklaşık 4000 m³/saat olduğu belirlenmiş, ancak kullanılan su miktarının ortalama 8000 m³/saat seviyesinde olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, %50 oranında bir su kayıpları oranına işaret etmektedir. Arıza yoğunluğu açısından değerlendirildiğinde, Kazım Karabekir Paşa Mahallesi, en fazla arıza kaydı görülen bölge olup, içme suyu hatlarının eski olması nedeniyle altyapı sorunlarının belirgin olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde, Kurtuluş ve Rabia Ana Mahallelerinde de yüksek arıza oranları gözlemlenmiş, bu durumun, yerleşim alanlarının eski olması ve su şebekesinin zamanla yıpranmasıyla ilişkili olduğu belirlenmiştir.

Bina sayıları incelendiğinde, Kazım Karabekir Paşa Mahallesi'nin Erzurum'daki en yoğun yapılaşmaya sahip ikinci mahalle olduğu görülmektedir. Ancak yüz ölçümünün görece küçük olması nedeniyle çarpık kentleşmenin yaygın olduğu ve bu durumun su altyapısındaki arıza sıklığını artırdığı değerlendirilmiştir. Kurtuluş Mahallesi ise hem nüfus hem de bina yoğunluğu bakımından en yüksek değerlere sahip mahallelerden biri olup, bu faktörlerin arıza sayısındaki artışa katkı sağladığı görülmektedir. Ayrıca, kentsel gelişim süreci değerlendirildiğinde, düşük arıza kaydı görülen mahallelerin yeni yerleşim alanları olduğu, buna

karşın yüksek arıza kaydı bulunan mahallelerin eski kent dokusuna sahip olduğu belirlenmiştir.

Kurtuluş, Rabia Ana ve Kazım Karabekir Paşa Mahallelerinde içme suyu altyapısının bakım ve yenileme çalışmaları öncelikli olarak ele alınmalıdır. Hüseyin Avni Ulaş ve Adnan Menderes Mahallelerinde ise nüfus artışıyla birlikte uzun vadeli planlamalar yapılmalı ve altyapının sürdürülebilirliği sağlanmalıdır. Müftü Solakzade Mahallesi'nde ise mevcut altyapının korunması için düzenli bakım faaliyetlerinin devam ettirilmesi yeterli olacaktır. Genel olarak, Erzurum il merkezinde içme suyu şebekesinin iyileştirilmesi ve su kayıpları oranının azaltılması için kapsamlı rehabilitasyon çalışmalarına ihtiyaç duyulduğu sonucuna ulaşılmıştır. Çalışmanın yerel yöneticilere ve karar vericilere önemli bilgiler sunduğu düşünülmektedir. Gelecek çalışmalarda, kent merkezine bağlı tüm mahalle verilerinin temin edilerek her bir mahallenin ayrı ayrı ve depo temelli analiz edilmesi, içme suyu şebekesinin performansına ilişkin daha ayrıntılı ve karşılaştırmalı sonuçların elde edilmesine olanak sağlayacaktır. Ayrıca, mevcut arıza kayıtlarına arıza nedenlerine ilişkin verilerin de eklenmesi durumunda, altyapı sorunlarının kökenine dair daha bütüncül değerlendirmeler yapılabileceği öngörülmektedir.

Kaynaklar

- [1] A. O. Lambert, "International Report: Water Losses Management and Techniques," *Water Sci. Technol.: Water Supply*, vol. 2, no. 4, pp. 1–20, 2002.
- [2] M. Farley and S. Trow, *Losses in Water Distribution Networks: A Practitioner's Guide to Assessment, Monitoring and Control*. England: IWA Publishing, 2003.
- [3] M. Farley and R. Liemberger, "Developing a non-revenue water reduction strategy: planning and implementing the strategy," *Water Sci. Technol.: Water Supply*, vol. 15, no. 1, pp. 41–50, 2005.
- [4] S. Eggimann, L. Mutzner, O. Wani, M. Y. Schneider, D. Spuhler, M. Moy De Vitry, and M. Maurer, "The potential of knowing more: a review of data-driven urban water management," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 51, no. 5, pp. 2538–2553, 2017.
- [5] A. Gupta and K. D. Kulat, "A selective literature review on management techniques for water distribution system," *Water Resour. Manage.*, vol. 32, no. 10, pp. 3247–3269, 2018.
- [6] B. B. Azevedo and T. A. Saurin, "Losses in Water Distribution Systems: A Complexity Theory Perspective," *Water Resour. Manage.*, vol. 32, pp. 2919–2936, 2018.
- [7] E. Roshani and Y. Fillion, "WDS leakage management through pressure control and pipes rehabilitation using an optimization approach," *Procedia Eng.*, vol. 89, pp. 21–28, 2014.
- [8] G. M. Lima, B. M. Brentan, and E. Luvizotto Jr., "Optimal Design of Water Supply Networks Using an Energy Recovery Approach," *Renewable Energy*, vol. 117, pp. 404–413, 2018.

- [9] R. D. Jadhao and R. Gupta, "Calibration of water distribution network of the Ramnagar zone in Nagpur City using online pressure and flow data," *Appl. Water Sci.*, vol. 8, p. 29, 2018.
- [10] A. Nafi, C. Wery, and P. Llerena, "Water pipe renewal using a multiobjective optimization approach," *J. Civ. Eng.*, vol. 35, no. 1, pp. 87-94, 2008.
- [11] P. D. Rogers and N. S. Grigg, "Failure Assessment Modeling to Prioritize Water Pipe Renewal: Two Case Studies," *J. Infrastruct. Syst.*, vol. 15, no. 3, 2009. DOI: 10.1061/(ASCE)1076-0342.
- [12] R. B. Rutger de Graaf, "Transforming Water Infrastructure by Linking Water Management and Urban Renewal in Rotterdam," *Technol. Forecast. Soc. Change*, vol. 77, no. 8, pp. 1282–1291, 2010.
- [13] M. Fırat, C. Orhan, and S. Yılmaz, "Su İdarelerinin Su Kayıp Yönetim Performansının Analizi ve Temel Performans Gösterge Hesaplama Aracının Geliştirilmesi," *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, vol. 7, no. 1, pp. 75-88, 2021.
- [14] M. Fırat, S. Yılmaz, A. Ateş, and Ö. Özdemir, "Determination of Economic Leakage Level with Optimization Algorithm in Water Distribution Systems," *Water Econ. Policy*, vol. 7, no. 3, p. 2150014, 2021. DOI: 10.1142/S2382624X21500144.
- [15] R. Liemberger and M. Farley, "Developing Non-Revenue Water Reduction Strategy Part 1: Investigating and Assessing Water Losses," in *Proc. IWA 4th World Water Congr. Exhib.*, Marrakech, Morocco, Sept. 19–24, 2004, pp. 1–10.
- [16] V. Kanakoudis and K. Gonelas, "Non-Revenue Water Reduction Through Pressure Management in Kozani's Water Distribution Network: From Theory to Practice," *Water Treat.*, vol. 57, no. 25, pp. 11436–11446, 2016.
- [17] A. Francisque et al., "Water Mains Renewal Planning Framework for Small to Medium-Sized Water Utilities: A Life Cycle Cost Analysis Approach," *Urban Water J.*, vol. 14, no. 5, pp. 493–501, 2017.
- [18] Erzurum Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü (ESKİ), 2024. [Online]. Available: <https://www.eski.gov.tr/>
- [19] B. Çırağ, İ. Taşkolı, R. Acar, M. Fırat, and S. Şengül, "Arazi örtüsü/kullanımındaki değişim ile yağış ve sıcaklık değerlerindeki trend analizinin birlikte değerlendirilmesi: Erzurum ili örneği," in *Proc. XII. Ulusal Hidroloji Kongresi*, 2024, pp. 384-393.
- [20] İller Bankası Anonim Şirketi (İLBANK), "İçme suyu tesisleri etüt, fizibilite ve projelerin hazırlanmasına ait teknik şartname," 2013. [Online]. Available: <https://www.ilbank.gov.tr/storage/uploads/files/icmesuy-u-etut-fizb-tekn-sart.pdf>
- [21] S. Kahraman and Ö. Ünsal, *ArcGIS For Desktop Spatial Analiz Kitabı. Esri Türkiye*. 2014.
- [22] A. Charpentier and E. Gallic, "Kernel Density Estimation with Ripley's Circumferential Correction," *SSRN Electron. J.*, 2014. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2514890>
- [23] B. Çırağ, M. Fırat, and Ö. Özdemir, "Yağmursuyu Drenaj Sistemlerinde Meydana Gelen Arızaların Sistem Özelliklerine ve Konumsal Değişimine Göre İncelenmesi," in *Proc. Int. Ecology Environ. Congr.*, Baku, Azerbaijan, May 1-2, 2023.
- [24] T. Kucukpehlivan et al., "Determination of the impacts of urban-planning of the urban land area using GIS hotspot analysis," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 210, p. 107935, 2023.
- [25] M. M. Nistor and A. S. Nicula, "Application of GIS Technology for Tourism Flow Modelling in The United Kingdom," *Geographia Technica*, vol. 16, no. 1, 2021.
- [26] B. D. Çulha and E. Turhan, "Küçük Ölçekli İçme Suyu Dağıtım Şebekesinin Nümerik Olarak Modellenmesinde Hidrolik Parametrelerin Analizi," *Osmaniye Korkut Ata Univ. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, vol. 5, no. 3, pp. 1293-1307, 2022. <https://doi.org/10.47495/okufbed.1085227>
- [27] M. Fırat, S. Yılmaz, and C. Orhan, "Su kayıp yönetimi için temel hesaplama araçlarının geliştirilmesi ve temel su kayıp bileşenlerinin analizi," *Gümüşhane Univ. Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 11, no. 2, pp. 405-416, 2021. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.812340>
- [28] Y.E. Çoruhlu and S.S. Altaş, "İçme suyu altyapısının mekânsal yönetimi için örnek bir coğrafi bilgi sistemi tasarımı ve uygulaması: Trabzon Büyükşehir Belediyesi özel durum çalışması." *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 2024, 14.2: 816-849.
- [29] İ. Alptekin, B. Kızılöz, and S. Engin. "İçme suyu dağıtım sistemlerinde meydana gelen arızaların analizi." In *International Marmara Sciences Congress*, pp. 454, 2021.

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.

Yazar Katkıları

F. Canyurt: Çalışma konsepti ve tasarım, veri toplama, verilerin analizi ve yorumlanması, taslağın oluşturulması. R. Acar: Çalışma konsepti ve tasarım, taslağın oluşturulması, revizyon. B. Çırağ: Çalışma konsepti ve tasarım, verilerin analizi ve yorumlanması, taslağın oluşturulması, revizyon.

Teşekkür

Bu makale Ferdi Canyurt'un yüksek lisans tezi kapsamında üretilmiştir. Yazarlar Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne teşekkür etmektedir.