

Yağmur ve Gri Suyun Yeniden Kullanım Potansiyelinin Belirlenmesi: Artvin Çoruh Üniversitesi Örneği

Celil Altuntaş¹ , Ayla Bilgin^{1*}

¹ Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Artvin Çoruh Üniversitesi, 08100 Artvin, Türkiye

² İnşaat Bölümü, Borçka Acarlar Meslek Yüksekokulu, Artvin Çoruh Üniversitesi, 08100 Artvin, Türkiye

Özet

İklim değişikliği ve artan kuraklık riski, üniversite yerleşkeleri gibi yüksek su tüketimine sahip alanlarda alternatif ve sürdürülebilir su yönetimi yaklaşımlarını zorunlu hâle getirmektedir. Bu çalışmada, Artvin Çoruh Üniversitesi (AÇÜ) yerleşkelerinde yağmur suyu hasadı (YSH) ve gri suyun yeniden kullanımına (GYK) yönelik sistemlerin entegre biçimde uygulanabilirliğinin çevresel ve ekonomik açıdan değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla yerleşkelerdeki yapı çatı alanları, 1949-2024 yıllarına ait ortalama yağış verileri (694,7 mm) ve kullanıcı sayıları esas alınarak yıllık yağmur ve gri su potansiyelleri hesaplanmış; buna bağlı olarak yatırım maliyetleri ve geri ödeme süreleri belirlenmiştir. Hesaplamalar sonucunda toplam çatı alanı 45.803 m², yıllık yağmur suyu potansiyeli 22.854 m³ ve gri su potansiyeli 237.254 m³ olarak bulunmuştur. Entegre sistem ile yeşil alan sulama ihtiyacının bazı yerleşkelerde tamamen, diğerlerinde ise %49–72 oranında karşılanabildiği belirlenmiştir. Ekonomik analizler, sistemlerin sağlayacağı tasarruf sayesinde yatırım maliyetlerinin 14–17 yıl içerisinde geri dönebileceğini göstermiştir. Çalışmanın özgün katkısı, çoklu yerleşke ölçeğinde YSH ve GYK sistemlerinin entegre olarak değerlendirilmesi ve elde edilen sonuçların yerleşke bazında ekonomik fizibiliteyle birlikte ortaya konmasıdır. Bu yönüyle çalışma, Doğu Karadeniz iklim koşullarındaki üniversite yerleşkeleri için bu entegre sistemin önemini ortaya koymaktadır. Elde edilen bulgular, YSH ve GYK sistemlerinin iklim değişikliği ve su kıtlığına karşı üniversite yerleşkelerinde çevresel direnci artıran, ekonomik ve sürdürülebilir bir çözüm sunduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar Sözcükler

Yeşil Kampüs, Su Verimliliği, Sürdürülebilirlik, Ekonomik Fizibilite, Alternatif Su Kaynakları

Determination of the Reuse Potential of Rainwater and Greywater: The Case of Artvin Çoruh University

Abstract

Climate change and the increasing risk of drought necessitate alternative and sustainable water management approaches in areas with high water consumption, such as university campuses. In this study, it was aimed to evaluate the environmental and economic feasibility of the integrated implementation of rainwater harvesting (RWH) and greywater reuse (GWR) systems on the campuses of Artvin Çoruh University (ACU). For this purpose, the building roof areas, long-term average precipitation data for the period 1949–2024 (694.7 mm), and user populations were used to calculate the annual rainwater and greywater potentials; investment costs and payback periods were then determined accordingly. The calculations indicated a total roof area of 45,803 m², an annual rainwater potential of 22,854 m³, and a greywater potential of 237,254 m³. The integrated system was found to meet the irrigation demand of green areas completely in some campuses and by 49–72% in others. Economic analyses showed that the investment costs could be recovered within 14–17 years through the savings provided by the systems. The original contribution of the study lies in the integrated evaluation of RWH and GWR systems at a multi-campus scale, together with the presentation of the obtained results alongside campus-based economic feasibility analyses. In this respect, the study demonstrates the importance of this integrated system for university campuses under the climatic conditions of the Eastern Black Sea Region. The findings demonstrate that RWH and GWR systems offer an environmentally resilient, economically viable, and sustainable solution for university campuses in the face of climate change and water scarcity.

Keywords

Green Campus, Water Efficiency, Sustainability, Economic Feasibility, Alternative Water Resources

1. Giriş

Artan nüfus, kentleşme, sanayileşme ve iklim değişikliğinin etkisiyle doğrudan erişilebilir tatlı su kaynaklarının giderek azalması, suyun sürdürülebilir yönetimini küresel ölçekte zorunlu hâle getirmiştir (Öktem ve Aksoy, 2014; Bilgin, 2015; 2018; 2020). Su kıtlığı sorunu yaşayan ülkelerde, geniş alanlara yayılan ve yoğun su tüketiminin gerçekleştiği bölgelerde

alternatif su kaynaklarının değerlendirilmesi, çevresel risklerin azaltılması ve su güvenliğinin sağlanması açısından önem taşımaktadır (Geben, 2023).

Su kıtlığı riski altındaki bölgelerde yağmur suyu hasadı (YSH) ve gri suyun yeniden kullanımına (GYK), su kaynaklarının sürdürülebilir yönetiminde birbirini tamamlayan iki etkili yöntem olarak öne çıkmaktadır. YSH, yapıların çatı yüzeylerinden toplanan suların depolanarak yeniden kullanılması esasına dayanmakta; bu sayede içme suyu talebi azalmakta ve altyapı üzerindeki yük hafiflemektedir (Dadhich & Mathur, 2016; Ndiritu vd., 2018). Toplanan yağmur suları başta yeşil alan sulaması olmak üzere çeşitli kentsel kullanım alanlarında güvenle değerlendirilebilmektedir (Manikandan vd., 2011).

Gri su ise duş, lavabo ve çamaşır makinelerinden kaynaklanan, organik kirlilik yükü nispeten düşük evsel atık suları ifade etmektedir. Bu suların basit arıtma sistemleriyle yeniden kullanılması, içme suyu tüketimini %30–40 oranında azaltabilmekte; aynı zamanda atık su miktarını düşürerek enerji tüketiminin ve karbon ayak izinin azaltılmasına katkı sağlamaktadır (Şahan, 2022).

Türkiye’de kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarının su stresi sınırına yakın olması ve iklim değişikliğinin etkilerinin giderek belirginleşmesi, alternatif su kaynaklarının değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu kapsamda, Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği’nde yapılan düzenlemelerle belirli büyüklüğün üzerindeki yapılarda yağmur suyu toplama sistemlerinin kurulması yasal zorunluluk hâline getirilmiştir.

Türkiye’de kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarının su stresine yakın olması ve iklim değişikliğinin etkileri ile nüfus artışı birlikte değerlendirildiğinde, kişi başına düşen su miktarının 2030’da 1.200 m³e kadar düşmesi öngörülmekte; bu da alternatif su kaynaklarının değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır (Öktem & Aksoy, 2014). Bu kapsamda, 23 Ocak 2021 tarih ve 31373 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan *Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği’nde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik* ile 2.000 m²’den büyük parsellerde yapılacak yapılarda yağmursuyu toplama sistemi projesi zorunlu hâle getirilmiştir (Resmi Gazete, 2021).

Literatürde üniversite yerleşkelerinde YSH ve GYK potansiyeline yönelik çalışmalar, bu sistemlerin önemli ölçüde su tasarrufu sağlayabildiğini ve ekonomik açıdan uygulanabilir çözümler sunduğunu göstermektedir. Bursa Uludağ Üniversitesi’nde yapılan bir çalışmada yağmur ve gri suyun birlikte kullanılmasıyla bina su ihtiyacının %100’e kadar karşılanabildiği ve sistemin yaklaşık 6–8,8 yıl içinde kendini amorti ettiği belirlenmiştir (Sevimli, 2021). Dokuz Eylül Üniversitesi Tınaztepe yerleşkesinde yapılan araştırmada ise YSH sayesinde %13–30 arasında su tasarrufu sağlanabildiği ve geri dönüş sürelerinin 1,3–8,8 yıl aralığında olduğu raporlanırken (Gökbaş, 2018), Yalova Üniversitesi mühendislik fakültesinde yürütülen çalışmada, yağmur suyunun tuvalet rezervuarlarında kullanımının teknik olarak mümkün olduğu ve sistemin geri ödeme süresinin 6–13 yıl arasında değiştiği tespit edilmiştir (Günaydın, 2021). Giresun Üniversitesi’nde ise yıllık yaklaşık 43 milyon litre YSH yapılabileceği ve bu miktarın hem yeşil alan sulamasında hem de rezervuar sistemlerinde önemli katkı sağlayabileceği ortaya konmuştur (Kalpci vd., 2021). Süleyman Demirel Üniversitesi ve Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi yerleşkelerinde gerçekleştirilen çalışmada, gri su miktarının yağmur suyu potansiyelinden daha yüksek olduğu, ancak her iki kaynağın birlikte değerlendirilmesine rağmen yeşil alan sulama ihtiyacının tamamının karşılanamadığı belirlenmiştir (Değirmenci, 2023). Ayrıca uluslararası ölçekte gerçekleştirilen çalışmalar, YSH sistemlerinin büyük çatı alanlarına sahip üniversite yerleşkelerinde önemli su tasarrufu potansiyeli sunduğunu ve sistemlerin geri ödeme sürelerinin yaklaşık 8–13 yıl arasında değişebildiğini göstermektedir (Anchan vd., 2021). Bu çalışmalar, yerleşke ölçeğinde yağmur ve gri su sistemlerinin önemli tasarruf potansiyeline sahip olduğunu, ancak performansın yerel koşullara bağlı olarak değiştiğini göstermektedir.

Üniversite dışındaki çalışmalar da bu sistemlerin farklı yapı türlerinde uygulanabilirliğini desteklemektedir. Örneğin, Kayseri’de bir sanayi tesisinde yapılan çalışmada YSH ile toplam su tüketiminde yaklaşık %19 tasarruf sağlanabildiği ve sistemin geri dönüş süresinin 6 yıl olduğu belirlenmiştir (Geben, 2023). Otel ve konutlarda gerçekleştirilen gri su çalışmalarında ise toplam su tüketiminde %40–51 arasında tasarruf sağlanabileceği raporlanmıştır (Kutlu vd., 2017). Uluslararası araştırmalar da gri suyun evsel atık suyun %50–80’ini oluşturduğunu ve uygun arıtma sistemleri ile yeniden kullanımının önemli su tasarrufu potansiyeli sunduğunu göstermektedir (Albalawneh & Chang, 2015).

Genel olarak literatürdeki bulgular, YSH ve GYK sistemlerinin özellikle geniş çatı alanlarına, yüksek nüfus yoğunluğuna ve önemli sulama ihtiyaçlarına sahip üniversite yerleşkelerinde yüksek su tasarrufu potansiyeli sunduğunu ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, sistem performansının yerel yağış miktarı, kullanıcı sayısı, çatı alanı ve kullanım senaryolarına bağlı olarak önemli ölçüde değiştiği ve her yerleşke için ayrı değerlendirme yapılması gerektiği vurgulanmaktadır.

Bu çalışma, literatürdeki araştırmalardan önemli farklılıklar içermektedir. Öncelikle literatürde çoğunlukla tek yapı veya tek yerleşke ölçeğinde ele alınan değerlendirmelerin aksine, yedi ayrı yerleşke birlikte analiz edilmiş olup, çoğu çalışmada ayrı ayrı incelenen YSH ve GYK sistemleri entegre bir model içinde değerlendirilmiş ve iki sistemin yeşil alan sulama ihtiyacına oransal katkısı her yerleşke için ayrı ayrı araştırılmıştır. Bu kapsamda AÇÜ’ye ait yedi farklı yerleşkedeki tüm yapıların çatı alanları ve kullanıcı profilleri birlikte ele alınarak hem yağmur suyu ve hem de gri su potansiyeli bütüncül bir sistem yaklaşımıyla analiz edilmiştir. Gerekli depo hacimleri belirlenmiş, sistemlerin ekonomik fizibilitesi fayda–malîyet analizi ile değerlendirilmiş ve yatırım geri ödeme süreleri yerleşke bazında ortaya konmuştur. Böylece üniversite yerleşkeleri için uygulanabilir, sürdürülebilir ve ekonomik bir su yönetimi modeli sunulmuştur. Su geri kazanım sistemlerinin yalnızca çevresel değil, aynı zamanda ekonomik uygulanabilirliği de ortaya konulmuştur. Elde edilen bulgular, farklı yerleşkelerde sistem performansının önemli ölçüde değiştiğini ve özellikle kullanıcı yoğunluğu ile

çatı alanı oranının ekonomik sürdürülebilirlik üzerinde belirleyici olduğunu göstermektedir. Bu yönüyle çalışma, üniversite yerleşkeleri ölçeğinde entegre su yönetimi planlamasına yönelik karar vericiler için uygulanabilir bir model sunmaktadır. Ayrıca çalışma bulgularının, özetle de vurgulandığı üzere, sürdürülebilir yerleşke tasarımı ve alternatif su kaynaklarının değerlendirilmesi açısından literatüre katkı sağlaması hedeflenmektedir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Yağmur Suyu Hasadı Potansiyelinin Hesaplanması

YSH, çatı yüzeylerinden toplanabilecek su hacmini ifade eder. Bu çalışmada yağmur suyu potansiyeli, aşağıdaki eşitlik (1) yardımıyla hesaplanmıştır (Şimşek & Demir, 2023):

$$\Sigma Vy = Ay \times Y \times Ka \times \beta \quad (1)$$

Burada; Vy: Yağmur suyu verimi (m³), Y: Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından belirlenen toplam yıllık yağış miktarı (mm), Ay: Yağmur toplama alanı, toplam çatı alanı (m²), Ka: Çatı akış katsayısı, β: Filtre etkinlik katsayısıdır (Dadhich & Mathur, 2016; Taşçı, 2021; Şimşek & Demir, 2023) (Tablo 1).

Tablo 1: Farklı çatı tipleri için akış katsayısı

Çatı tipi	Akış katsayısı
Metal çatı	0,9
Asbest çatı	0,8
Kiremitli çatı	0,75
Beton çatı	0,70

Çatı malzemesine göre belirlenen akış katsayıları Tablo 1’de verilmiştir. Filtre etkinlik katsayısı 0,9 olarak alınmıştır (DİN, 1989). Meteoroloji verilerine göre Artvin ilinde 1949–2024 döneminde yıllık ortalama yağış miktarı 694,7 mm’dir (Tablo 2). Yeşil alan sulama ihtiyacı, birim alan başına 5 L/m² su tüketimi esas alınarak hesaplanmıştır (Eren vd., 2016).

Tablo 2: Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM), Artvin İline ait yağış istatistik verileri (MGM, 2024)

ARTVİN		Ortalama Yağışlı Gün Sayısı (mm)	Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)
Ay			
Ocak	Ölçüm Periyodu (1949-2024)	13,00	85,0
Şubat		12,64	72,0
Mart		13,57	60,8
Nisan		12,63	52,5
Mayıs		14,14	53,7
Haziran		12,63	48,9
Temmuz		8,36	31,7
Ağustos		8,14	29,0
Eylül		8,62	38,1
Ekim		10,95	60,9
Kasım		10,99	75,9
Aralık		11,67	86,2
Yıllık		137,3	694,7

2.2. Gri Su Hasadı Potansiyelinin Hesaplanması

Yerleşkelerdeki gri su miktarı; kullanıcı sayısı ve günlük su tüketimi değerleri dikkate alınarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda kullanılan öğrenci ve akademik personel sayıları, AÇÜ 2024 Yılı Faaliyet Raporu’ndan elde edilmiştir (AÇÜ, 2024). Gri su potansiyelinin belirlenmesinde aşağıdaki Eşitlik (2) kullanılmış olup, hesaplamalara esas alınan öğrenci ve akademik personel verileri Tablo 3’te sunulmuştur.

$$V_{GYK} = N \times q \times f \quad (2)$$

Burada; V_{GYK}: toplam oluşan günlük gri su miktarı (L/gün), N: kullanıcı sayısı(kişi), q: Saatlik Oluşan Gri Su Miktarı (L/kişi-saat), f: Çalışma Süresi (saat).

Tablo 3: Akademik personel ve öğrenci sayıları (2024)

Birim	Akademik Personel Sayısı	Öğrenci Sayısı
Rektörlük	46	
Orman Fakültesi	45	212
Eğitim Fakültesi	56	1040
Fen-Edebiyat Fakültesi	56	1307
İlahiyat Fakültesi	30	604
Hopa İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi	34	377
Mühendislik Fakültesi	27	112
Sağlık Bilimleri Fakültesi	35	870
Sanat ve Tasarım Fakültesi	26	247
İşletme Fakültesi	6	274
Spor Bilimleri Fakültesi	9	264
Turizm Fakültesi	3	145
Artvin Meslek Yüksekokulu (MYO)	75	2518
Arhavi MYO	16	418
Hopa MYO	12	542
Borçka Acarlar MYO	29	1035
Sağlık Hizmetleri MYO	32	1887
Yusufeli MYO	14	237
Şavşat MYO	8	350
TOPLAM	559	12439

TÜİK (2022) verilerine göre kişi başına günlük atık su üretimi 197 L olarak alınmıştır (TÜİK, 2022). Bu değere göre saatlik atık su miktarı 8,21 L olarak hesaplanmıştır. Literatür verilerine göre toplam atık suyun %75'i gri su, %1'i sarı su ve %0,1'i kahverengi su olarak kabul edilmiştir (Beler Baykal, 2018). Bu oranlar doğrultusunda günlük kişi başına gri, sarı ve kahverengi su miktarları Tablo 4'te gösterilmektedir.

Tablo 4: Gri, sarı ve kahverengi su günlük miktarları

Belediyelerde deşarj edilen kişi başı günlük atıksu miktarı (litre/kişi-gün)	Gri su (L/gün)	Sarı su (L/gün)	Kahverengi su (L/gün)
197	147,75	1,97	0,197

Saatlik atık su miktarları belirlenirken bireylerin üniversitede geçirdikleri süreler dikkate alınmıştır. Bu kapsamda; öğrenciler, akademik personel ve güvenlik görevlileri için tanımlanan çalışma sürelerine göre kişi başı oluşan gri, sarı ve kahverengi su miktarları Tablo 5'te sunulmuştur.

Tablo 5: Kişi başı hesaplanan günlük gri, sarı ve kahverengi su miktarları (Değirmenci, 2023)

Kişi	Saat Aralığı	Saat	Atıksu Miktarı (L)	Gri Su (L)	Sarı Su (L)	Kahverengi Su (L)
Öğrenci	8.30-16.30	8	65,68	49,26	0,66	0,066
Akademik Per.	8:00-17:00	9	73,89	55,42	0,74	0,074
Güvenlik Gör.	00:00-24:00	24	197	147,75	1,97	0,197

2.3. Veri Analizi ve Ekonomik Değerlendirme Yöntemi

Elde edilen veriler Microsoft Excel ortamında analiz edilmiştir. Yağmur suyu ve gri su miktarları, yerleşkelerdeki yeşil alan sulama ihtiyacıyla karşılaştırılmış; her yerleşke için tasarruf edilen su miktarı, depo hacmi, yatırım maliyeti ve geri ödeme süresi ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Ekonomik değerlendirmede 2024 yılı itibarıyla Artvin ili için geçerli ortalama su birim fiyatı (20,46 TL/m³) kullanılmıştır. Yıllık ekonomik kazanç Eşitlik (3) ve geri ödeme süresi Eşitlik (4) yardımıyla hesaplanmıştır:

$$Yıllık\ Tasarruf = V \times F \quad (3)$$

$$Geri\ Ödeme\ Süresi = M / Yıllık\ Tasarruf \quad (4)$$

Burada; V: karşılanan su miktarı (m³), F: su birim fiyatı (TL/m³), M: toplam sistem maliyetidir.

3. Uygulama

3.1. Çalışma Alanı

Bu çalışma, AÇÜ yerleşkelerinde (Merkez, Seyitler, Hopa, Arhavi, Borçka, Şavşat ve Ardanuç) yürütülmüştür. Üniversite, 17 Mayıs 2007 tarihli ve 5662 Sayılı Kanun kapsamında Artvin ilinde kurulmuştur. Yerleşkeler topoğrafik yapı, büyüklük ve kullanım amacı bakımından farklılık göstermektedir. Merkez Yerleşkesi 76.070,97 m², Seyitler Yerleşkesi 180.584,01 m², Hopa Yerleşkesi 68.416,42 m², Arhavi Yerleşkesi 20.295,21 m², Borçka Yerleşkesi 28.390,30 m², Ardanuç Yerleşkesi 34.856,46 m² ve Şavşat Yerleşkesi 7.829,88 m² büyüklüğündedir. Analiz kapsamına alınan tüm akademik, idari ve sosyal binalar YSH ve GYK açısından değerlendirilmiştir. Yerleşkelere ait uydu görüntüleri Şekil 1’de, yapı bilgileri ise Tablo 6’da gösterilmiştir.



Şekil 1: AÇÜ Yerleşkeleri (A: Merkez Yerleşkesi, B: Arhavi Yerleşkesi, C: Şavşat Yerleşkesi, D: Seyitler Yerleşkesi, E: Borçka Yerleşkesi, F: Ardanuç Yerleşkesi, G: Hopa Yerleşkesi)

Tablo 6: Artvin Çoruh Üniversitesi yerleşkeleri ve binalar

Fakülte Adı	Yerleşke
Rektörlük Binası	Merkez Yerleşke
Merkezi Kütüphane	Merkez Yerleşke
Ali Nihat Gökyiğit (ANG) Kongre ve Kültür Merkezi	Merkez Yerleşke
Konukevi	Merkez Yerleşke
Lojmanlar	Merkez Yerleşke
A, B, C ve D Blokları (Derslikler)	Merkez Yerleşke
Orman Fakültesi	Seyitler Yerleşkesi
Mühendislik Fakültesi	Seyitler Yerleşkesi
Artvin MYO	Seyitler Yerleşkesi
Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı İdari Binası (YİTDB)	Seyitler Yerleşkesi
Bilim Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (BİLTEKMER)	Seyitler Yerleşkesi
Kapalı Spor Salonu	Seyitler Yerleşkesi
Sosyal Tesis Binası	Seyitler Yerleşkesi
Endüstriyel Tasarımlar Uyg. ve Arş. Merkezi	Seyitler Yerleşkesi
Ormancılık Uygulama ve Araştırma Merkezi(Sera)	Seyitler Yerleşkesi
Lojmanlar	Seyitler Yerleşkesi
Depo	Seyitler Yerleşkesi
Ulaştırma Binası	Seyitler Yerleşkesi
Borçka Acarlar MYO	Borçka Yerleşkesi
Lojmanlar	Borçka Yerleşkesi
Hopa MYO İdari Binası	Hopa Yerleşkesi
Hopa MYO Eğitim Binası	Hopa Yerleşkesi
Fitness Salonu	Hopa Yerleşkesi
Şavşat MYO	Şavşat Yerleşkesi
Tarihi Bina	Ardanuç Yerleşkesi
Derslik Binası	Ardanuç Yerleşkesi
Arhavi MYO İdari Binası	Arhavi Yerleşkesi
Arhavi MYO Eğitim Binası	Arhavi Yerleşkesi
Yemekhane	Arhavi Yerleşkesi

3.2. Veri Toplama

Bina çatı alanları, AÇÜ YİTDB'den temin edilen mimari planlar ve Google Earth Pro görüntüleri kullanılarak belirlenmiştir. Her binanın kullanım amacı (eğitim, idari, yurt vb.) ve kullanıcı yoğunluğu, yağmur suyu ve gri su potansiyellerinin hesaplanmasında temel parametre olarak değerlendirilmiştir.

4. Bulgular ve Tartışma

4.1. Yağmur Suyu Potansiyeli

4.1.1. Yerleşkelere Ait Yapıların Yağmur Suyu Hasadı Analizi

AÇÜ yerleşkelerinde yer alan tüm binaların çatı alanları, yıllık ortalama yağış miktarı ve çatı malzemesi türü dikkate alınarak potansiyel YSH miktarları Eşitlik (1) yardımıyla hesaplanmıştır (Tablo 7).

Tablo 7: Bina çatı alanı yüzeyleri ve hasat edilen yağmur suyu miktarı

Bina	Yerleşke	Yıllık Yağış Miktarı (mm)	Çatı Alanı (m ²)	Çatı Tipi	Çatı Katsayısı	Filtre Katsayısı	Hasat Edilecek Yağmur Miktarı (m ³)
Rektörlük Binası	Rektörlük	694,7	1155	Sac	0,9	0,9	649,93
ANG Kongre ve Kültür Merkezi	Merkez Yerleşke	694,7	2248	Membran	0,7	0,9	983,86
Merkezi Kütüphane	Merkez Yerleşke	694,7	875	Prekast	0,7	0,9	382,95
Konukevi	Merkez Yerleşke	694,7	810	Sac	0,9	0,9	455,79
Lojmanlar	Merkez Yerleşke	694,7	822	Sac	0,9	0,9	462,55
Tüm Merkezi Derslikler	Merkez Yerleşke	694,7	8604	PVC Jeo Membran	0,7	0,9	3765,64
TOPLAM			14514				6700,71
Orman Fakültesi	Seyitler Yerleşkesi	694,7	4584	Membran ve Polikarbon	0,7	0,9	2006,24
Mühendislik Fakültesi	Seyitler Yerleşkesi	694,7	1085	Sac ve Cam	0,9	0,9	610,54
Artvin MYO	Seyitler Yerleşkesi	694,7	1085	Sac ve Cam	0,9	0,9	610,54
YİTDB	Seyitler Yerleşkesi	694,7	291	Sac	0,9	0,9	163,75
BİLTEKMER	Seyitler Yerleşkesi	694,7	967	Membran	0,7	0,9	423,22
Kapalı Spor Salonu	Seyitler Yerleşkesi	694,7	2744	Sac ve Membran	0,9	0,9	1544,07
Sosyal Tesis Binası	Seyitler Yerleşkesi	694,7	2683	Membran ve Cam	0,7	0,9	1174,24
Endüstriyel Tasarımlar Uyg. Arş. Mer.	Seyitler Yerleşkesi	694,7	1720	Sac	0,9	0,9	967,86
Sera	Seyitler Yerleşkesi	694,7	252	Polikarbon	0,7	0,9	110,29
Lojmanlar	Seyitler Yerleşkesi	694,7	2002	Sac	0,9	0,9	1126,54
Depo	Seyitler Yerleşkesi	694,7	126	Sac	0,9	0,9	70,90
Ulaştırma Binası	Seyitler Yerleşkesi	694,7	180	Membran	0,7	0,9	78,78
TOPLAM			17719				8886,96
Borçka Acarlar MYO	Borçka Yerleşkesi	694,7	3049	Sac	0,9	0,9	1715,69
Lojmanlar	Borçka Yerleşkesi	694,7	567	Sac	0,9	0,9	319,05
TOPLAM			3616				2034,75
Hopa MYO İdari Binası	Hopa Yerleşkesi	694,7	2953	PVC Jeo Membran	0,7	0,9	1292,41
Hopa MYO Eğitim Binası	Hopa Yerleşkesi	694,7	361	Sac ve Membran	0,9	0,9	203,14
Fitness Salonu	Hopa Yerleşkesi	694,7	269	Sac	0,9	0,9	151,37
TOPLAM			3583				1646,92
Şavşat MYO	Şavşat Yerleşkesi	694,7	2208	Sac	0,9	0,9	1242,46
TOPLAM			2208				1242,46
Derslik Binası	Ardanuç Yerleşkesi	694,7	382	Sac	0,9	0,9	214,95
Tarihi Bina	Ardanuç Yerleşkesi	694,7	738	Sac	0,9	0,9	415,28
TOPLAM			1120				630,23
Arhavi MYO İdari Binası	Arhavi Yerleşkesi	694,7	1897	Sac	0,9	0,9	1067,46
Arhavi MYO Eğitim Binası	Arhavi Yerleşkesi	694,7	502	Sac	0,9	0,9	282,48
Yemekhane	Arhavi Yerleşkesi	694,7	644	Sac	0,9	0,9	362,38
TOPLAM			3043				1712,32
GENEL TOPLAM							22854,34

Elde edilen bulgulara göre, Merkez yerleşkesi yağmur suyu toplama potansiyeli en yüksek alan olarak belirlenmiştir. Bu yerleşkede yer alan merkezi derslikler, 8.604 m² çatı alanı ile yıllık 3.765,64 m³ yağmur suyu toplama kapasitesine sahiptir. Aynı yerleşkede yer alan ANG kongre ve kültür merkezi için 2.248 m² çatı alanından 983,86 m³, rektörlük binası için 1.155 m² alandan 649,93 m³, merkezi kütüphane için 875 m² alandan 382,95 m³, konukevi için 810 m² alandan 455,79 m³ ve lojmanlar için 822 m² alandan 462,55 m³ suyun toplanabileceği hesaplanmıştır. Bu verilere göre Merkez yerleşkesinin toplam yağmur suyu potansiyeli yaklaşık 6.700,71 m³/yıl olarak belirlenmiştir.

Seyitler yerleşkesi, ikinci yüksek potansiyele sahip yerleşke olarak öne çıkmaktadır. Orman fakültesi binasının 4.584 m² çatı alanından 2.006,24 m³, mühendislik fakültesi binasının 1.085 m² çatı alanından ise 610,54 m³ suyun toplanabileceği hesaplanmıştır. Böylece Seyitler yerleşkesinin yıllık toplam potansiyeli 2.616,78 m³ olarak bulunmuştur.

Elde edilen bulgular, AÇÜ yerleşkelerindeki toplam 45.803 m² çatı alanından yıllık 22.854 m³ yağmur suyu hasat edilebileceğini göstermektedir. [Kalıpcı vd. \(2021\)](#) tarafından yapılan çalışmada Giresun Üniversitesi'nde YSH potansiyelinin yaklaşık 43.000 m³/yıl olarak raporlanmıştır. Aradaki fark, Giresun Üniversitesi'nin tek yerleşke ve daha yoğun yapı dağılımına sahip olmasından kaynaklanırken; AÇÜ'nün yedi yerleşke arasında dağınık konumlanması toplam

potansiyeli azaltıcı yönde etki etmektedir. Uluslararası ölçekte ise [Anchan vd. \(2021\)](#) Güney Hindistan'da geniş çatı alanına sahip üniversite yerleşkelerinin YSH için yüksek potansiyel sunduğunu vurgulamıştır. Benzer biçimde, [Freitas ve Ghisi \(2020\)](#) Brezilya'nın İmbituba şehrinde 108 farklı senaryo üzerinde yürüttükleri çalışmada, çatı alanı ve kullanıcı yoğunluğunun YSH veriminde belirleyici parametreler olduğunu göstermiştir. AÇÜ'nün yıllık 694,7 mm yağış değeri dikkate alındığında, toplam potansiyelin anlamlı bir düzeyde olduğu değerlendirilmektedir.

4.1.2. Yağmur Suyu Hasadı ve Yeşil Alan Su İhtiyacının Karşılaştırılması

AÇÜ yerleşkelerinde gerçekleştirilen hesaplamalar sonucunda, yağmur suyu hasadıyla elde edilebilecek su miktarları ve bu miktarların yeşil alan sulama ihtiyaçlarını karşılama düzeyleri belirlenmiştir. Elde edilen bulgular Tablo 8'de görülmüştür.

Tablo 8: Yerleşkelere ait yeşil alan miktarları ve sulama suyu ihtiyaçları

Yerleşkeler	Çatı Yağmur Suyu Miktarı (Yıllık, m ³)	Yeşil Alan (m ²)	Yeşil Alan Günlük Su İhtiyacı (m ³)	Yıllık Toplam Su İhtiyacı (m ³)	Karşılanan Su İhtiyacı Yüzdesi, %	Sulama Sıklığı
Merkez Yerleşke	6700,71	31205	156,03	56950,95 16227,12 8113,56	11,77 41,29 82,59	Her Gün Sulama Haftada 2 Kez Sulama Haftada 1 Kez Sulama
Seyitler Yerleşkesi	8886,96	86492	432,46	157847,9 44975,84 22487,92	5,63 19,76 39,52	Her Gün Sulama Haftada 2 Kez Sulama Haftada 1 Kez Sulama
Borçka Yerleşkesi	2034,75	16361	81,81	29860,65 8508,24 4254,12	6,81 23,92 47,83	Her Gün Sulama Haftada 2 Kez Sulama Haftada 1 Kez Sulama
Hopa Yerleşkesi	1646,92	10370	51,85	18925,25 5392,4 2696,2	8,7 30,54 61,08	Her Gün Sulama Haftada 2 Kez Sulama Haftada 1 Kez Sulama
Şavşat Yerleşkesi	1242,46	2220	11,1	4051,5 1154,4 577,2	30,67 107,63 215,26	Her Gün Sulama Haftada 2 Kez Sulama Haftada 1 Kez Sulama
Ardanuç Yerleşkesi	630,23	5660	28,3	10329,5 2943,2 1471,6	6,1 21,41 42,83	Her Gün Sulama Haftada 2 Kez Sulama Haftada 1 Kez Sulama
Arhavi Yerleşkesi	1712,32	3681	18,41	6719,65 1914,64 957,32	25,48 89,43 178,87	Her Gün Sulama Haftada 2 Kez Sulama Haftada 1 Kez Sulama

Merkez yerleşkesinde toplam çatı alanı 14.514 m² olup yıllık yağmur suyu potansiyeli 6.700,71 m³ olarak hesaplanmıştır. Yerleşkede bulunan 31.205 m² yeşil alanın günlük su ihtiyacı 156,03 m³, yıllık su ihtiyacı ise 56.950,95 m³'tür. Yağmur suyu hasadıyla karşılanabilen oran günlük sulama koşullarında %11,77, haftada iki kez sulamada %41,29, haftada bir kez sulamada ise %82,59 olarak belirlenmiştir.

Seyitler yerleşkesi, 17.719 m² çatı alanı ile en yüksek toplam alana sahip yerleşke olup yıllık 8.886,96 m³ yağmur suyu potansiyeline sahiptir. Bu yerleşkede 86.492 m² yeşil alanın günlük su ihtiyacı 432,46 m³, yıllık ihtiyacı 157.847,9 m³ olarak hesaplanmıştır. Hasat edilen yağmur suyu, günlük sulamada su gereksiniminin %5,63'ünü, haftada iki kez sulamada %19,76'sını ve haftada bir kez sulamada %39,52'sini karşılayabilmektedir.

Borçka yerleşkesinde çatı alanı 3.616 m², yıllık yağmur suyu miktarı 2.034,75 m³'tür. Yerleşkedeki 16.361 m² yeşil alanın günlük su ihtiyacı 81,81 m³, yıllık su ihtiyacı 29.860,65 m³ olarak hesaplanmıştır. Karşılama oranı günlük sulamada %6,81, haftada iki kez sulamada %23,92, haftada bir kez sulamada ise %47,83'tür.

Hopa yerleşkesinde toplam çatı alanı 3.583 m² olup yıllık yağmur suyu potansiyeli 1.646,92 m³'tür. 10.370 m² yeşil alanın günlük su ihtiyacı 51,85 m³, yıllık ihtiyacı 18.925,25 m³ olarak belirlenmiştir. Karşılama oranı günlük sulamada %8,70, haftada iki kez sulamada %30,54, haftada bir kez sulamada %61,08'dir.

Şavşat yerleşkesinde 2.208 m² çatı alanı ve 1.242,46 m³/yıl yağmur suyu potansiyeli bulunmaktadır. Yerleşkedeki 2.220 m² yeşil alanın günlük su ihtiyacı 11,1 m³, yıllık ihtiyacı 4.051,5 m³'tür. Bu durumda yağmur suyu hasadıyla günlük sulama ihtiyacının %30,67'si, haftada iki kez sulamada %107,63'ü, haftada bir kez sulamada ise %215,26'sı karşılanabilmektedir.

Ardanuç yerleşkesinde toplam çatı alanı 1.120 m², yıllık yağmur suyu potansiyeli 630,23 m³'tür. 5.660 m² yeşil alanın günlük su ihtiyacı 28,3 m³, yıllık su ihtiyacı 10.329,5 m³ olarak hesaplanmıştır. Karşılama oranı günlük sulamada %6,10, haftada iki kez sulamada %21,41, haftada bir kez sulamada %42,83 olarak belirlenmiştir.

Arhavi yerleşkesinde toplam çatı alanı 3.043 m², yıllık yağmur suyu miktarı 1.712,32 m³'tür. Yerleşkede 3.681 m² yeşil alan bulunmakta, günlük su ihtiyacı 18,41 m³, yıllık ihtiyacı ise 6.719,65 m³'tür. Karşılama oranı günlük sulamada %25,8, haftada iki kez sulamada %89,43, haftada bir kez sulamada ise %178,87 olarak hesaplanmıştır.

Tüm yerleşkeler birlikte değerlendirildiğinde, toplam çatı alanı 45.803 m², yıllık hasat edilebilir yağmur suyu miktarı 22.854,34 m³, toplam yeşil alan büyüklüğü ise 156.989 m² olarak belirlenmiştir.

AÇÜ yerleşkelerinde yağmur suyu hasadıyla sulama ihtiyacının karşılanma oranı, sulama tekrarına ve yerleşke özelliklerine bağlı olarak %6 ile %215 arasında geniş bir aralıkta değişmektedir. Yalnızca yağmur suyuyla tam karşılama yalnızca Şavşat ve Arhavi gibi küçük yeşil alana sahip yerleşkelerde mümkün olabilmektedir. Bu sonuçlar, Bursa Uludağ Üniversitesi'nde yağmur ve gri suyun birlikte değerlendirilmesiyle bina su ihtiyacının %100'e kadar karşılanabildiğini gösteren çalışmadan (Sevimli, 2021) farklı olarak, AÇÜ özelinde tek başına YSH'nin büyük yerleşkelerde yetersiz kalabildiğine işaret etmektedir. Benzer biçimde, Dokuz Eylül Üniversitesi Tınaztepe yerleşkesinde elde edilen %13–30 tasarruf aralığı (Gökbaş, 2018) ve Yalova Üniversitesi'nde YSH'nin tuvalet rezervuarlarında kullanımının teknik olarak uygulanabilir bulunması (Günaydın, 2021), çatı alanı ve kullanıcı yoğunluğunun karşılanma oranını belirleyici unsurlar olduğunu göstermektedir. AÇÜ'de yerleşkeler arasındaki bu farklılık, planlamanın yerleşke ölçeğinde yapılması gerektiğini ortaya koymaktadır.

4.1.3. Yağmur Suyu Hasadı İçin Gerekli Depo Hacimlerinin Belirlenmesi

AÇÜ yerleşkelerinde gerçekleştirilen hesaplamalar sonucunda, YSH sistemleri için gerekli depo hacimleri belirlenmiştir. Bu kapsamda yapılan değerlendirmelere ilişkin bulgular Tablo 9'da görülmektedir.

Merkez yerleşkesinde toplam çatı alanı 14.514 m², aralık ayı ortalama yağış miktarı 86,2 mm, hasat edilebilecek yağmur suyu miktarı ise 849,04 m³ olarak hesaplanmıştır. Rektörlük binasında 80,64 m³, ANG kongre ve kültür merkezinde 174,48 m³, merkezi kütüphanede 67,68 m³, konukevinde 56,56 m³, lojmanlarda 57,39 m³ ve merkezi dersliklerde 467,25 m³ suyun toplanabileceği belirlenmiştir. Bu verilere göre Merkez yerleşkesi için önerilen toplam depoların hacmi 895 m³ olup, depo boyutları binalara göre 25–100 m³ arasında değişmektedir.

Seyitler yerleşkesinde toplam çatı alanı 17.719 m², aralık ayı yağış miktarı 86,2 mm, toplam hasat edilebilir su miktarı 1.102,71 m³ olarak belirlenmiştir. Orman fakültesinde 248,94 m³, mühendislik fakültesinde 75,76 m³, Artvin MYO'da 75,76 m³, YİTDB'de 20,32 m³, BİLTEKMER'de 52,31 m³, kapalı spor salonunda 191,95 m³, sosyal tesis binasında 134,15 m³, endüstriyel tasarımlar uygulama ve araştırma merkezinde 147,42 m³, serada 15,12 m³, lojmanlarda 110,22 m³, depo binasında 7,96 m³ ve ulaştırma binasında 7,83 m³ su toplanabileceği hesaplanmıştır. Seyitler yerleşkesi için önerilen toplam depoların hacmi 1.145 m³ olup, binalara göre 10–100 m³ arasında depolar kullanılmıştır.

Borçka yerleşkesinde toplam çatı alanı 3.616 m² olup, aralık ayı yağış miktarına göre hasat edilebilir yağmur suyu miktarı 252,48 m³'tür. Borçka Acarlar MYO binasında 212,89 m³, lojmanlarda 39,59 m³ suyun toplanabileceği hesaplanmış, önerilen toplam depo hacmi 255 m³ olarak belirlenmiştir. Depo boyutları binalara göre 15–100 m³ arasında değişmektedir.

Hopa yerleşkesinde toplam çatı alanı 3.583 m², aralık ayı yağış miktarı 86,2 mm, toplanabilir su miktarı 204,35 m³ olarak belirlenmiştir. Hopa MYO idari binasında 160,37 m³, Hopa MYO eğitim binasında 25,21 m³ ve fitness salonunda 18,78 m³ su toplanabileceği hesaplanmıştır. Bu yerleşke için önerilen toplam depo hacmi 220 m³ olup, binalara göre 20–60 m³ arasında depolar kullanılmıştır.

Şavşat yerleşkesinde tek bina (Şavşat MYO) için çatı alanı 2.208 m² olup, hasat edilebilecek yağmur suyu miktarı 154,17 m³, önerilen depo hacmi ise yaklaşık 160 (60+100) m³'tür.

Ardanuç yerleşkesinde iki yapı değerlendirilmiş, toplam çatı alanı 1.120 m², toplanabilir su miktarı 78,20 m³ olarak belirlenmiştir. Derslik binasında 26,67 m³, tarihi binada 51,53 m³ su toplanabileceği hesaplanmış, her iki yapı için 30 ve 60 m³ hacminde 2 depo önerilmiştir.

Tablo 9: Yağmur suyu hasadına göre yapıların ihtiyacı olan depo hacimleri

Bina	Yerleşke	Aralık Ayı Yağış Miktarı (mm)	Çatı Alanı (m ²)	Hasat Edilecek Yağmur Miktarı (m ³)	Gereken Depo Hacmi (m ³)
Rektörlük Binası	Rektörlük	86,2	1155	80,64	100
ANG Kongre ve Kültür Merkezi	Merkez Yerleşke	86,2	2248	122,08	100+25
Merkezi Kütüphane	Merkez Yerleşke	86,2	875	47,52	50
Konukevi	Merkez Yerleşke	86,2	810	56,56	60
Lojmanlar	Merkez Yerleşke	86,2	822	57,39	60
Tüm Merkezi Derslikler	Merkez Yerleşke	86,2	8604	467,25	100x5
TOPLAM			14514	831,44	
Orman Fakültesi	Seyitler Yerleşkesi	86,2	4584	248,94	100x2+50
Mühendislik Fakültesi	Seyitler Yerleşkesi	86,2	1085	75,76	50+30
Artvin MYO	Seyitler Yerleşkesi	86,2	1085	75,76	50+30
YİTDB	Seyitler Yerleşkesi	86,2	291	20,32	25
BİLTEKMER	Seyitler Yerleşkesi	86,2	967	52,51	60
Kapalı Spor Salonu	Seyitler Yerleşkesi	86,2	2744	191,59	100x2
Sosyal Tesis Binası	Seyitler Yerleşkesi	86,2	2683	145,70	100+50
Endüstriyel Tas. Uyg. Arş. Mer.	Seyitler Yerleşkesi	86,2	1720	120,09	100+25
Sera	Seyitler Yerleşkesi	86,2	252	13,69	15
Lojmanlar	Seyitler Yerleşkesi	86,2	2002	139,78	100+40
Depo	Seyitler Yerleşkesi	86,2	126	8,80	10
Ulaştırma Binası	Seyitler Yerleşkesi	86,2	180	9,78	10
TOPLAM			17719	1102,71	
Borçka Acarlar MYO	Borçka Yerleşkesi	86,2	3049	212,89	100x2+15
Lojmanlar	Borçka Yerleşkesi	86,2	567	39,59	40
TOPLAM			3616	252,48	
Hopa MYO İdari Binası	Hopa Yerleşkesi	86,2	2953	160,37	60x2+50
Hopa MYO Eğitim Binası	Hopa Yerleşkesi	86,2	361	25,21	30
Fitness Salonu	Hopa Yerleşkesi	86,2	269	18,78	20
TOPLAM			3583	204,35	
Şavşat MYO	Şavşat Yerleşkesi	86,2	2208	154,17	100+60
TOPLAM			2208	154,17	
Derslik Binası	Ardanuç Yerleşkesi	86,2	382	26,67	30
Tarihi Bina	Ardanuç Yerleşkesi	86,2	738	51,53	60
TOPLAM			1120	78,20	
Arhavi MYO İdari Binası	Arhavi Yerleşkesi	85,6	1897	132,45	100+40
Arhavi MYO Eğitim Binası	Arhavi Yerleşkesi	85,6	502	35,05	40
Yemekhane	Arhavi Yerleşkesi	85,6	644	44,97	50
TOPLAM			3043	212,47	

Arhavi yerleşkesinde toplam çatı alanı 3.043 m², yıllık ortalama yağış değeri 85,6 mm ve toplanabilir su miktarı 212,47 m³'tür. Arhavi MYO idari binasında 132,45 m³, Arhavi MYO eğitim binasında 35,05 m³ ve yemekhane binasında 44,97 m³ su toplanabileceği hesaplanmıştır. Bu yerleşke için toplam önerilen depo hacmi 230 m³ olup depo boyutları binalara göre 40–100 m³ arasında değişmektedir.

Tüm yerleşkeler birlikte değerlendirildiğinde, aralık ayı yağış ortalamasına göre hesaplanan toplam çatı alanı 45.803 m², hasat edilebilecek yağmur suyu miktarı 2.002,38 m³, toplam önerilen depo hacmi ise 2.995 m³ olarak belirlenmiştir.

4.2. Gri Su Yeniden Kullanım Potansiyeli

4.2.1. Yerleşkelere Göre Gri, Sarı ve Kahverengi Su Miktarları

AÇÜ yerleşkelerinde oluşan toplam gri, sarı ve kahverengi su miktarları Eşitlik (2) yardımıyla Tablo 10'da hesaplanmıştır. Hesaplamalar, her yerleşkedeki öğrenci ve personel sayısı ile günlük su kullanım süreleri dikkate alınarak yapılmıştır.

Tablo 10: Gri, sarı ve kahverengi su toplam miktarları

	Gri Su (m ³ /gün)	Sarı Su(m ³ /gün)	Kahverengi Su (m ³ /gün)
Rektörlük	2,845	0,038	0,003
Fen Edebiyat Fakültesi	67,782	0,910	0,091
Eğitim Fakültesi	54,629	0,732	0,073
Sağlık Bilimleri Fakültesi	45,091	0,604	0,060
Sağlık Hizmetleri MYO	95,023	1,273	0,127
Yusufeli MYO	12,746	0,171	0,017
Merkez Yerleşke Toplam	278,116	3,728	0,371
Orman Fakültesi	13,233	0,177	0,018
Mühendislik Fakültesi	7,309	0,098	0,009
İşletme Fakültesi	14,125	0,189	0,019
Spor Bilimleri Fakültesi	13,799	0,185	0,018
Turizm Fakültesi	7,604	0,102	0,010
Artvin MYO	128,489	1,721	0,172
Seyitler Yerleşkesi Toplam	184,559	2,472	0,246
Sanat veTasarım Fakültesi	13,904	0,186	0,019
Arhavi MYO	21,773	0,292	0,029
Arhavi Yerleşkesi Toplam	35,677	0,478	0,048
İlahiyat Fakültesi	31,711	0,425	0,043
Hopa İktisadi ve İdari Bilimler Fak.	20,751	0,278	0,028
Hopa MYO	27,659	0,371	0,037
Hopa Yerleşkesi Toplam	80,121	1,074	0,108
Borçka Acarlar MYO	52,887	0,709	0,071
Şavşat MYO	17,980	0,241	0,024
Genel Toplam	649,34	8,702	0,868

Merkez yerleşkesinde toplam 278,116 m³/gün gri su, 3,728 m³/gün sarı su ve 0,371 m³/gün kahverengi su olduğu belirlenmiştir. Bu yerleşke içinde en yüksek gri su potansiyeline sahip birim sağlık hizmetleri MYO (95,023 m³/gün) olurken, bunu fen-edebiyat fakültesi (67,782 m³/gün) ve eğitim fakültesi (54,629 m³/gün) takip etmiştir.

Seyitler yerleşkesinde toplam 184,559 m³/gün gri su, 2,472 m³/gün sarı su ve 0,246 m³/gün kahverengi su üretilmiştir. En yüksek gri su üretimi Artvin MYO (128,489 m³/gün)'da gerçekleşmiş, ardından orman fakültesi (13,233 m³/gün) ve işletme fakültesi (14,125 m³/gün) gelmiştir.

Arhavi yerleşkesinde 35,677 m³/gün gri su, 0,478 m³/gün sarı su ve 0,048 m³/gün kahverengi su hesaplanmıştır. Burada Arhavi MYO (21,773 m³/gün) en yüksek gri su üretimine sahiptir.

Hopa yerleşkesinde 80,121 m³/gün gri su, 1,074 m³/gün sarı su ve 0,108 m³/gün kahverengi su oluşmuştur. Bu yerleşkede Hopa MYO (27,659 m³/gün) birinci sırada yer almış, iktisadi ve idari bilimler fakültesi (20,751 m³/gün) ikinci sırayı almıştır.

Borçka Acarlar MYO'da 52,887 m³/gün gri su, 0,709 m³/gün sarı su ve 0,071 m³/gün kahverengi su olduğu; Şavşat MYO'da ise 17,980 m³/gün gri su, 0,241 m³/gün sarı su ve 0,024 m³/gün kahverengi su üretildiği belirlenmiştir.

Tüm yerleşkeler birlikte değerlendirildiğinde, AÇÜ genelinde günlük toplam 649,34 m³ gri su, 8,702 m³ sarı su ve 0,868 m³ kahverengi su üretildiği tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, üniversite genelinde en yüksek gri su üretiminin merkez ve seyitler yerleşkelerinde gerçekleştiğini, dolayısıyla geri kazanım sistemlerinin öncelikli olarak bu alanlarda kurulmasının verimlilik açısından uygun olacağını göstermektedir.

AÇÜ yerleşkelerinde günlük toplam 649,34 m³ gri su üretildiği tespit edilmiştir. Bu miktar, üniversite ölçeğinde önemli bir alternatif su kaynağı potansiyeline işaret etmektedir. [Albalawneh ve Chang \(2015\)](#), gri suyun evsel atık suyun %50–80'ini oluşturduğunu ve uygun arıtma süreçleriyle yeniden kullanımının önemli su tasarrufu sağlayabileceğini vurgulamaktadır. AÇÜ bulguları, söz konusu uluslararası oranlarla uyumludur. Türkiye ölçeğinde [Kutlu vd. \(2017\)](#), Alanya'da otel ve konut yapılarında %40–51 oranında tasarruf sağlanabileceğini raporlamıştır. Gri suyun ekonomik fizibilitesi açısından [Friedler ve Hadari \(2006\)](#), İsrail'de çok katlı yapılarda RBC ve MBR temelli on-site gri su geri kazanım sistemleri üzerine yaptıkları kapsamlı analizde, sistem maliyetlerinin bina ölçeğiyle önemli ölçüde değiştiğini ve geri ödeme sürelerinin kullanım yoğunluğuna bağlı olduğunu ortaya koymuştur. AÇÜ'nün yıllık 237.254 m³ gri su potansiyeli ölçeğinde benzer bir maliyet–verim ilişkisinin geçerli olabileceği düşünülmektedir. Bununla birlikte, gri suyun

yeşil alan sulamasında kullanılabilmesi için filtrasyon, biyolojik arıtma ve dezenfeksiyon süreçlerine ilişkin maliyet bileşenleri Şahan (2022) çalışmasında ayrıntılı biçimde değerlendirilmiştir.

4.3. Yağmur Suyu Hasadı ve Gri Suyun Yeniden Kullanımının Yeşil Alan Su İhtiyacına Katkısının Karşılaştırılması

AÇÜ yerleşkelerinde elde edilen yağmur suyu ve gri su miktarlarının yeşil alan su ihtiyacını karşılama potansiyelleri karşılaştırılmıştır (Tablo 11). Elde edilen bulgular, her yerleşke için yağmur suyu, gri su ve iki sistemin birlikte değerlendirildiği toplam hacimlerin yüzdesel katkı oranlarını göstermektedir.

Tablo 11: Yağmur suyu hasadı ve gri suyun yeniden kullanımının yeşil alan sulaması açısından hacimsel karşılaştırılması

Yerleşkeler	Yeşil Alan (m ²)	Hasat Edilecek Yağmur Miktarı (Yıllık, m ³)	Toplam Gri Su (Yıllık, m ³)	Yeşil Alan Su İhtiyacı (5 Aylık, m ³)	Karşılanan Su İhtiyacı Yüzdesi, %	Kullanılan (Günde 1 Kez)	Yeterli/ Yetersiz
Merkez Yerleşke	31205	6700,71	101512,34	23404,5	11,93 180,72 192,65	Yağmur Suyu Gri su Yağmur Suyu + Gri Su	Yetersiz Yeterli Yeterli
Seyitler Yerleşkesi	86492	8886,96	67364,04	64869	5,71 43,27 48,98	Yağmur Suyu Gri su Yağmur Suyu + Gri Su	Yetersiz Yetersiz Yetersiz
Borçka Yerleşkesi	16361	2034,75	19303,76	12271,5	6,91 65,54 72,45	Yağmur Suyu Gri su Yağmur Suyu + Gri Su	Yetersiz Yetersiz Yetersiz
Hopa Yerleşkesi	10370	1646,92	29244,17	7777,5	8,82 156,67 165,49	Yağmur Suyu Gri su Yağmur Suyu + Gri Su	Yetersiz Yeterli Yeterli
Şavşat Yerleşkesi	2220	1242,46	6562,7	1665	31,09 164,23 195,32	Yağmur Suyu Gri su Yağmur Suyu + Gri Su	Yetersiz Yeterli Yeterli
Ardanuç Yerleşkesi	5660	630,23	-	4245	6,19 6,19	Yağmur Suyu Gri su Yağmur Suyu + Gri Su	Yetersiz Yetersiz Yetersiz
Arhavi Yerleşkesi	3681	1712,32	13022,11	2761,5	25,84 196,48 222,32	Yağmur Suyu Gri su Yağmur Suyu + Gri Su	Yetersiz Yeterli Yeterli

Merkez yerleşkesinde yıllık 6.700,71 m³ YSH ve 101.512,34 m³ GYK potansiyeli belirlenmiştir. Yeşil alanın 23.404,5 m³'lük 5 aylık su ihtiyacının %11,93'ü yalnızca yağmur suyuyla, %180,72'si gri suyla ve %192,65'i iki sistemin birlikte değerlendirilmesiyle karşılanabilmektedir. Buna göre Merkez yerleşkesinde yağmur suyu tek başına yetersiz, gri su ve entegre sistem ise yeterli bulunmuştur.

Seyitler yerleşkesinde toplam 8.886,96 m³ YSH ve 67.364,04 m³ GYK potansiyeli tespit edilmiştir. Yerleşkenin 64.869 m³'lük 5 aylık su ihtiyacının yalnızca %13,70'i yağmur suyuyla, %43,27'si gri suyla, %48,98'i ise iki sistemin birlikte kullanımıyla karşılanabilmektedir. Bu sonuçlara göre Seyitler yerleşkesinde her iki sistem de tek başına veya birlikte kullanıldığında sulama ihtiyacını tam olarak karşılayamamaktadır.

Borçka yerleşkesinde yıllık 2.034,75 m³ YSH ve 19.303,76 m³ GYK potansiyeli belirlenmiş, yeşil alan su ihtiyacının %6,91'i yağmur suyu, %65,54'ü gri su, %72,45'i ise iki sistemin birlikte kullanımıyla karşılanabilmektedir. Bu oranlara göre, Borçka yerleşkesinde her iki sistemin entegrasyonu sulama ihtiyacını artırmasına rağmen su miktarı genel olarak yetersiz kalmaktadır.

Hopa yerleşkesinde 1.646,92 m³ YSH ve 29.244,17 m³ GYK potansiyeli saptanmış, yeşil alanların 7.777,5 m³'lük 5 aylık su ihtiyacının %8,82'si yağmur suyuyla, %156,67'si gri suyla, %165,49'u ise iki sistemin birlikte kullanımında karşılanmıştır. Buna göre Hopa yerleşkesinde gri su ve entegre sistem yeterli, yağmur suyu ise tek başına yetersizdir.

Şavşat yerleşkesinde 1.242,46 m³ YSH ve 6.562,7 m³ GYK potansiyeli hesaplanmıştır. Yeşil alanın 1.665 m³'lük su ihtiyacının %31,09'u yağmur suyu, %164,23'ü gri su, %195,32'si iki sistemin toplamıyla karşılanabilmektedir. Bu durumda gri su ve entegre sistem yeterli, yağmur suyu ise tek başına yetersiz bulunmuştur.

Ardanuç yerleşkesinde 630,23 m³ YSH ve 4.245 m³ GYK potansiyeli tespit edilmiş, yeşil alanların 4.245 m³'lük su ihtiyacının %6,19'u yağmur suyu, mevcutta yerleşkede öğrenci olmadığı için gri su hesabı yapılmamıştır. Buna göre sistemin sulama ihtiyacını tam olarak karşılaması mümkün olmamıştır.

Arhavi yerleşkesinde 1.712,32 m³ YSH ve 13.022,11 m³ GYK potansiyeli belirlenmiştir. 2.761,5 m³'lük su ihtiyacının %25,84'ü yağmur suyu, %196,48'i gri su, %222,32'si ise her iki sistemin birlikte değerlendirilmesiyle karşılanabilmektedir. Bu sonuçlara göre Arhavi yerleşkesinde gri su ve entegre sistem yeterli, yağmur suyu ise tek başına yetersizdir.

AÇÜ yerleşkelerinde YSH ve GYK sistemlerinin entegre uygulanması durumunda yeşil alan sulama ihtiyacının karşılanma oranı %6 ile %222 arasında değişmektedir. Merkez, Hopa, Şavşat ve Arhavi yerleşkelerinde entegre sistem sulama ihtiyacını tamamen karşılayabilirken; Seyitler, Borçka ve Ardanuç yerleşkelerinde %49–72 aralığında kısmi karşılama sağlanmaktadır. Bu bulgular, Bursa Uludağ Üniversitesi'nde entegre sistemin bina su ihtiyacının %100'e ulaşabildiğini gösteren çalışmayla (Sevimli, 2021) bazı yerleşkeler özelinde uyumludur. Süleyman Demirel Üniversitesi ve Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi yerleşkelerinde ise gri su miktarı yağmur suyundan yüksek olmasına rağmen toplam sulama ihtiyacının karşılanamadığı raporlanmıştır (Değirmenci, 2023); benzer bir tablo AÇÜ'de Seyitler ve Ardanuç yerleşkelerinde de gözlenmiştir. Uluslararası ölçekte Ghisi ve Oliveira (2007), Brezilya'nın güneyinde gerçekleştirdikleri çalışmada yağmur suyu ve gri suyun birlikte kullanımıyla içme suyu tasarruf potansiyelinin %34–48 düzeyine ulaşabileceğini ortaya koymuştur. AÇÜ bulguları bu uluslararası bulgularla genel olarak uyumlu olup; performansın kullanıcı sayısı, çatı alanı ve yeşil alan dağılımı arasındaki dengeye bağlı olarak değiştiğini ve her yerleşke için ayrı tasarım gerektirdiğini ortaya koymaktadır.

4.4. Yıllık Su Tasarrufu ve Ekonomik Kazanç Potansiyeli

AÇÜ yerleşkelerinde YSH ve GYK sistemlerinin entegre kullanımıyla elde edilebilecek yıllık su tasarrufu miktarları ile bu tasarrufların ekonomik karşılıkları, Tablo 12'de sunulan veriler doğrultusunda Eşitlik (3) yardımıyla hesaplanmıştır. Hesaplamalarda 2024 yılı için Artvin ilinde geçerli ortalama su birim fiyatı 20,46 TL/m³ alınmıştır.

Tablo 22: Yıllık su tasarrufu (TL)

Yerleşkeler	Yeşil Alan Su İhtiyacı (5 Aylık, m ³)	Karşılanan Su İhtiyacı Yüzdesi, %	Yıllık Tasarruf Edilen Tutar (TL)
Merkez Yerleşke	23404,5	192,65	478,856.07
Seyitler Yerleşkesi	64869	48,98	650,072.31
Borçka Yerleşkesi	12271,5	72,45	181,903.72
Hopa Yerleşkesi	7777,5	165,49	159,127.65
Şavşat Yerleşkesi	1665	195,32	34,065.90
Ardanuç Yerleşkesi	4245	6,19	5,376.27
Arhavi Yerleşkesi	2761,5	222,32	56,500.29

Analizler sonucunda Merkez, Hopa, Arhavi ve Şavşat yerleşkelerinde YSH ve GYK mevcut yeşil alanların sulama ihtiyacını tamamen karşılayabildiği belirlenmiştir. Bu yerleşkelerde suya gereksinim duyulmadan sulama yapılabilen ve tam tasarruf sağlanmaktadır. Buna göre Merkez yerleşkesinde 23.404,5 m³ suyun tamamının karşılanmasıyla yıllık 478.856,07 TL, Hopa yerleşkesinde 7.777,5 m³ suyun karşılanmasıyla 159.127,65 TL, Arhavi yerleşkesinde 2.761,5 m³ suyun karşılanmasıyla 56.500,29 TL ve Şavşat yerleşkesinde 1.665 m³ suyun karşılanmasıyla 34.065,90 TL tutarında tasarruf elde edilmektedir.

Buna karşın Seyitler, Borçka ve Ardanuç yerleşkelerinde YSH ve GYK yeşil alan sulama ihtiyacını tam olarak karşılayamamaktadır. Ancak bu sistemlerin kısmi olarak devreye alınmasıyla belirli oranlarda tasarruf sağlanabilmektedir. Seyitler yerleşkesinde toplam su ihtiyacının %48,98'ine denk gelen 31.772,84 m³ suyun geri kazanımıyla yıllık 650.072,31 TL, Borçka yerleşkesinde su ihtiyacının %72,45'ine karşılık gelen 8.890,70 m³ suyun geri kazanımıyla 181.903,72 TL ve Ardanuç yerleşkesinde su ihtiyacının %6,19'unu oluşturan 262,77 m³ suyun geri kazanımıyla 5.376,27 TL tutarında tasarruf sağlanabilmektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, AÇÜ yerleşkelerinde YSH ve GYK sistemlerinin entegre edilmesiyle yeşil alan sulamalarında yılda yaklaşık 1,56 milyon TL düzeyinde ekonomik tasarruf potansiyeli bulunduğu belirlenmiştir.

AÇÜ yerleşkelerinde YSH ve GYK sistemlerinin entegre uygulanmasıyla yılda yaklaşık 1,56 milyon TL tasarruf sağlanabileceği belirlenmiştir. Bu sonuç, Kayseri'de bir sanayi tesisinde yapılan çalışmada YSH ile toplam su tüketiminin %19 oranında azaltılabildiği ve yatırımın 6 yıl içerisinde kendini amorti edebildiği bulgularıyla (Geben, 2023) paraleldir; ancak AÇÜ'nün su tüketim profili ve birim su fiyatı sanayi tesislerinden farklı olduğundan tasarruf oranı doğrudan

kıyaslanamaz. Uluslararası ölçekte, Güney Hindistan üniversite yerleşkesinde geniş çatı alanları sayesinde YSH sistemlerinin önemli bir ekonomik kazanım sağladığı raporlanmıştır (Anchan vd., 2021).

4.5. Yağmur Suyu Hasadı Sistemlerinin Yatırım Maliyeti Analizi

AÇÜ yerleşkelerinde YSH sistemlerinin uygulanabilirliğini değerlendirmek amacıyla yapılan ekonomik analizler sonucunda, her yerleşke için toplam ekipman maliyetleri Tablo 13'te sunulmuştur. Hesaplamalarda depo, pompa sistemleri ve filtrasyon ünite giderleri dikkate alınmıştır.

Tablo 13: Yağmur suyu hasadı toplam ekipman maliyeti

Yerleşke	Toplam Ekipman Maliyeti (TL)
Merkez Yerleşke	7.668.600,00
Seyitler Yerleşkesi	10.339.630,00
Borçka Yerleşkesi	2.291.060,00
Hopa Yerleşkesi	1.972.870,00
Şavşat Yerleşkesi	1.490.150,00
Ardanuç Yerleşkesi	785.950,00
Arhavi Yerleşkesi	2.118.875,00

Analiz sonuçlarına göre en yüksek yatırım maliyeti 10.339.630 TL ile Seyitler yerleşkesine aittir. Bu durum, yerleşkenin diğer yerleşkelere göre daha geniş çatı alanına, fazla sayıda binaya ve yüksek yeşil alan yüzeyine sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Merkez yerleşkesi, 7.668.600 TL ile ikinci sırada yer almaktadır.

Diğer yerleşkelerde yatırım maliyetleri görece daha düşük düzeydedir. Borçka yerleşkesi için toplam ekipman maliyeti 2.291.060 TL, Hopa yerleşkesi için 1.972.870 TL, Arhavi yerleşkesi için 2.118.875 TL, Şavşat yerleşkesi için 1.490.150 TL ve Ardanuç yerleşkesi için 785.950 TL olarak hesaplanmıştır.

Genel değerlendirmede, yatırım maliyetlerinin yerleşkelerin büyüklüğü, yapı yoğunluğu, çatı alanı ve su hasadı altyapı bileşenlerinin kapasitesiyle doğru orantılı olarak arttığı belirlenmiştir. Merkez, Seyitler, Borçka ve Hopa yerleşkeleri, potansiyel su toplama miktarları açısından değerlendirildiğinde uzun vadede yatırım geri dönüş süresi daha kısa olan bölgeler olarak öne çıkmaktadır.

4.6. Geri Ödeme Süresi Analizi

AÇÜ yerleşkelerinde YSH ve GYK sistemlerinin ekonomik fizibilitesi, Eşitlik (4) yardımıyla hesaplanmıştır. Bu kapsamda elde edilen geri ödeme süreleri Tablo 14'te sunulmuştur.

Tablo 14: Geri ödeme süresi

Yerleşkeler	Toplam Sistem Maliyeti (TL)	Yıllık Tasarruf Edilen Tutar (TL)	Geri Ödeme Süresi (Yıl)
Merkez Yerleşke	8.018.600,00	478,856.07	16,75
Seyitler Yerleşkesi	10.689.630,00	650,072.31	16,44
Borçka Yerleşkesi	2.641.060,00	181,903.72	14,52
Hopa Yerleşkesi	2.322.870,00	159,127.65	14,6
Şavşat Yerleşkesi	1.840.150,00	34,065.90	54,02
Ardanuç Yerleşkesi	785.950,00	5,376.27	146,19
Arhavi Yerleşkesi	2.468.875,00	56,500.29	43,7

Analiz sonuçlarına göre, en kısa geri ödeme süresi Borçka yerleşkesinde 14,52 yıl olarak hesaplanmıştır. Bu durum, yerleşkenin düşük yatırım maliyetine karşın yüksek su tasarrufu oranına sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Merkez yerleşkesi için geri ödeme süresi 16,75 yıl, Seyitler yerleşkesi için 16,44 yıl, Hopa yerleşkesi için 14,6 yıl, Arhavi yerleşkesi için 43,7 yıl, Şavşat yerleşkesi için 54,02 yıl ve Ardanuç yerleşkesi için 146,19 yıl olarak belirlenmiştir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, yatırım geri dönüş sürelerinin yerleşke büyüklüğü, yeşil alan ihtiyacı ve su birim fiyatı gibi faktörlere bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Düşük maliyetli ancak yüksek su potansiyeline sahip yerleşkelerde sistemin daha kısa sürede kendini amorti ettiği belirlenmiştir. Bu bulgular, YSH ve GYK sistemlerinin özellikle uygun topoğrafya ve yüksek yağış miktarına sahip bölgelerde ekonomik olarak uygulanabilir olduğunu göstermektedir.

AÇÜ yerleşkelerinin büyük çoğunluğunda geri ödeme süreleri 14,52 ile 16,75 yıl arasında değişmektedir (Tablo 15). Bu değerler; Bursa Uludağ Üniversitesi'nde raporlanan 6–8,8 yıl (Sevimli, 2021), Dokuz Eylül Üniversitesi (DEÜ) Tınaztepe'de 1,3–8,8 yıl (Gökbaş, 2018), Yalova Üniversitesi'nde 6–13 yıl (Günaydın, 2021), Güney Hindistan üniversitesinde 8–13 yıl (Anchan vd., 2021) ve Kayseri sanayi tesisinde 6 yıl (Geben, 2023) gibi ulusal ve uluslararası bulgularla karşılaştırıldığında görece daha uzundur. Buna karşın elde edilen değerler, Freitas ve Ghisi (2020) tarafından Brezilya'nın Imbituba şehrinde rapor edilen 9,3–19,7 yıllık geri ödeme aralığıyla birebir benzerlik göstermekte olup, AÇÜ sonuçlarının uluslararası literatürle uyumlu olduğunu ortaya koymaktadır. Bashar vd. (2018) Bangladeş'in altı büyük şehrinde geri ödeme sürelerinin iklim koşullarına bağlı olarak 2–6 yıl arasında değiştiğini göstermiş; bu farklılık, yüksek yağışlı bölgelerde sistemin daha kısa sürede amorti edilebileceğine işaret etmektedir. Imteaz vd. (2021) ise YSH sistemleri için çatı alanı, ilk yatırım maliyeti ve geri ödeme oranına dayalı genelleştirilmiş bir eşitlik geliştirerek, geri ödeme süresinin geniş bir parametre yelpazesinde modellenebileceğini ortaya koymuştur. AÇÜ özelinde yerleşkelerin yedi ayrı noktada coğrafi olarak dağıtık konumlanması ve bazı yerleşkelerde kullanıcı sayısının çatı alanına oranla düşük olması, geri ödeme sürelerinin görece uzun olmasının temel nedenleri arasında değerlendirilmektedir. Ardanuç (146,19 yıl), Şavşat (54,02 yıl) ve Arhavi (43,7 yıl) yerleşkelerinde geri ödeme sürelerinin oldukça uzun çıkması, bu yerleşkelerdeki kullanıcı sayısının az olması ve buna bağlı gri su üretiminin sınırlı kalmasından kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte, su birim fiyatlarındaki yıllık artış eğilimi ve sistemlerin uzun kullanım ömrü dikkate alındığında, özellikle Merkez, Seyitler, Borçka ve Hopa yerleşkelerinde ekonomik fizibilitenin uygun olduğu değerlendirilmektedir.

Tablo 15: AÇÜ ile Diğer Üniversite ve Sanayi Çalışmalarında Geri Ödeme Sürelerinin Karşılaştırması

Çalışma alanı	Sistem türü	Geri ödeme süresi (yıl)	Kaynak
AÇÜ Merkez Yerleşkesi	YSH + GYK	16,75	
AÇÜ Seyitler Yerleşkesi	YSH + GYK	16,44	
AÇÜ Borçka Yerleşkesi	YSH + GYK	14,52	
AÇÜ Hopa Yerleşkesi	YSH + GYK	14,6	
Bursa Uludağ Üniversitesi	YSH + GYK	6 – 8,8	Sevimli (2021)
DEÜ Tınaztepe Yerleşkesi	YSH	1,3 – 8,8	Gökbaş (2018)
Yalova Üniversitesi Müh. Fak.	YSH	6 – 13	Günaydın (2021)
Güney Hindistan Üniversitesi	YSH	8 – 13	Anchan vd. (2021)
Kayseri Sanayi Tesisi	YSH	6	Geben (2023)
Imbituba, Brezilya (konutlar)	YSH	9,3 – 19,7	Freitas ve Ghisi (2020)
Bangladeş — 6 büyük şehir	YSH	2 - 6	Bashar vd. (2018)

5. Sonuç ve Öneriler

Üniversite yerleşkeleri, geniş yapı alanları ve yoğun kullanıcı profili nedeniyle yüksek su tüketim potansiyeline sahiptir. İklim değişikliği ve artan kuraklık riski, yerleşke ölçeğinde alternatif su kaynaklarının değerlendirilmesini stratejik bir zorunluluk haline getirmiştir. AÇÜ yerleşkelerinde gerçekleştirilen bu çalışmada YSH ve GYK potansiyeli analiz edilmiş; elde edilen su miktarlarının yeşil alan sulama ihtiyacını karşılama düzeyi araştırılmıştır. Bulgular, sistemlerin önemli ölçüde su tasarrufu sağlayabildiğini; ancak her yerleşkenin yapısal özellikleri, kullanıcı yoğunluğu ve topografik yapısına bağlı olarak farklı potansiyellere sahip olduğunu göstermiştir. Artvin ili yıllık yağış bakımından Türkiye ortalamasının üzerinde yer almasına rağmen, iklim değişikliği kaynaklı düzensiz yağış rejimleri ve yaz kuraklıklarının artması, alternatif su yönetim sistemlerinin önemini artırmaktadır. Bu durum özellikle yaz döneminde sulama suyu ihtiyacının arttığı üniversite yerleşkelerinde entegre sistemlerin stratejik önem taşıdığını göstermektedir.

Analizlere göre toplam 45.803 m² çatı alanından yıllık 22.854 m³ yağmur suyu ve 649,34 m³/gün (237.254 m³/yıl) gri su potansiyeli belirlenmiştir. Entegre sistem ile Merkez, Hopa, Arhavi ve Şavşat yerleşkelerinde sulama ihtiyacı tamamen karşılanabilirken; Seyitler, Borçka ve Ardanuç yerleşkelerinde bu oran %49–72 aralığında kalmaktadır. Ekonomik değerlendirmeler, sistemlerin yıllık yaklaşık 76.935 m³ su tasarrufu ve 1.565.902 TL ekonomik kazanç sağlayabileceğini göstermiştir. Toplam yatırım maliyeti 26.667.135 TL olan sistemlerin geri ödeme süreleri yerleşkelere göre 14–17 yıl arasında değişmektedir. Bu geri ödeme aralığı, benzer iklim ve yapı ölçeğindeki uluslararası çalışmalarla uyumlu olup sonuçların evrensel düzeyde tutarlı ve karşılaştırılabilir olduğunu göstermektedir. Ayrıca su birim fiyatlarındaki artış ve sistemlerin uzun kullanım ömrü dikkate alındığında ekonomik fizibilitenin uygun olduğu değerlendirilmiştir.

Elde edilen veriler gri su potansiyelinin yağmur suyu potansiyeline kıyasla daha yüksek olduğunu göstermiştir. Bunun temel nedeni, gri su oluşumunun doğrudan kullanıcı yoğunluğuna bağlı olması ve yıl boyunca süreklilik göstermesidir. Buna karşılık yağmur suyu hasadı mevsimsel yağış değişkenliğinden etkilenmektedir. Bu durum, özellikle kullanıcı yoğunluğu yüksek üniversite kampüslerinde gri su sistemlerinin daha stabil ve sürdürülebilir bir alternatif sunduğunu ortaya koymaktadır.

Sonuçlar, entegre YSH ve GYK uygulamalarının şebeke suyu tüketimini ve atık su yükünü azalttığını; üniversitelerin çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sunduğunu göstermektedir. Artan kuraklık riski bağlamında bu sistemler su güvenliği açısından stratejik nitelik taşımaktadır. Bununla birlikte çalışmada kullanılan hesaplamalar teorik potansiyeller üzerinden gerçekleştirilmiştir. Buharlaşma kayıpları, ilk yıkama kayıpları, kullanıcı davranışları, bakım eksiklikleri ve sistem verim düşüşleri hesaplamalara dahil edilmemiştir. Bu nedenle saha uygulamalarında elde edilecek gerçek verimlerin daha düşük olabileceği değerlendirilmektedir.

Uygulama açısından, sistemlerin öncelikle geri ödeme süreleri kısa olan Merkez, Seyitler, Borçka ve Hopa yerleşkelerinde pilot uygulama olarak başlatılması, ardından elde edilen deneyim doğrultusunda diğer yerleşkelere yaygınlaştırılması önerilmektedir. Yağmur ve gri suyun ayrı depolanıp ortak dağıtım sistemiyle kullanılması işletme kolaylığı sağlayacaktır. Depo hacimleri mevsimsel yağış değişkenliği dikkate alınarak optimize edilmelidir. Gri suyun kirlilik yükü yüksek olduğundan, sulamada kullanılabilmesi için biyolojik arıtma, filtrasyon ve dezenfeksiyon süreçleri uygulanmalı; gerekli durumlarda ters ozmoz entegrasyonunun değerlendirilmesi önerilmektedir.

Kurumsal ölçekte, su tasarrufu hedeflerinin "Yeşil Yerleşke" stratejisi ile entegre edilmesi ve sistem performansının akıllı sayaçlar ve sensör teknolojileriyle izlenmesi önem taşımaktadır. Yeni yapılarda yağmur suyu hasadı ve gri su geri kazanımına uygun tasarımların tercih edilmesi, damla sulama yaygınlaştırılması ve 23 Ocak 2021 tarihli Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği kapsamındaki yağmur suyu toplama zorunluluğunun etkin biçimde uygulanması sistemlerin yaygınlaşmasına katkı sağlayacaktır.

Gelecek çalışmalarda iklim değişikliği senaryolarına dayalı performans modellemeleri, yaşam döngüsü analizi ve karbon ayak izi hesaplamaları yapılmalıdır. Farklı iklim bölgelerindeki üniversitelerde benzer çalışmalar yürütülerek ulusal ölçekte sürdürülebilir yerleşke su yönetimi stratejisi geliştirilmesi önerilmektedir. Ayrıca kamu destek mekanizmalarının güçlendirilmesi ve yağmur suyu toplama zorunluluğunun etkin uygulanması yaygınlaştırmayı hızlandıracaktır.

Sonuç olarak, bu çalışma YSH ve GYK sistemlerinin teknik, ekonomik ve çevresel açıdan uygulanabilir olduğunu ortaya koymuş; üniversite yerleşkelerinin iklim değişikliğine karşı dirençli ve su verimli yapılara dönüşümünde önemli bir araç olduğunu göstermiştir.

Kaynaklar

- AÇÜ (2024). Artvin Çoruh Üniversitesi Faaliyet Raporu. [https://www.artvin.edu.tr/uploads/.../A%C3%87%C3%9C%202024%20Y%C4%B1%C4%B1%20%C4%B0dare%20Faaliyet%20Raporu%20\(1\).pdf](https://www.artvin.edu.tr/uploads/.../A%C3%87%C3%9C%202024%20Y%C4%B1%C4%B1%20%C4%B0dare%20Faaliyet%20Raporu%20(1).pdf)
- Albalawneh, A., & Chang, T. K. (2015). Review of the greywater and proposed greywater recycling scheme for agricultural irrigation reuses. *International Journal of Research-Granthaalayah*, 3(12), 16-35.
- Anchan, S. S., & Prasad, H. S. (2021). Feasibility of roof top rainwater harvesting potential-A case study of South Indian University. *Cleaner Engineering and Technology*, 4, 100206.
- Belir Baykal, B. (2018, Aralık 11-14). Gri su ve kentsel kullanımı üzerine bir değerlendirme [8]. Uluslararası Kent ve Sağlık Kongresi, Bursa, Türkiye.
- Bashar, M. Z. I., Karim, M. R., & Imteaz, M. A. (2018). Reliability and economic analysis of urban rainwater harvesting: A comparative study within six major cities of Bangladesh. *Resources, Conservation and Recycling*, 133, 146-154.
- Bilgin, A. (2015). An assessment of water quality in the Coruh Basin (Turkey) using multivariate statistical techniques. *Environmental monitoring and assessment*, 187(11), 721.
- Bilgin, A. (2018). Evaluation of surface water quality by using Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI) method and discriminant analysis method: a case study Coruh River Basin. *Environmental monitoring and assessment*, 190(9), 554.
- Bilgin, A. (2020). Trophic state and limiting nutrient evaluations using trophic state/level index methods: a case study of Borçka Dam Lake. *Environmental monitoring and assessment*, 192(12), 794.
- Dadhich, G., & Mathur, P. (2016). A GIS based analysis for rooftop rain water harvesting. *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, 7(4), 129-143.
- Değirmenci, C. (2023). Üniversite yerleşkesinde gri suyun yeniden kullanımı ve yağmur suyu hasadı potansiyelinin araştırılması. [Yüksek lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- DIN. (1989). Rainwater harvesting systems: planning, installation, operation and maintenance. Deutsches institut für normung 1989 (Working Paper No. 34).
- Eren, B., Aygün, A., Likos, S., & Damar, A. I. (2016, November). Yağmur suyu hasadı: Sakarya Üniversitesi Esentepe kampüsü örneği. In *4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science (ISITES2016)* 3-5 Nov 2016 Alanya/Antalya-Turkey.
- Freitas, D. A., & Ghisi, E. (2020). Economic feasibility analysis of rainwater harvesting: a case study in Imbituba, Brazil. *Urban Water Journal*, 17(10), 905-911.
- Friedler, E., & Hadari, M. (2006). Economic feasibility of on-site greywater reuse in multi-storey buildings. *Desalination*, 190(1-3), 221-234.
- Geben, M. (2023). Yağmur suyu toplama sistemi tasarımı ve yağmur suyunun kullanımı: sektörel uygulama örneği. [Yüksek lisans tezi, Erciyes Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Ghisi, E., & de Oliveira, S. M. (2007). Potential for potable water savings by combining the use of rainwater and greywater in houses in southern Brazil. *Building and Environment*, 42(4), 1731-1742.
- Gökbaş, E.Ç. (2018). Yağmur suyu yönetim uygulamalarının değerlendirilmesi: Dokuz Eylül Üniversitesi Tınaztepe Yerleşkesi örneği.

- [Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Günaydın, H. (2021). *Yeşil bina hedefine yönelik yağmur suyu hasat sistemi tasarımı: Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi örneği*. [Yüksek lisans tezi, Yalova Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Imteaz, M. A., Bayatvarkeshi, M., & Karim, M. R. (2021). Developing generalised equation for the calculation of payback period for rainwater harvesting systems. *Sustainability*, 13(8), 4266.
- Kalıpcı, E., Başer, V., & Genç, N. (2021). Coğrafi bilgi sistemi kullanarak yağmur suyu hasadının değerlendirilmesi: Giresun Üniversitesi kampüs örneği. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 10(1), 49-58.
- Kutlu, S., Şentürk, İ., & Büyükgüngör, H. (2017). Alanya ilçesinde seçilen pilot bölge için gri su potansiyelinin belirlenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(2), 580-589.
- Manikandan, M., Ranghaswami, M. V., & Thiagarajan, G. (2011). Estimation of Rooftop Rain Water Harvesting Potential by Water Budgeting Study. *International Journal of Finance & Economics*, 2(1), 36-41.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2024). *Resmi istatistikler: Illerimize ait genel istatistik verileri*. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=ARTVIN>.
- Ndiritu, J., Ilemobade, A., & Kagoda, P. (2018). Guidelines for rainwater harvesting system design and assessment for the city of Johannesburg, South Africa. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 379, 409-414.
- Öktem, U., & Aksoy, A. (2014). Türkiye'nin su riskleri raporu. WWF-Türkiye, *Ofset Yapımevi*.
- Resmî Gazete. (2021, 23 Ocak). *Planlı Alanlar İmar Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik* (Sayı: 31373). T.C. Cumhurbaşkanlığı.
- Sevimli, A. (2021). *Sürdürülebilir yağmur suyu yönetimi uygulamaları: Bursa Uludağ Üniversitesi Görükle Kampüsü örneği*. [Yüksek lisans tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Şahan, B. (2022). *Sürdürülebilir su yönetimi kapsamında yağmur suyu ve gri su arıtma esasları ve maliyet analizlerinin araştırılması*. [Yüksek lisans tezi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Şimşek, A., & Demir, G. (2023). Yağmur suyu hasadının Ondokuz Mayıs Üniversitesi kütüphane binasında uygulanabilirliğinin araştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (52), 176-182.
- Taşçı, H. (2021). *Economic analysis of water storage by rainwater harvesting technique at Izmir Kâtip Celebi*. [Master's thesis, İzmir Kâtip Celebi University]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- TÜİK, Türkiye İstatistik Kurumu. (2022). <https://www.suvecevre.com/edergi/19/186/43/>