

**To cite this article:** Mermi, G., Diri, A.C., Özel, Y. (2024). Yeraltı Metro Projeleri İstasyon Yapılarına Ait Kabuk Sistem Detaylarının Su Yalıtımı Sorunları Açısından İncelenmesi. International Journal of Social and Humanities Sciences (IJSHS), 8(3), 169-188

**Submitted:** October 03, 2024

**Accepted:** December 29, 2024

## **YERALTI METRO PROJELERİ İSTASYON YAPILARINA AİT KABUK SİSTEM DETAYLARININ SU YALITIMI SORUNLARI AÇISINDAN İNCELENMESİ**

Gökhan Mermi<sup>1</sup>

Ahmet Cüneyd Diri<sup>2</sup>

Yaprak Özel<sup>3</sup>

### **ÖZET**

Yüzey ve yeraltı suları, yeraltı metro yapılarının sürdürülebilirliği ve kullanım ömrünün belirlenmesinde en önemli unsurlar arasındadır. Tüneller ve istasyon yapılarından oluşan bu ulaşım projelerinin su ile olan etkileşimlerindeki temel prensip, yapı kabuğundaki yalıtım ve sistem detayları ile maruz kalınan suyun en hızlı ve etkin şekilde yapıdan uzaklaştırılmasının sağlanmasıdır. Bu çalışmada, “Konkors Yapısı” (Aç-Kapa Yapısı) olarak da adlandırılan, yeraltı metro projelerinin istasyon yapılarında yaşanan su yalıtımı sorunları ve bu sorunların hangi sistem detaylarıyla ortadan kaldırılmaya çalışıldığı incelenmektedir. Bu kapsamda İstanbul’da tamamlanan 4 metro projesine ait 4 farklı istasyon yapısının kabuğundaki su yalıtımı uygulamaları ve buna bağlı olarak ortaya çıkan sorunlar mercek altına alınmıştır. Tespit edilen sorunlar, istasyon yapısı kabuğunda uygulanan pvc membran, su tutucu membran, drenaj levhası, geosentetik kil örtü, perde duvar su kanalları, drenaj hatları, drenaj pompa havuzu, enjeksiyon ve sürme esaslı imalatlara ait sistem detayları incelenerek değerlendirilmiştir. Bu bağlamda mevcut sistemlerin hem yapı fiziği hem de yolcu konforu açısından avantajları ve dezavantajları ortaya konulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Metro, Yeraltı Metro İstasyonu, Su Yalıtımı

<sup>1</sup> İstanbul Nişantaşı Üniversitesi, Meslek Yüksek Okulu, İç Mekan Tasarımı, 34398, İstanbul, Türkiye.

E-mail: gokhan.mermi@nisantasi.edu.tr. ORCID: 0009-0003-8687-9035.

<sup>2</sup> Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 34427, İstanbul, Türkiye. E-mail: acdiri@gmail.com. ORCID: 0000-0001-8122-9568.

<sup>3</sup> İstanbul Nişantaşı Üniversitesi, Sanat ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık Bölümü, 34398, İstanbul, Türkiye. E-mail: yaprak.ozel@nisantasi.edu.tr. ORCID: 0000-0002-6439-4817.

## EXAMINATION OF SHELL SYSTEM DETAILS OF UNDERGROUND METRO PROJECTS STATION STRUCTURES IN TERMS OF WATERPROOFING PROBLEMS

### ABSTRACT

Surface and groundwater are among the most important factors in determining the sustainability and lifespan of underground metro structures. The basic principle in the interaction of these transportation projects, consisting of tunnels and station structures, with water is the method of ensuring that the exposed water is removed from the structure in the fastest and most effective way through the insulation and system details in the building shell. In this study, the waterproofing problems experienced in the station structures of underground metro projects, also called "Concourse Structure", or "Cut-Cover Structure", and the system details with which these problems are tried to be prevented or eliminated are examined. In this context, problems arising from the waterproofing applications and manufacturing of the shells of 4 different station structures belonging to 4 metro projects completed in Istanbul are observed. The detected problems are evaluated by examining the system details of PVC membrane, water retaining membrane, drainage plate, geosynthetic clay cover, curtain wall water channels, drainage lines, drainage pump pool, injection and coating based manufacturing applied on the station structure shell. In this context, the advantages and disadvantages of existing systems in terms of both building physics and passenger comfort are revealed.

**Keywords:** Subway, Underground Metro Station, Waterp Insulation

### GİRİŞ

Yüksek bütçeler ayrılarak inşası gerçekleştirilen metro ulaşım yapılarında su yalıtımı, (inşaat maliyetleri açısından büyük bir kalem oluşturmasa da) kullanım ömrünü belirleyen önemli parametrelerdendir. Metro ulaşım yapıları, optimum bakım ile, yaklaşık 100 yıllık bir işletme ömrü öngörüsüyle planlanarak tamamlanmaktadır.

Toprakta mevcut olarak bulunan veya dolaylı yollardan toprağa sızan su, su yalıtımı yapılmış bir yeraltı yapısıyla karşılaştığında zamanla yapının etrafında birikmeye başlayacaktır ve zemin suyu yapıya doğru itecektir. Bu durumda yeraltı yapısı sürekli olarak su basıncına maruz kalacaktır. Bu sebeple drenaj sisteminin

yalıtım sistemiyle uyum sağlaması ve sağlıklı bir şekilde çalışması elzemdir (Onat, 2016).

İstasyon yapısının betonarme kabuğu içerisine sızan su ve serbest oksijen, donatı ile girdiği kimyasal reaksiyona bağlı olarak donatıyı korozyona uğratmakta ve buna bağlı olarak taşıyıcı elemanların mukavemetini önemli ölçüde azaltmaktadır. Ayrıca su; beton agregasına sızarak mikro ölçekte hareket edebilmekte, özellikle sıfırın altındaki sıcaklıklarda donarak hacim kazanmakta ve segregasyona veya çatlamalara neden olmaktadır. Tüm bu yapısal sorunlar dışında, yeraltı metro yapılarına sızan su, küf ve mantar oluşumuna neden olarak hava kirliliğine yol açmakta ve yolcu konforu ve sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir.

Bu çalışmada su yalıtım detayları ve sorunları açısından incelenen metro projeleri ve istasyon yapıları şunlardır:

1.M2 Yenikapı-Hacıosman Metro Projesi, Taksim ve Gayrettepe İstasyonları.

2.M4 Kadıköy-Sabiha Gökçen Havalimanı Metro Projesi, Kozyatağı ve Yenisahra İstasyonları.

3.M6 Levent-Hisarüstü Metro Projesi, Levent ve Etiler İstasyonları.

4.M7 Kabataş-Mecidiyeköy-Mahmutbey Metro Projesi, Mecidiyeköy ve Fulya İstasyonları.

İncelemeler aç-kapa istasyon yapılarında ve bu yapıların yaya bağlantı tünellerindeki su yalıtımı ve su tahliye-yönlendirme yöntemleri kapsamında gerçekleştirilmiştir. Metro hatları ve istasyonlar arasındaki su yalıtımı ve önlemlere yönelik ilişkiler; yapım yılları, detay özömlenmeleri, kullanılan malzemeler incelenerek karşılaştırılmıştır. Yöntem olarak; sahada çekilen fotoğraflar kullanılmış ve elde edilen tespitler şekiller ve tablolar ile sunulmuştur.

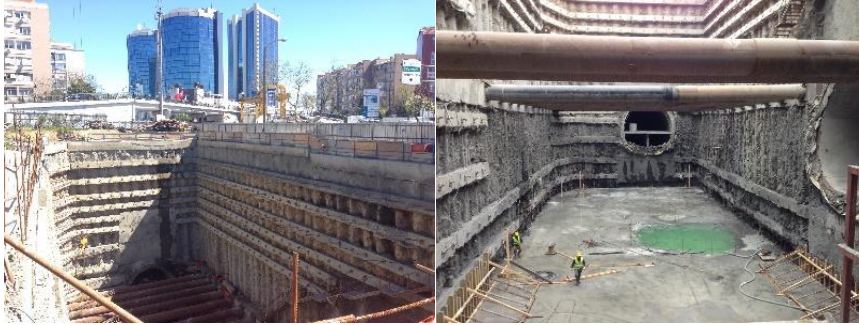
### **Yeraltı Metro İstasyon Yapılarında Su Yalıtımı Sorunlarının Sınıflandırılması**

Yüzey ve toprakaltı olarak iki farklı evre şartına maruz kalan yapının korunması ve uzun süreli kullanımı açısından bu iki farklı ortamdaki su etkilerine karşı gerekli yalıtım önlemlerinin alınması gerekmektedir.

1. Yapı ömrünü etkileyen öncelikli sorun; yüzey suları ile toprakaltı sularının, kazık-iksa veya betonarme perde duvar arasından sızarak; istasyon yapısı içerisine ulaşmasıdır. Bu soruna yol açan başlıca neden, uygun olmayan malzeme seçimi ve uygulama hatalarıdır.

2. Diğer bir sorun, su yalıtımına ilave önlem olarak kullanılan drenaj uygulamalarının doğru planlanamaması ve sistem detaylarının çözümlenememesi sonucunda yolcu konforu ile güvenliğinin riskli hale gelmesidir. Yapılan incelemelerde özellikle betonarme perde ve diyafram duvarlarının iç cephelerinde ve döşeme birleşimlerinde bu durumla ilgili olumsuz örneklerle karşılaşmıştır.
3. Yeraltı metro projelerinde toprakaltı ve yüzey sularının tüneller ve shaftlardan yapı içerisine sızması da muhtemel olumsuz senaryolardan birini oluşturmaktadır. Bu suların yine yapı içerisindeki drenaj çözümleri ve drenaj pompa çukuru (havuzu) gibi çözümler kullanılarak istasyon yapı kabuğunun dışına yönlendirilmesi gerekmektedir.
4. Yeraltı metro yapıları her ne kadar aç-kapa sistemiyle toprakaltı yapıları olarak kullanılsa da yaya girişleri yol/kaldırım kotunda gerçekleştiğinden, düşey sirkülasyon elemanları olan merdivenlerin su yalıtımları da önem kazanmaktadır. Merdiven ve/veya yürüyen merdiven altında kalan eğimli betonarme döşemelerde su yalıtımı önlemleri alınmaması durumunda istasyon yapısı içerisinde su sorunları oluşmaktadır.

**Şekil 1.** Levent-Hisarüstü Metro Projesi, Nispetiye Aç-Kapa (konkors) İstasyonu (Gökhan Mermi, 2013)



### **Su Yalıtımı Sorunlarına Göre İncelenecek İstasyon Yapıları Seçimi**

Yapılan seçimlerde giriş bölümünde belirtilen kriterler dikkate alınarak, İstanbul'da bulunan 4 farklı metro projesine ait 4 farklı istasyonun aç-kapa yapısında uygulanan su yalıtımı; sistem detayları, imalat yöntemi ve malzeme kullanımına göre değerlendirilerek karşılaştırma yapılmıştır.

İlk etabı 2000 yılında Taksim-Levent arası istasyonları olarak işletmeye açılan M2 metro projesinin ve günümüzdeki Yenikapı-Hacıosman metro hattına ait istasyon yapıları, ülkemizdeki modern hafif metro projeleri arasında su yalıtım çözümleri açısından ilk örneklerden olması sebebiyle seçilmiştir.

M2 metro projesinin tamamlanması sonrası hafif metro projelerinin yapımları devam etmiştir. Ancak 2015 yılında işletmeye açılan Levent–Hisarüstü metrosu yapımına kadar yalıtım uygulamaları açısından önemli farklılıklar bulunmamaktadır. Levent–Hisarüstü metro projesi, yalıtım bakımından farklı detay çözümleri içermesi nedeni ile seçilmiş ve incelenmiştir.

2023 yılında Mahmutbey-Yıldız istasyonları etabı tamamlanan ve 2025 yılında hattının tamamının hizmete açılması planlanan M7 Kabataş-Mecidiyeköy-Mahmutbey metro projesi, en güncel hafif metro projelerinden olması, su yalıtımı sorunları ve detay çözümleri açısından geçmiş uygulamalardan edinilen tecrübeler ile revizyonların değerlendirilmesini de içermesi sebebiyle karşılaştırmak için seçilmiştir.

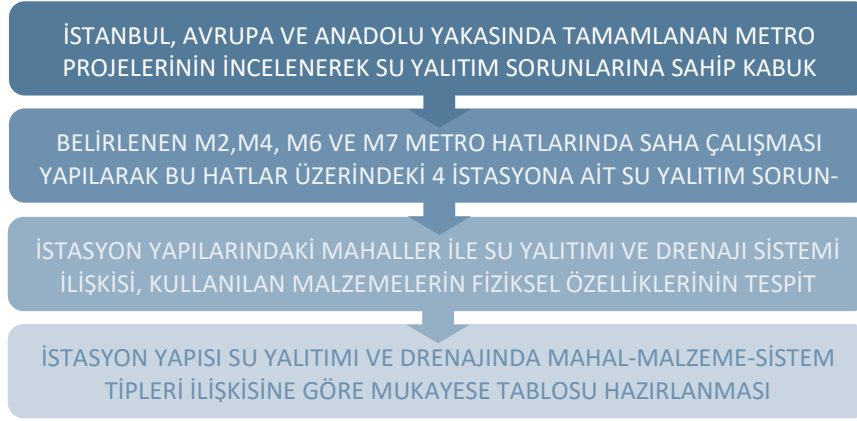
Bu istasyonların özellikle seçilmesindeki nedenler arasında; İstanbul ve hatta Türkiye’deki hafif metro ağının işletme kronolojisindeki tasarım ve uygulanma yöntemlerindeki kırılmalar, malzeme üretim teknolojisi ve bütçesel değişkenlere bağlı sistem detayı revizyonları, benzer, farklı ve sorunsal deneyimine bağlı iyileştirilen uygulamaların mukayese edilebilirliği gibi faktörler yer almaktadır.

## **MATERYAL VE YÖNTEM**

Çalışma kapsamında, İstanbul’da konumlanmış ve yapımı tamamlanmış 4 metro projesine ait 8 istasyon yapısının kabukları ile döşeme, duvar, tavan kaplama sistem detayları - malzeme ilişkileri ve su yalıtımı sorunları karşısında detay çözümlerine teknikleri karşılaştırılmış, tablolar, grafikler ve görseller ile birlikte sunulmuştur. Bu sayede tasarım ve malzeme seçimlerine bağlı olarak yapının kullanım ömrü ve kullanıcı sağlığı-konforu bakımından olumlu ve olumsuz yönler ortaya konmuştur.

Yerinde gözlem ve incelemelerden oluşan saha çalışması ve yapılan ön değerlendirmelerin sonucunda metro projelerinin belirlenmiş, bu projeler arasında su yalıtımı sistem kesit detayları, uygulama yöntemleri ve işletme sürecinde ortaya çıkan sorunlara göre istasyonlar belirlenmiş, analizleri ve değerlendirmeleri yapılmıştır. Yeraltı raylı sistem istasyon yapılarına ait yalıtım detayları ve tespit edilen yalıtım sorunlarına istinaden, kullanılan çözümlerin 4 ayrı metro projesinde incelenerek değerlendirilmesi yöntemi uygulanmıştır. Şekil 2’deki tabloda araştırma planlaması bir akış grafiği ile özetlenmiştir.

## Şekil 2. Araştırma planlaması akış grafiği



## BULGU VE TARTIŞMALAR

### Seçilen İstasyonların Su Yalıtımı Sorunu Tespitleri ve İyileştirme Yöntemleri

Yoğun nüfuslu İstanbul şehrinin iç sirkülasyon ve ulaşımında en önemli avantajlı çözümlerden biri olan yer altı metro projelerinin hızlı ve güvenilir olması dışında özellikle istasyon yapılarının yolcu konforu açısından da uzun ömürlü olması gerekmektedir. İstasyon yapılarında konforu etkileyen önemli unsurlardan biri de kısa veya uzun sürede ortaya çıkacak problemlere karşı yapılan su yalıtımı çözümleridir. Yolculara yansiyabilecek olumsuzluklar arasında nem, küf, mantar ve bunların sonucunda oluşan rahatsız edici kokulara maruz kalma, tavandan damlayarak veya sızarak inen su akıntıları veya zeminden gelen suların yol açtığı su birikintileri nedeniyle kayma ve düşme tehlikesi gibi durumlar yer almaktadır. Dolayısıyla kullanıcı konforu ve güvenliği etkilenmektedir. Yolcular açısından ortaya çıkan bu olumsuz sonuçlar; yapının kullanım ömrünün olumsuz yönde etkilenmesi bakımından da ciddi bir tehdit oluşturmaktadır.

Yapım sırasında önceden ön görülemeyen ve ancak uygulama aşamasında karşılaşılan suların neden olduğu yalıtım problem çözümlerinin bazıları, mevcut çözüme ek olarak geliştirilen iyileştirici uygulamalarla giderilmekte; bazı durumlarda ise üretimlerin yenilenmesi gerekliliği doğmaktadır. Tüm bu önlemlere rağmen yapının tamamlanması sonrasında ortaya çıkan, özellikle işçilik temelli nedenlerden kaynaklandığı tespit edilen bazı su yalıtım problemleri için ise özel önlemler alınmakta ve uygulanmaktadır. Bahsi geçen önlem ve uygulamalara, projelerin sözleşme eklerinde yer alan ve teknik şartnamelerde belirtilmiş malzeme ve çözümler çerçevesinde, istasyon yapıları incelemeleri, kısmında değinilmiştir.



## M2 Metro Projesi Taksim ve Gayrettepe Metro İstasyonları Su Yalıtım Sorunu Tespitleri

2000 yılında yapımı tamamlanan M2 Taksim-4.Levent Metro Hattı, raylı sistem toplu taşıma ulaşımı bakımından İstanbul'un ilk hafif metro projesidir ve bu çalışma kapsamında kronolojik olarak incelenen ilk örnektir. Bu proje kapsamında yer alan ve su yalıtım uygulama çözümleri bakımından önceki uygulamalara göre farklı yapım yöntemlerinin kullanılması nedeniyle hat üzerindeki Taksim ve Gayrettepe İstasyonları ele alınmıştır. Taksim İstasyonu'na erişim daha çok bağlantı tünelleri vasıtasıyla sağlanırken, Gayrettepe İstasyonu'na ise bir aç-kapa yapısı vasıtasıyla erişim sağlanmaktadır.

Bu metro istasyonlarının yapım yöntemleri arasındaki fark, yalıtım malzemelerinin uygulama yöntemlerini ve işçilik kalitelerini de etkilemektedir. Bununla birlikte her ne kadar yalıtımın katman tipleri benzer olsa da tüp yapılarının eğriselliği işçiliği zorlaştırmaktadır. Ayrıca yer altındaki jeolojik yapı da dikkate alınarak kazı-iksa imalatları ile bütçesel kısıtlar da istasyonun inşa sürecindeki yalıtım çözümleri bakımından belirleyici olmaktadır.

Yaklaşık 23 yıldır aktif olarak yolcu kullanımında olan hattın Taksim ve Gayrettepe Metro İstasyon yapılarındaki yalıtım sorunları incelendiğinde; her iki istasyonda da benzer yalıtım problemleri görüldüğü tespit edilmiş ve bu problemler ile sonradan geliştirilen çözümler uygulanmış ve önlemler alınmıştır. Aç-kapa yöntemiyle uygulanmış perde duvarlar ve tünel cidarlarında su sızıntıları tespit edilmiştir. Bu sızıntılar genellikle alüminyum levha kaplamalı mekanik duvar arkasında kaldığından yolcular tarafından fark edilememektedir. Çözüm olarak betonarme duvarlardan sızan suların, döşemede mekanik kaplama altına tasarlanan prekast su kanalları vasıtasıyla tahliye edildiği gözlemlenmiştir. Şekil 3'de görüldüğü üzere kanallarda kimi zaman yoğun kireçli su akıntılarına rastlanmıştır.

Yine tavanlarda uygulanan alüminyum metal kaplamaların korozyona uğraması ve yolcu güvenliği açısından tehlike yaratması sebebiyle söküldüğü tespit edilmiştir. Bu kaplamalar yerine, günümüz modern mimari tasarımının bir parçası olan havalandırma kanalları ve elektrik tavalarının kullanıldığı, açık ve müdahale edilebilir tavan tipine geçilerek iyileştirilme yapılmıştır.

### Şekil 3. M2 Metro Projesi, Taksim ve Gayrettepe Metro İstasyonları Su Yalıtımı Sorunları (Gökhan Mermi)



### M4 Metro Projesi Kozyatağı ve Yenisahra Metro İstasyonları Su Yalıtımı Sorunu Tespitleri

Yapım kronolojisine göre ikinci olarak incelenen metro projesi, ilk etabı 2012 yılında Kadıköy-Kartal hattı olarak hizmete açılan İstanbul'un Anadolu Yakası hafif metro projesidir. Proje 2016 yılında Tavşantepe'ye kadar, 2022 yılında ise Sabiha Gökçen Havalimanı'na kadar uzatılarak günümüzdeki halini almıştır. Hat üzerindeki istasyonlarda gerçekleştirilen imalat yöntemleri, her ne kadar konvansiyonel yöntemler olsa da mimari tasarım açısından ele alındığında İstanbul'daki diğer istasyon yapılarına göre farklılık göstermektedir. Bu farklılıklar en çok düşey sirkülasyonlar, yani merdivenler ve merdivenler arası kat hollerinde görülmektedir. Tünel yapısına sahip sirkülasyon hacimlerinde püskürtme beton (shotcrete) imalatı yapılmış ve üzerine herhangi bir yüzey kaplama malzemesi uygulanmamıştır.

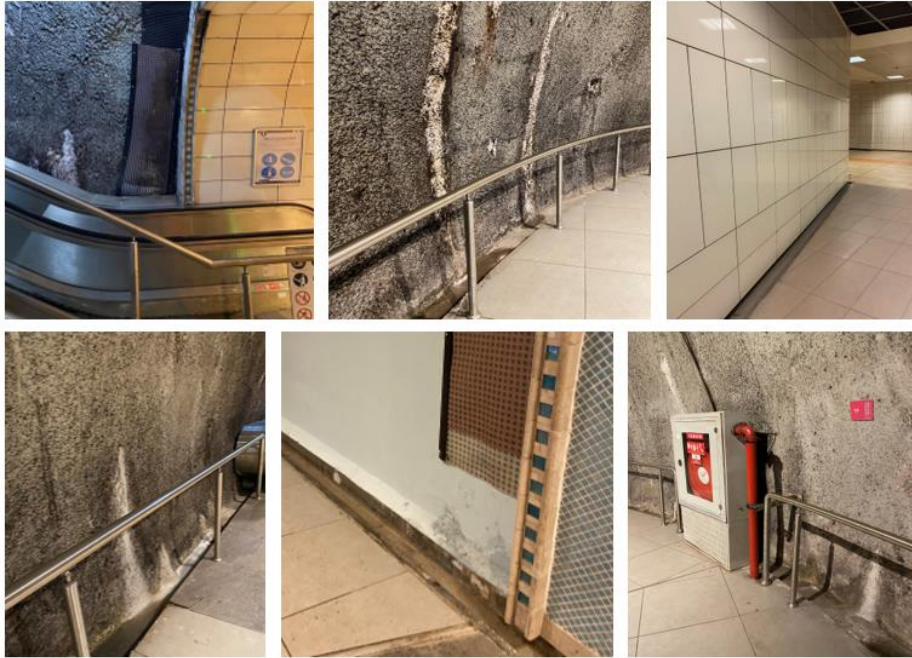
Püskürtme beton kaplama hem geçici, hem de sürekli yapılarda sıkça kullanılan bir kaplama çeşididir. Püskürtme beton ile kazı yüzeyindeki boşluk ve çatlaklar doldurularak esnek bir yüzey tabakası oluşturulmaktadır. Sürekli uygulamalarda ise bir kafes donatı ya da kaynaklı bir çelik ağ ile takviye edilmektedir. Püskürtme



beton kalınlığı 10-25 cm arasında değişebilmektedir. Geçici uygulamalar hem ha-sır çelik donatı, hem de fiber takviye kullanılarak yapılabilmektedir.

Yaklaşık 11 yıldır işletmesi devam eden hattın Kozyatağı ve Yenisahra istasyon yapılarındaki yalıtım sorunları incelendiğinde; her iki istasyonda da benzer uygulamalar ve problemler görülmüştür. Aç-kapa yapısına ait perde duvarlarda, mekanik seramik kaplama altından kayda değer bir su sızıntısına rastlanmamıştır. Ancak püskürtme beton üretimlerinde su sızıntıları ve buna bağlı kireç, küflenmeler tespit edilmiştir. Bu sızıntıların püskürtme beton üzerinden genellikle enjeksiyon yöntemiyle engellenmeye ve yönlendirilmeye çalışıldığı gözlemlenmiştir. Yine perde, diyafram duvar imalatlarında olduğu gibi prekast su kanalları vasıtasıyla suyun drenajının sağlandığı tespit edilmiştir. Şekil 4’de görüldüğü üzere kanallarda kimi zaman yoğun kireçli su akıntılarına rastlanmıştır. Ayrıca görsel olarak pek tatmin edici olmasa da, suyun düşey olarak yönlendirilmesinde püskürtme beton ve betonarme perde üzerlerinde yama niteliğinde drenaj levha uygulamalarının yapıldığı gözlemlenmiştir.

**Şekil 4.** M4 Metro Projesi, Kozyatağı ve Yenisahra Metro İstasyonları Su Yalıtım Sorunları (Gökhan Mermi)



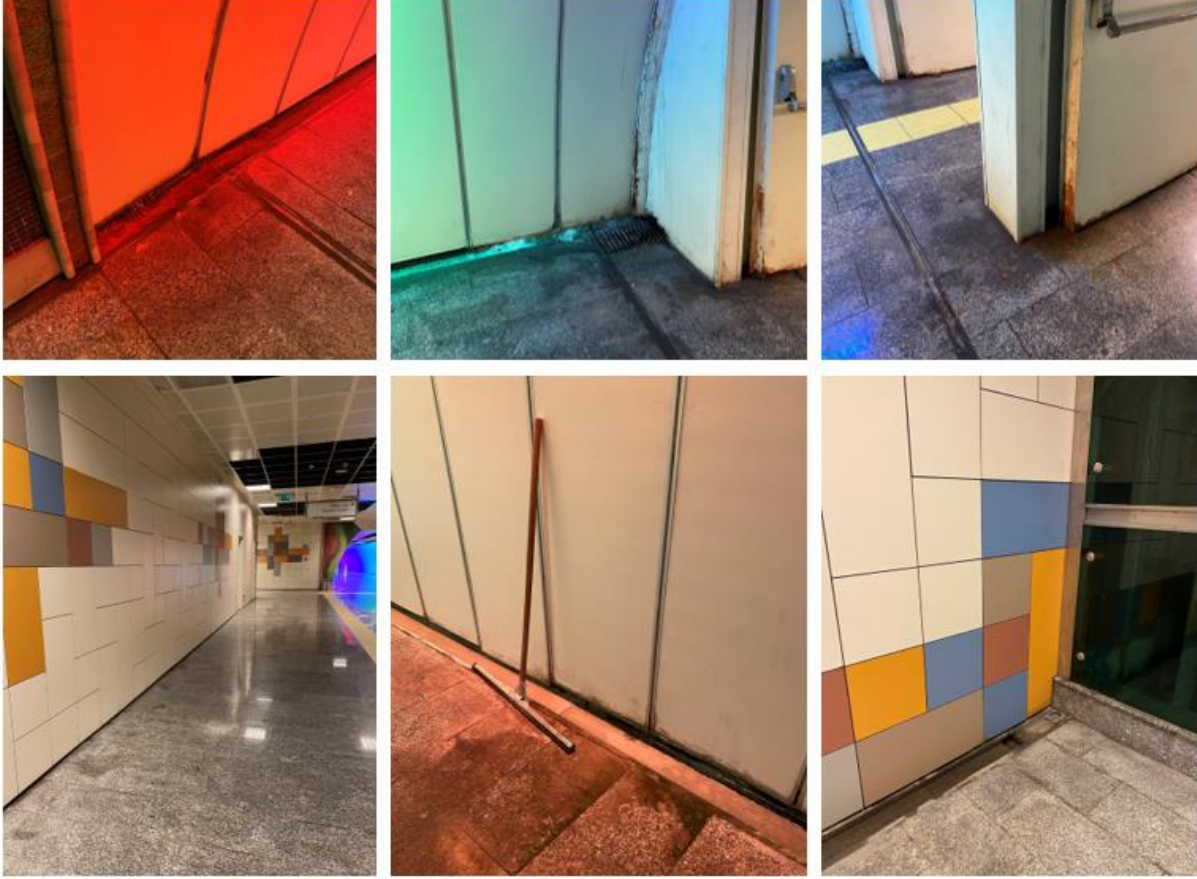
## **M6 Metro Projesi Etiler ve Levent Metro İstasyonları Su Yalıtımı Sorunu Tespitleri**

2015 yılında hizmete açılan Levent-Boğaziçi Üniversitesi (Hisarüstü) Metro Hattı, özgün mimari tasarımı ile İstanbul'un diğer metro projesi uygulamalarından ayıran butik bir hattır. Hattın Hisarüstü tarafındaki son istasyonundan, 2022 yılında hizmete giren Aşıyan füniküler projesi ile deniz seviyesine (İstanbul Boğazı'na) entegrasyonu yapılmıştır. Levent-Hisarüstü Metro Projesi'nde gerçekleştirilen dönemin yenilikçi üretimleri, tasarım bağlamı dışında, su yalıtım uygulamaları açısından da ön plana çıkmaktadır. Alınan önlemler arasında, geçmişte (ilgili proje gerçekleşene kadar) yaşanan kötü tecrübelerden edinilen deneyimler neticesinde iyileştirici uygulamalar sayılabilir. Bu projede alınan bazı su yalıtım uygulamaları, sonraki metro projeleri uygulamaları için öncü bir çözüm oluşturmuş ve hatta daha eski işletmeye alınan hatlarda da kullanılmaya başlanmıştır. Ancak tüm bu gelişmelere karşın, projedeki işçilik hataları sebebiyle meydana gelen su yalıtım sorunları gözlemlenmiştir.

Yapının perde duvarlarında önemli bir problem tespit edilmemiştir. Ancak istasyon yapısı ile hat tüneli arasındaki ilişkiyi sağlayan bağlantı tünellerindeki su yalıtım sorunları nedeniyle yolcuların konforu ile güvenliği ile beraber yapının kullanım ömrü olumsuz etkilenmektedir.

Yaklaşık 8 yıldır işletmesi devam eden hattın Etiler ve Levent istasyon yapılarındaki su yalıtım sistemleri incelendiğinde; her iki istasyonda da benzer uygulamalar ve beraberinde gelen sorunlar görülmüştür. İstasyon yapısına ait perde duvarlarda, seramik yüzey kaplaması altından kayda değer bir su sızıntısına rastlanmamıştır. Ancak istasyon yapısı ile hat tüneli arasındaki geçişi sağlayan bağlantı tünellerinde su sızıntıları ve buna bağlı kireçlenme ile küflenmeler gözlemlenmiştir. Bu sızıntılar prekast su kanalları vasıtasıyla yönlendirilmeye çalışılsa da bazı mahallerde süzgeçlerin tıkanması nedeniyle drenajın sağlanamadığı tespit edilmiştir. Şekil 5'de görüldüğü üzere kanallarda kimi zaman yoğun kireçli su akıntılara rastlanmıştır. Bu projedeki en önemli iyileştirmelerden biri, özellikle bağlantı tünellerindeki soğuk derzlerden sızan suyun yatay-düşey olarak yönlendirilmesinde kullanılan sinterflex yüzey kaplaması arkasından drenaj levha uygulamasıdır.

### Şekil 5. M6 Metro Projesi, Etiler ve Levent Metro İstasyonları Su Yalıtımı Sorunları (Gökhan Mermi)



### M7 Metro Projesi Mecidiyeköy ve Fulya Metro İstasyonları Su Yalıtımı Sorunu Tespitleri

2020 yılında ilk etabı hizmete açılan İstanbul, Avrupa Yakası'nın ilk sürücüsüz metro projesi Kabataş-Mecidiyeköy-Mahmutbey Metro Projesi'nin 2025 yılına kadar yapımının tamamlanması beklenmektedir. Bu çalışma kapsamında kronolojik olarak incelenen son örnektir. Aynı zamanda hizmete açılan en yeni projelerden biridir. Dolayısıyla geçmiş deneyimler ve su yalıtım sorunlarının değerlendirilmesi açısından da önemli bir örnektir. Bu projede su yalıtımı ve drenajı açısından farklı denemeler ve uygulamaların yapıldığı gözlemlenmiştir.

İlk incelemelerde hattın Mecidiyeköy bağlantı istasyonu yapısı ile Yıldız ve Fulya istasyonları arasında su yalıtımı bakımından farklılıklar bulunduğu gözlemlenmiştir. Bu farklı uygulamaların suyun drenajı konusunda alternatif bir çözüm oluşturmada fayda sağlayamadığı gözlemlenmiştir.



Yaklaşık 1 yıldır işletmesi devam eden hattın istasyon yapılarındaki yalıtım sorunları incelendiğinde; Mecidiyeköy İstasyonu'na yeni entegre edilen Fulya İstasyonu'nda gerekli tedbirlerin alındığı tespit edilmiştir. Yer altı metro projelerinin istasyon yapılarında aç-kapa yöntemiyle yapılan perde duvarlardan çok, tünel cıdarlarında su sızıntıları tespit edilmiştir. Bu sızıntıların yönlendirilmesi ve hızlı tahliyesi için ilk kez bu projenin Mecidiyeköy İstasyonu'nda döşemede epoksi esaslı drenaj kanalı uygulaması yapılmıştır. Bu yeni imalat yönteminde kireç, küf ve mantar oluşumu etkisi görsel olarak daha çok dikkat çekmektedir. Bu nedenle Fulya ve Yıldız istasyonlarında yine konvansiyonel olan prekast kanal imalatı gerçekleştirildiği gözlemlenmiştir. Ayrıca yine soğuk derz birleşimlerinde, Levent-Hisarüstü Metro Projesi'nde kullanılmaya başlanılan drenaj levhası kaplama uygulamasının yapıldığı görülmektedir. (bkz. şekil 6) Projede ayrıca ilk kez hem istasyon yapılarının hem de bağlantı tünellerinin tavanlarında su itici özellikli siyah cam tülü kaplamalı taş yünü kullanıldığı gözlemlenmiştir. Böylece tavanda görülebilecek su yalıtım sorunlarının kamufle edilmesi ile beraber malzemenin ses yutma özelliğinden de faydalanılmak istendiği düşünülmektedir.

**Şekil 6.** M7 Metro Projesi, Mecidiyeköy ve Fulya Metro İstasyonları Su Yalıtımı Sorunları (Gökhan Mermi)



## Metro Projelerinde İstasyonların Su Yalıtımı Uygulamalarında Karşılaşılan Sistem Detayı Sorunları ve Önlemleri

Yüzey ve yeraltı suları, yeraltı metro yapılarının sürdürülebilirliği ve kullanım ömrünün belirlenmesinde en önemli unsurlar arasındadır. Tüneller ve istasyon yapılarından oluşan bu ulaşım projelerinin su ile olan etkileşimlerindeki temel prensip, yapı kabuğundaki yalıtım ve sistem detayları ile maruz kalınan suyun en hızlı ve etkin şekilde yapıdan uzaklaştırılmasının sağlanmasıdır. Bu alt yapının oluşturulmasında karşılaşılan ve/veya yolcu kullanımına sunulduktan sonra ortaya çıkan olumsuz sonuçların hangi sistem detaylarıyla önlemler alındığı aktarılmaktadır.

2014 yılında tamamlanan M6 Metro Projesi saha incelemelerinde tespit edilen istasyon içerisinde yolcular açısından da gözlemlenebilen; ince iş imalatlarına yansarak sorunlara neden olan su yalıtım problemlerine değinilmiştir. Bu sebeplerden biri, Şekil 7’de de görülen pvc membran esaslı su tutucu bandın soğuk derz arasında istenilen verimlilikte suyu engelleyememesi nedeniyle dışarıdan müdahalede bulunulması gerekliliğidir. Bu gereklilikle derz üzerinde drenaj levha kaplama uygulaması yapılmıştır. Uygulamayla birlikte derzden sızabilecek olan suyun döşemede görülen prekast kanala tahliyesi sağlanmaktadır.

**Şekil 7.** M6 Metro Projesi, Soğuk derzlerde su tutucu membran üzeri drenaj levhası giydirme. (Gökhan Mermi)



Suyun tahliyesi ve yönlendirilmesi açısından prekast kanalların meyillerinin içerisinde açılan süzgeç delikleri yönünde ve yeterli açıda olması gerekmektedir. Bu uygulama çözümüne gidilmediği takdirde suyun döşeme kaplaması altına sızması



sonucunda su yalıtım tedbirlerine rağmen, istenmeyen bir sonuç meydana gelecektir.

**Şekil 8.** M6 Metro Projesi, Prekast drenaj kanallarında hatalı süzgeç aksı ve tıkalı süzgeç örneği.(Gökhan Mermi)



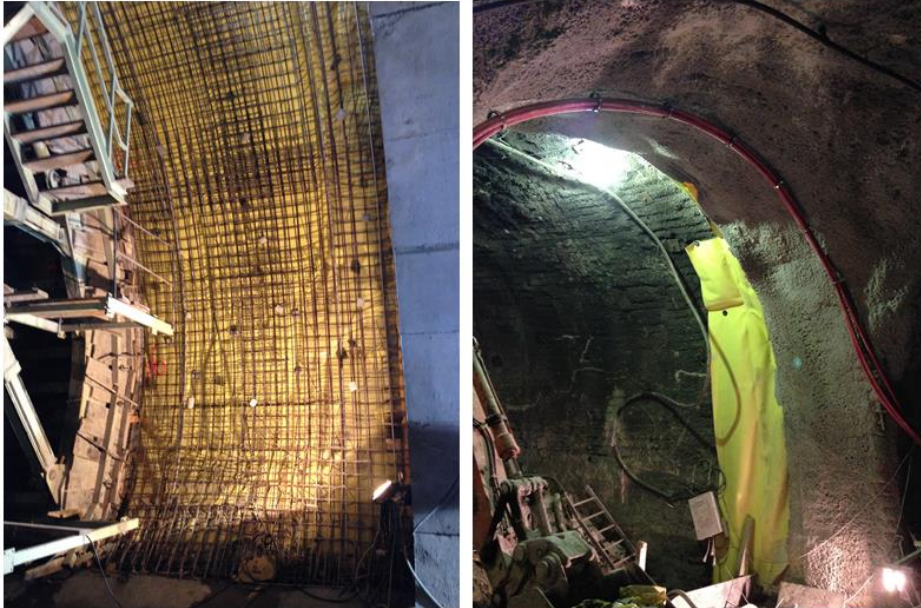
İstisnalar dışında yer altı metro projelerinin, istasyon yapısına yolcu girişleri düşey sirkülasyon elemanları; merdivenler ve yürüyen merdivenler vasıtasıyla sağlanabilmektedir. Dış mekandan gelen yolcuların çevre koşullarından korunması amacı ile oluşturulmuş üst saçakların altından başlayan ve iç mekan ile bağlantıyı sağlayan bu merdiven döşemeleri genellikle bir alt katta yer alan istasyon giriş holünün tavan döşemesi işlevini üstlenmektedir. Dolayısıyla burada su yalıtımı bakımından gereken önlemlerin alınmaması; yüzey veya yağmur sularının betonarme yapıya sızarak yolcu konforunun olumsuz yönde etkilenmesine, aynı zamanda yapısal hasarlara neden olacaktır. Merdiven girişlerinde tasarlanan polimer drenaj kanalları bu konuda ciddi bir önlem oluşturmaktadır. Bununla birlikte özellikle çözümlenmesi gereken bir diğer nokta ise yürüyen merdiven ile betonarme merdiven arasındaki boşluklardır. Çözüm olarak; yürüyen merdiven altında kalan betonarme döşeme üzerine, su yalıtımı sağlanması için çift kat çimento esaslı sürme su yalıtımı uygulaması yapılmaktadır. Yapılan incelemelerde ayrıca suyun betonarme merdiven altından yapıya ilerlememesi için; merdiven altındaki boşluklara tek sıra tuğla örüldüğü ve zeminden 15-20cm yüksekliğe kadar sürme esaslı yalıtım uygulandığı tespit edilmiştir.

**Şekil 9.** Dış mekan merdiven ve yürüyen merdiven altı betonarme döşemenin su yalıtımı. (Gökhan Mermi)



Serilerek kullanılan pvc membran esaslı izolasyon malzemesinin inşaat esnasında delinmeye karşı özellikle korunması gerekmektedir. Örneğin; serim sonrasında gerçekleştirilecek demir işçiliği sırasında oluşabilecek delinmeler pvc membranların işlevini tam olarak yerine getiremelerini engelleyecektir. Pvc membran yüzeyinde oluşabilecek milimetre boyutundaki delinmeler dahi suyun sızması açısından yeterli olacaktır. Bu nedenle işçiliklerin dikkatle ve organize şekilde yürütülmesi gerekmektedir. Şekil 10'da pvc membran su yalıtımı malzemesi ile donatı ve işçilik ilişkisi görülmektedir.

**Şekil 10.** M6 Metro Projesi, betonarme perde donatısı ve pvc membran su yalıtımı ilişkisi. (Gökhan Mermi)



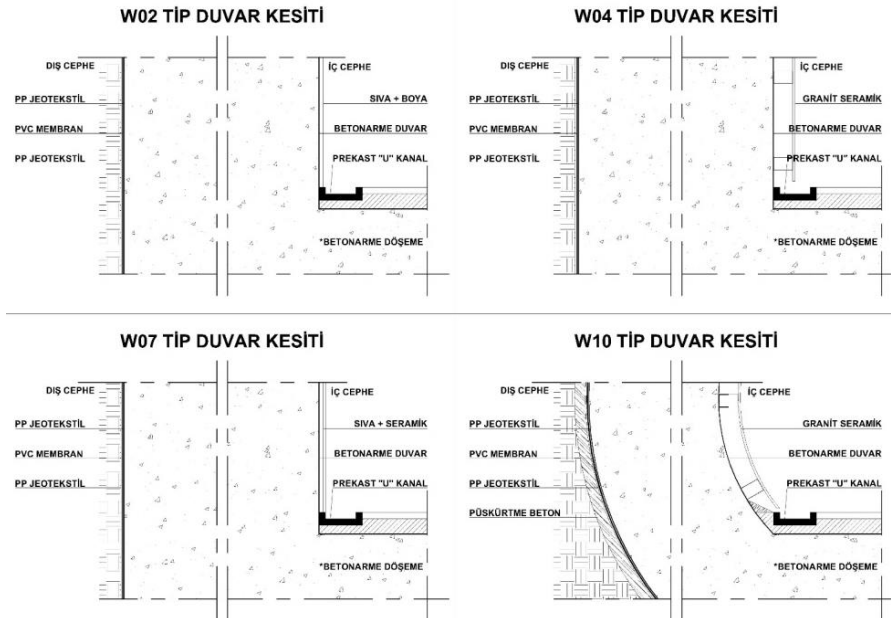
## SONUÇ VE ÖNERİLER

İstanbul’da yapılan 4 ayrı metro hattındaki 8 farklı metro istasyonuna ait konkors ve tünel yapısına ait su yalıtımı sorunlarının incelenmesi sonucunda elde edilen veriler ışığında istasyonların yalıtım yöntemlerinin birbirlerine benzer kriterler ışığında tasarlanarak uygulandığı tespit edilmiştir. Ayrıca yapım aşamasında, istasyonlarda uygulanan imalat yöntemleri irdelenmiştir.

Belirlenen 4 metro istasyonunun yerinde yapılan incelemeleri sonucunda istasyonların kabuk sistem detayları Şekil 12’de; Şekil 13 ve 14’de ise ayrı ayrı kullanılan malzemelerin avantaj ve dezavantajları da sunulmuş; toplanılan veriler ışığında yapım yıllarına göre gerçekleşen uygulamalarda kullanılan malzemeler, sistem detayları ile çözüm önerilerine ilişkin karşılaştırmalar Şekil 15’de ortaya konmuştur.

Kronolojik olarak gerçekleştirilen incelemelere göre istasyon yapılarının kabuk sistem detayları açısından kesit tipleri Şekil 12’de sunulmuştur. Kabuk kesit detay çözümlerine göre tek tip su yalıtımı uygulaması gerçekleştirilmiştir. İstasyon yapısı kabuğu içerisine sızan suyun drenajının genellikle prekast “u” kanal uygulamasıyla sağlandığı tespit edilmiştir.

**Şekil 12.** Yeraltı metro projelerinde, konkors yapılarının betonarme perde tip duvar kesitleri. (Yüksel Uluslararası Proje)



Metro projelerinin kabuk kesit tip detaylarından ve gerçekleştirilen saha gezilerinden elde edilen veriler ışığında, konvansiyonel su yalıtımı çözümlerinde karşılaşılan ve yapının öngörülen ömrünün olumsuz yönde etkileyen sonuçlar şunlardır:



- Konvansiyonel yalıtım sistemleri uygulamaları esnasındaki işçilik hataları, yalıtım sistemlerinin servis ömrünün bitmesine sebebiyet vermektedir. Bu durumda yapının servis ömrü olumsuz yönde etkilenmektedir.

- Özellikle tek kat pvc membranların yüzeylerinde meydana gelebilecek milimetre boyutundaki hasarların su sızmalarına ve kaçaklarına neden olacağı görülmektedir. Pvc membranların kaba imalatlar esnasında delinmeleri olasıdır. Bu nedenle yalıtım sorunları arasında işçiliklerin dikkatli ve organize şekilde yürütülmesi de önemli rol oynamaktadır.

- Yeraltı metro istasyon yapılarında kapiler etki ve yer çekiminden dolayı sızan suyun kaynağının ve yöneliminin tespiti zor olmaktadır. Invert betonu, püskürtme beton ve diyafram duvar imalatlarında meydana gelebilecek işçilik hataları sonucunda sızan su, yapı temeline kadar inebilmekte ve zarar verebilmektedir.

- İstasyon yapıları işletmeye açıldıktan sonra gerçekleşen su sızmaları ve/veya kapiler etki durumlarında, enjeksiyon imalatı gibi kabuk dışındaki suyun yönlendirilmesi odaklı geçici çözümlere de başvurulabilmektedir. Bunun en önemli sebebi beton imalatları sonrası konvansiyonel yalıtım yöntemlerinin tamir imkanının olmamasıdır. Enjeksiyon imalatlarının en büyük dezavantajı ise suyun kabuk dışına yönelmesi sonrası gerekli tedbirler alınmadığı takdirde bulabileceği ilk delikten tekrar yapı içerisine sızmaya çalışmasıdır.

- Metro istasyon yapılarında uygulanan pvc membran yalıtım detaylarında, imalat sonrası yaşanabilecek olası sorunların önüne geçilmesi için basınç testi yapılması gerekliliği vardır. Ancak bu testler iş programının akışında önemli oranda yer tutmakta ve üretimi yavaşlatmaktadır.

- İstasyon yapısı ile bağlantı ve hat tünel ağızlarındaki kesit yüzeyleri, konvansiyonel yalıtım uygulamaları açısından risklidir. Bu noktalarda özellikle pvc membran uygulaması yapılırken, su tutucu bant kullanımına önem verilmelidir. Tüm bu kriterler dikkate alındığında, konvansiyonel uygulamaların yerine çift kat pvc membran ve geosentetik kil örtü malzeme ile kaplama gibi uygulamaların tercih edilmesi; özellikle işçilik hataları odaklı yaşanabilecek su yalıtım sorunlarının azaltılmasında önemli bir rol oynayacağı düşünülmektedir. Bu bağlamda kullanılacak kabuk yalıtım sistemlerinin avantajları ile dezavantajları aşağıdaki tablolarda sunulmuştur.

**Şekil 13.** Yeraltı metro projelerinde, çift kat pvc membran özellikleri.

<b>ÇİFT KAT PVC MEMBRAN İLE METRO İSTASYON YAPISI SU YALITIMI</b>	
<b>AVANTAJLAR</b>	<b>DEZAVANTAJLAR</b>
Katmanlı olduğundan daha dayanıklı bir sistemdir.	Yalıtım maliyetini artırmaktadır.
Üzeri kapatıldıktan sonra tamir imkanı bulunmaktadır.	Uygulama süresi artmaktadır.
Yalnızca su sızıntısı rastlanan noktalarda enjeksiyon gerçekleştirilebilir.	İşçilikte hata payı yoktur.
Aşamalı su testleri yapılabilir.	Servis ömrü tamamlandığında alınabilecek bir tedbir yoktur.

**Şekil 14.** Yeraltı metro projelerinde, geosentetik kil örtü malzemesinin özellikleri.

<b>GEOSENTETİK KİL ÖRTÜ İLE METRO İSTASYON YAPISI SU YALITIMI</b>	
<b>AVANTAJLAR</b>	<b>DEZAVANTAJLAR</b>
Yerli üretimleri mevcuttur.	6-6,5 kg/m <sup>2</sup> ağırlığı sebebiyle montajı zordur.
Montaj aşamasında sabitlenirken açılan delikler sorun teşkil etmemektedir.	Uygulama sonrası tespit edilen su sızıntılarına karşı yalnız geçici tedbirler alınabilmektedir.
%100 Doğal malzemeden üretilmektedir.	Maliyeti yüksek bir sistemdir.
Radyasyon ışınlarından etkilenmez ve yanmaz olarak üretilmektedir.	Servis ömrü tamamlandığında alınabilecek bir tedbir yoktur.
Yetkin bir işçilik uygulaması gerektirmez.	

Bu çalışmada yeraltı metro projeleri istasyonları yapı kabuğunda uygulanan su yalıtımı sistemlerinin, hem proje detayları hemde hatların kronolojik saha imalatları üzerindeki incelemelerde; konvansiyonel yalıtım ve drenaj uygulamalarının



yapıldığı görülmüştür. Uygulamalarda özellikle işçilik hatalarından kaynaklı olarak yalıtım malzemelerinin fonksiyonlarını doğru bir şekilde yerine getiremediği tespit edilmiştir. Bu veriler ve tespitler ışığında hem yapıların ömrünün hemde yolcuların konforu ile güvenliğinin olumsuz yönde etkilendiği kanısına varılmıştır. Bu bağlamda çözüm olarak yapılan uygulamalarda, çift katlı membran sistemi ile geosentetik kil örtününün kullanılması, avantaj ve dezavantajları gözönünde bulundurularak, yalıtım detayı alternatifleri olarak önerilmektedir. Çift katlı membran sisteminin özellikle yüksek maliyetli olması, üst düzey işçilik gerektirmesi ve geosentetik kil örtününün içerdiği doğal bentonit sayesinde etkili bir yalıtım vaat etmesine karşın ağır bir malzeme olması göz önünde bulundurularak proje süreçlerinin buna göre düzenlenmesi gerekmektedir. Bu bilgiler ışığında ayrıca, hem konvansiyonel üretim/uygulama seçeneğinde hem de alternatif malzeme ve sistemlerin kullanımında işçilik kalitesi en yüksek önemi arz eden bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır.

## KAYNAKÇA

Aktop Maden, D. ve Avlar, E. (2017). Yer Altı Metro İstasyonlarında Mekân Tasarımı Üzerine Bir Araştırma. Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 18

Akyürek, Y. (1998) “Mimarlar Cam Seçimi ve Tasarımında Daha Etkili Olabilmeli”, Şişecam, Camtaş Düzcamlar Pazarlama A.Ş. Teknik Bilgi Kitapçığı.

Anderson, T. N., Luther, M.B. (2012). Designing for thermal comfort near a glazed exterior Wall. School of Engineering, Auckland University of Technology, Auckland, New Zealand.School of Architecture and Building, Deakin University, Geelong, Australia

Australian Government. (2013). High Speed Rail Study Phase 2 Report.

Arpacıoğlu, Ü., Ersoy, H. Y. (2016). Fiziksel Çevre Tasarım Destek Modeli. Tasarım+Kuram Dergisi. Sayı: 11-12.

Çetindağ, B. (2002). Metro İstasyonları Tasarım Kriterleri İstanbul Metrosu Ve Londra Tottenham Court Road İstasyonu Örnekleri. (Yüksek Lisans Tezi). İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Demir, E. (2007). Metro Duraklarının Mekânsal Özellikleri Ve Kent İmajı Üzerindeki Etkileri: Ankara Kızılay-Batıkent Metro Hattı Analizi. (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Demiryolları Planlama ve Tasarım Teknik Esasları. (2007). T.C. Ulaştırma Bakanlığı, Demiryolları Limanlar Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü, Yüksel Proje, Ankara.

Diri, A. C., Bonfil, J., Tekin, Ç. (2024). Mimari Yapılarda Su Yalıtımı. Yem Yayın, İstanbul.

Erdaloğlu, N. (2009). Metro İstasyonlarında Yolcu Hareketlerinin İncelenmesi, İstanbul Metrosu Örneği. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Eşsiz, Ö. (2004). “Teknolojinin Cam Cephe Panellerine Getirdiği Yenilikler”, 1. Ulusal Çatı ve Cephe Kaplamalarında Çağdaş Malzeme ve Teknolojiler Sempozyumu, 2-3 Nisan 2004, Çatıder, İstanbul, s. 73-82.

Geomas (2013). Geokompozit Su Yalıtım Sistemleri, Temel Altı Uygulamaları, İstanbul.

Karadoğan, A., Şenkal Sezer, F. (2005). Farklı Cam Türlerinin Performans Kriterlerinin İncelenmesi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 10, Sayı 1.

Lung, F. (2012). Waterproofing Solutions for Metro Tunnels, Sustainable Transportation Systems, 500-507. doi: 10.1061/9780784412299.0060

Metro Tasarım Kriterleri. (2010). T.C. Ulaştırma Bakanlığı Demiryolları Limanlar Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü, Ankara.

Onat, E. B. (2016). Metrolarda Su Yalıtımı Problemlerinin Üç Yeni Teknolojiyle Çözümü. International Multidisciplinary Conference, Antalya.

Özyönüm, N. (2013). Dış Mekânlarda Çalışan Elektronik Devrelerin Zorlu Çevre Koşullarına Karşı Korunması. Elektronik Türkiye Dergisi. Sayı: 2.

Schittich, C., (2001). In Detail Building Skins, Concepts, Layers, Materials, Birkhauser, Basel.

Tekin, Ç. (2008). Giydirmeye Cephe Tasarımındaki Kriterler. 3. Ulusal Çatı ve Cephe Sempozyumu. İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul.

Tuğral, F. (2021). Metro Yapılarındaki İç Mekân Tasarımının Sirkülasyon Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi: Ankara Örneği. (Yüksek Lisans Tezi). Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Afyonkarahisar.

Umaroğulları, F. (2001) Yapı Kabuğunda Cam Malzeme Kullanımı, T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Y. Lisans Tezi.