



Toprak Yapı Malzemesinin Biyolojik Katkılarla Geliştirilmesi ve
Toprak Yapı Elemanlarının Fabrikada Üretimi Üzerine Bir Araştırma:

BIRE-PAN

Doç. Dr. Fulya Akipek

İstanbul Bilgi Üniversitesi

“ Sürdürülebilir kentler için ekolojik stratejiler geliştirme sürecinde, doğal malzeme ve yapım yöntemlerinin tasarım-üretim teknolojileriyle geliştirilmesi önemli bir araştırma alanı. Toprak yapı malzemesinin biyolojik katkılarla geliştirilebileceğini ve toprak yapı elemanlarının fabrikada çağdaş kalıp teknolojileri ve otomasyon imkânlarıyla üretilebileceğini gösteren bu araştırma projesi, üniversite-sanayi işbirliği ve disiplinler arası araştırmalar ile geliştirilerek mimari uygulama ortamında aktif kullanılan, yönetmeliklere uygun, toprağın doğal estetiğini çağdaş mimari ile yansıtan bir tasarım-üretim sistemi olarak hayata geçirilebilir. ”

İklim değişikliği, mimarlık disiplini doğrudan etkileyen bir küresel öncelik. Birleşmiş Milletler, Sürdürülebilir Kentler ve Topluluklar hedefi kapsamında mimarlıkta yerel malzeme kullanımı ve enerji etkinliğinin önemini vurguluyor (Url-1). Mimari tasarım ve üretim süreçlerinde malzeme kaynaklarının ve atık yönetiminin doğa döngülerine uyumlanması giderek daha fazla önem kazanıyor. Bu bağlamda mimarlıkta ekolojik stratejiler geliştirmek, disiplinler arası araştırmalar yapmak ve üniversite-uygulama işbirliği giderek daha önemli hale geliyor.

İnşaat sektöründe doğal yapı malzemelerinin kullanımını arttırmak ve yerel yapım yöntemlerini çağdaş üretim teknolojileriyle güncelleyen araştırmalar yapmak ekolojik stratejileri destekliyor. Mimarlık geleneğimiz içinde yer alan toprak malzeme ve yapım yöntemleri bu bağlamda güncel araştırma platformlarına taşınıyor (Url-2). Toprak yapıların yerel malzeme ve işçilikle üretilebilmesi, mekânda nem ve ısı dengesi ile oluşturduğu sağlıklı ortam, ekonomikliği, kullanımı tamamlandığında doğada çözünebilmesi gibi özellikleri sürdürülebilir malzeme arayışları için ideal özellikler. Toprak yapı malzeme reçeteleri, mekanik ve fiziksel özellikleri, emek yoğun yapım yöntemlerinin üretim teknolojileriyle hızlandırılması ve yapı standartlarına uyumu bu alanda üzerinde çalışılan konular arasında yer alıyor. Toprak bina yapım yöntemlerindeki çeşitlilik ve doğal estetik, toprak mimarinin dünyadaki güncel uygulama ortamı içinde yer edinmesini sağlıyor.

İTÜ’de kurulan Toprak Yapılar Çalışma Grubu’nda çağdaş toprak yapılar vizyonunu ortaya koyan ve alçılı kerpici araştırmacılara tanıtan Ruhi Kafescioğlu (Kafescioglu, 2017), Bilge Işık ve yetiştirdikleri mimarlar bu konudaki öncülerimiz. Türkiye’de yapı biyolojisi kavram ve ilkelerini mimarların gündemine taşıyan YBE enstitüsü (Url-3) ve kerpiç araştırmalarının uluslararası ölçekte paylaşıldığı kerpiç network sempozyumları (Url-4) toprak yapı araştırmaları için önemli adresler. Toprak bina yapım yöntemleri, toprak yapı elemanları, toprak sıvalar üzerine

çalışan genç gruplar, uygulamacılar ve akademisyenler dayanışma içinde konuyu gündemde tutan çalışmalar yapıyorlar (Url-5). Türkiye’deki uygulamaların sayısı son yıllarda artmaya başladıysa da Avrupa’da toprak yapılar uzun yıllardır mimarlık uygulamalarının bir parçası. Örn: Martin Rauch (Url-6) ve Anna Herringer (Url-7). Bu örnekler, ülkemizde toprak yapı uygulamalarının artması ve mimarlar tarafından talep edilmesi için toprak yapı malzemesi reçetelerinin geliştirilmesi ve çağdaş yapım yöntemlerine adaptasyon ihtiyacını daha belirgin hale getiriyor.

İstanbul Bilgi Üniversitesi RDI Öncelikli Alanlar Araştırma Projeleri Destek Programı tarafından desteklenen BIRE-PAN projesi bu ihtiyaca yönelik olarak mimarlık, biyomühendislik ve inşaat bölümlerinden tam zamanlı hocaların birlikte kurguladığı 3 yıllık bir araştırma projesi (Url-8). Biyolojik Katkı Sıkıştırılmış Toprak Panellerin Prekast Yapı Elemanları Olarak Tasarımı ve Üretimi başlıklı projenin amacı, toprak yapı malzemesinin sürdürülebilirlik konusundaki üstün özelliklerini korumak, zayıf özelliklerini biyolojik katkılarla geliştirmek; seri üretilen ancak çeşitliliğe izin veren yapı elemanları ve bileşenleri tasarlamak; fabrikada üretimin sağlayacağı hız ve standart sayesinde toprak yapılara olan talebi arttırmak olarak özetlenebilir.

Biyomühendislik; inşaat mühendisliği; mimarlık, toprak mimari ve doğal malzeme uzmanlığı; üretim; yapı biyolojisi ve iletişim uzmanlıklarından oluşan disiplinler arası araştırma ekibinin (*) proje sürecinde aştıkları önemli eşikler birer başlık olarak açılmayı hak ediyor: Biyolojik katkı toprak yapı malzemesi reçeteleri geliştirme; toprak yapı elemanlarının sayısal tasarımı; sıkıştırılmış toprak blok ve panellerin kalıpla fabrikada üretimi; prototip mekân inşası; sonuçların ölçümü ve paylaşılması olarak tarif edebileceğimiz bu eşiklerden geçerken paydaşlarımızla tartıştığımız en önemli kriter ise süreci yaşam döngüsü analizi yaklaşımı ve sürdürülebilirlik kriterlerine uygun biçimde yürütmek.



Toprak Yapı Malzemesi Geliştirme ve Lab testleri (Bitkisel, Bakteriye)

Toprak yapı elemanlarının fabrikada üretildiği prekast toprak panel ve bloklarla üretilmiş yapı örneklerine literatürde rastlanmaktadır (Url-9). Bu örneklerde toprak yapı malzemesinin stabilizasyonu için genellikle çimento katkısı ya da insan sağlığına ve sürdürülebilirlik kriterlerine uygun olmayan çözümlere gidildiği saptanmıştır. Projenin hedefi; toprak yapı bileşenlerinde biyolojik katkıların kullanılması ve bu konuda sürdürülebilirlik açısından uygun standartlara ulaşabilmektir. Projede disiplinler arası bir çalışmayla çeşitli bitkisel atıklar ve bakterilerin toprak malzemelerle bütünleştiği reçeteler denenmiştir. Bu yeni karışımlar strüktürel dayanım, suya dayanım, rötre, hafiflik gibi çeşitli performanslar açısından değerlendirilmiştir.

Bu süreçte alçılı kerpiç gibi mevcut reçetelerin yeni reçetelerle karşılaştırılması için numuneler üretilmiştir. Biyolojik katkıları belirlenmiş, temini gerçekleştirilmiştir. BIRE reçetesinin fiziksel, mekanik ve içyapı özelliklerinin belirlenmesi için bir dizi test yapılmıştır: Basınç dayanımı, eğilme dayanımı, elastisite modülü, kılcal su emilimi, pH, yoğunluk, rötre, ısı iletkenliği, içyapı özelliklerinin belirlenmesi için XRD, SEM gibi testler için farklı karışımlar hazırlanmış, her testin gerektirdiği makine ve düzenekleri kurulmuş, her testin gerektirdiği zaman aralıklarıyla testler yeniden yapılmıştır.

Biyomühendislik çalışma grubu tarafından toprağa eklenebilecek bitkisel malzemenin tarım atığı olması ve öncelikli alanlarda kullanılmaması esas alınarak yerfıstığı kabuğu, mısır koçanı dış yaprakları, ayçiçeği sapı ve pirinç kabuğuyla çeşitli reçeteler hazırlandı. Bu bitkisel katkıların toprak blokların ya da panellerin hafifletilmesi, suya dayanımı, rötre çatlakları ya da strüktürel dayanıma olan etkileri yapılan testlerle değerlendirilmiştir. Fabrikadaki üretimde temin kolaylığı bakımından pirinç kabuğuyla denenilen reçete esas alınmıştır.

Bakteriler güncel literatürde yapı malzemelerinin dayanımını artırma, kendi kendini onarma gibi özellikleriyle yapı malzemesi ve biyomalzeme araştırmaları içinde yer almaktadır. BIRE-PAN araştırmasında, biyomühendislik ekibi tarafından önceki çalışmalar da göz önüne alınarak belirlenen bakteriler, Almanya'daki bir laboratuvarından temin edilmiş; TÜBİTAK/MAM laboratuvarlarında çoğaltılmış; İstanbul Bilgi Üniversitesi laboratuvarlarında test edilmiştir. Lojistik nedenlerle inşa edilen prototip mekândaki toprak reçetesine eklenememiş ancak özellikle basınç testlerinde bakterili toprak numunelerinin dayanımının yüksek olduğu saptanmıştır. Araştırmada yapı malzemelerinin geliştirilmesi sürecinde biyomühendislik, inşaat mühendisliği gibi disiplinlerle nasıl çalışılacağı ve doğal malzemelerin yine doğadan gelen katkılarla ve doğadan öğrenilen prensiplerle nasıl geliştirilebileceği deneyimlenmiştir.

“Proje küçük ölçekli olsa da yaygın etkisi büyük oldu; mimari uygulama, eğitim ve akademik platformlarında röportajlar ve yazılarla paylaşıldığında toprak mimariye ve önerilen sisteme gösterilen yoğun ilgi, bu tür sistemler geliştirildiğinde ekolojik yapı talebinin artacağını doğrulamış oldu.”

Toprak Yapı Elemanlarının Tasarımı

Toprak mimari; sağlam, dayanıklı, ekonomik oluşuyla, yerel malzeme; işçilik kullanımı ve yapım yöntemlerinin çeşitliliğiyle, farklı bağlam, üslup ve ölçekteki uygulamalarıyla neredeyse tüm iklim kuşaklarında ve coğrafyalarda var olmuştur; toprak yapı mirası ise orta ve güney kuşakta yoğunlaşmaktadır (Houben & Guillaud, 1994). Bu özellikleriyle kültürel mirasın ve mimari geleneğin parçası olan toprak mimarinin günümüzdeki çağdaş uygulamalarında kalıp teknolojileri, prefabrikasyon, 3B döküm, basınçlı döküm gibi güncel üretim yöntemlerinin kullanıldığı örneklerle rastlanmaktadır.

BIRE-PAN sisteminin tasarımında yapı bileşeni olarak duvar sistemine odaklanılmıştır; fabrikada üretilen, kalıp içinde sıkıştırılan-toprak blokların dizilimiyle oluşacak düz, dokulu ve delikli duvar örüntülerinin geometrik araştırmaları yapılmıştır. Tüm eksenlerde birbirine lego gibi oturan T ve I biçimli bloklar, duvar-kapı açıklıkları için özel söve elemanları ve taşıyıcı iskelet sistemi kapatan L paneller için 6 tip blok ve yapı elemanı tasarlanmıştır. Blokların tasarımında duvar örüntülerinin geometrik araştırmaları sayısal modellerle çalışılmış, üniversite üretim laboratuvarındaki 3B yazıcılardan alınan fiziksel modellerle form, boyut, örüntü denemeleri yapılmıştır; tasarım geliştiğinde Fibrobeton'un Düzce'deki fabrikasında (Url-10) gerçek ölçekli prototiplerin üretimine geçilmiştir.

Toprak Yapı Elemanlarının Fabrikada Üretimi

Toprak yapı elemanlarının tasarım ve üretim sürecinde blokların boyutlandırılması, kalıp tasarımı, malzeme standardizasyonu, sıkıştırma-eleme otomasyonu, yapı bileşenlerinin ilişkilendirilmesi konularında Fibrobeton üretim ekibiyle birlikte çalışıldı. Tasarım geliştirme sürecinde fabrikadaki üretim alanında birçok prototip üretildi. Tüm bu Ar-Ge süreci sonucunda fabrikadaki üretim için toprak karışımı bir standarda getirildi, kalıp tipleri belirlendi, blokların fırınlanmadan ve enerji harcamadan normal hava koşullarında kuruyacağı ortam koşulları belirlendi, iş-işçi-süre-maliyet planlamaları yapıldı. BIRE-PAN toprak blokları ve yapı elemanlarının tasarım-üretim sürecinin test edileceği minimum bü-

yüklükte bir mekânın inşa edilmesi için iş akış programı yapıldı ve uygulama projesi çizildi. Üretim sürecindeki tüm malzeme temini, kalıp tasarımı, blok-panel üretimi, işçilik ve uygulama süreci maliyetleri Fibrobeton tarafından karşılandı ve prototip mekân uygulaması fabrikadaki ekip tarafından gerçekleştirildi.



Prototip Mekân İnşası

Yaklaşık 20 m² büyüklüğünde BIRE-PAN Gözlem Odası inşa edilerek tasarım-üretim sisteminin uygulanabilirliği ve sürdürülebilirliği test edildi.

Toprak mimarinin kentlerde yaygınlaşması için blokların taşıyıcı olduğu yığma sistem yerine, mevcut iskelet sistemlerine (betonarme, ahşap, çelik) iç-dış dolgu duvar olarak eklenen duvarların toprak bloklarla gerçekleştirilmesi senaryosu benimsendi. BIRE-PAN Gözlem Odası için açık Ar-Ge alanındaki beton zemin üzerine hafif çelik iskelet sistem ankrajı yapıldı. 20 m² kapalı mekânda birer adet kapı ve pencere açıklığı kullanıma ve yönlenmeye göre konumlandı. Yaklaşık 1100 adet yapı elemanının iki buçuk ayda üretildiği süreç sonunda tüm yapı elemanlarının inşaat alanındaki uygulaması 2 hafta içinde tamamlandı. İnşaat süreci sonunda düz, dokulu, boşluklu duvar örüntülerinin denendiği; kapı pencere açıklıkları için özel olarak tasarlanan toprak sövelerin uygulandığı; iskelet sistemiyle toprak duvarlar arasında ısı köprülerini önleyecek izolasyonun sarıldığı, Fibrobeton'un UHD teras çatı panelleriyle birleşim detaylarının denendiği kapalı mekân ve yarı-açık alan uygulaması gerçekleştirildi. 3 yıllık araştırmanın süreci sonunda tüm paydaşlara ve toprak mimariye ilgi duyan herkese açık bir kapanış etkinliği düzenlenerek, süreç bulguları ve film sunumunun ardından BIRE-PAN Gözlem Evi'ne bir teknik gezi düzenlendi.



İleri Hedefler

Süre ve bütçe kısıtlamaları nedeniyle prototip mekân içinde biyoklimatik ölçümler gerçekleştirilemedi; enerji etkinlik, iç hava kalitesi gibi konularda yapı biyolojisi performansının belirlenmesi ileri araştırmalara bırakıldı. Proje küçük ölçekli olsa da yaygın etkisi büyük oldu; mimari uygulama, eğitim ve akademik platformlarında röportajlar ve yazılarla paylaşıldığında toprak mimariye ve önerilen sisteme gösterilen yoğun ilgi, bu tür sistemler geliştirildiğinde ekolojik yapı talebinin artacağını doğrulamış oldu (Url-11).

Sürdürülebilir kentler için ekolojik stratejiler geliştirme sürecinde, doğal malzeme ve yapım yöntemlerinin tasarım-üretim teknolojileriyle geliştirilmesi önemli bir araştırma alanı. Toprak yapı malzemesinin biyolojik katkılarla geliştirilebileceğini ve toprak yapı elemanlarının fabrikada çağdaş kalıp teknolojileri ve otomasyon imkânlarıyla üretilebileceğini gösteren bu araştırma projesi, üniversite-sanayi işbirliği ve disiplinler arası araştırmalar ile geliştirilerek mimari uygulama ortamında aktif kullanılan, yönetmeliklere uygun, toprağın doğal estetiğini çağdaş mimari ile yansıtan bir tasarım-üretim sistemi olarak hayata geçirilebilir.

KAYNAKLAR:

- Kafescioglu, R. (2017). Çağdaş Yapı Malzemesi Toprak ve Alker. İstanbul, İTÜ Vakfı Yayınları.
 Houben, H.& Guillaud, H. (1994). Earth Construction-A Comprehensive Guide. Warwickshire, Practical Action Publishing.
 Linkler (Erişim Tarihi 28.04.2025):
 Url-1 ←<https://sdgs.un.org/goals>→
 Url-2 ←<https://conf-earth.sciencesconf.org/?lang=en>→
 Url-3 ←<https://www.yapibiyolojisi.org/yapi-biyolojisi-ekolojisi/>→
 Url-4 ←<https://www.arkitera.com/etiket/kerpic-akademi/>→
 Url-5 ←<https://gelecegetoprak.wixsite.com/2023/>→
 Url-6 ←<https://www.lehmtonerde.at/en/martin-rauch/>→
 Url-7 ←<https://www.anna-heringer.com/projects/meti-school-bangladesh/>→
 Url-8 ←<https://www.bilgi.edu.tr/tr/arastirma/bilgi-arastirma-fonlari/desteklenen-projeler>→
 Url-9 ←<https://www.erden.at/ERDEN-Wande>→
 Url-10 ←<https://fibrobeton.com.tr/proje-tamamlanan-projeler-fibrobeton---duzce-uretim-tesisleri-90>→
 Url-11 ←<https://www.youtube.com/watch?v=XTRQcKec3k>→

*Bu proje İstanbul Bilgi Üniversitesi Öncelikli Alanlar Araştırma Projeleri Destek Programı, Research Development Innovation (Bilgi-RDI) tarafından desteklenen tamamlanmış araştırma projesidir. Kasım 2020-Ekim 2023.

Proje Yürütücüsü: Doç. Dr. Fulya Özsel Akipek; BİLGİ Mimarlık Bölümü; Araştırmacılar: Prof. Dr. Tuğrul Yazar, BİLGİ Mimarlık Bölümü, Doç. Dr. Muammer Özbek ve Doç. Dr. Büşra Aktürk, BİLGİ İnşaat Mühendisliği Bölümü; Bilgi Üniv. Dışından Araştırmacılar: Prof. Dr. Hatice Gülen, İstinye Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Prof. Dr. Bilge Işık, Kerpiç Network (danışman), Dr. Birsan Cevher Keskin ve Uzman Nurçin Öztürk, TÜBİTAK-MAM/GMBE; Bilgi Üniv. Yardımcı Araştırmacılar: Elif Aybüke Turgut (YL), Fatime Mermerci (YL), Özge Miskioğlu (YL), Yaren Nur Özgen (L); Kağan Karadavut (L), Damla Berrak Çalık (L), Deniz Aktay (L), Ali Berk Bozan (L), Buket Yeşiloğlu (L); Danışmanlık ve Hizmet Alımı: Özgül Öztürk, A Mimarlık, And Akman ve Merve Titiz Akman, YBE, Sinem Serap Duran, Videografik/ Görsel İletişim, Melodi Simay Acar, Kinetikhane; Üretim Ana Sponsoru, Ar-GE danışmanı ve Yüklenicisi: FİBROBETON YAPI ELEMANLARI SAN. İNŞ. VE TİC. A.Ş.; Fabrika Üretim Ekibi: Muhammed Maraşlı, Yönetim Kurulu Üyesi, Hasan Bilgin, Yasemin Hatipoğlu, Aslı Hatipoğlu, Seren Tümkeya.