

## SIKIŞTIRILMIŞ TOPRAK YAPILAR ÜZERİNE BİR İNCELEME

Rojda Naz ALİBEYOĞLU  
Kafkas Üniversitesi, Türkiye  
r.alibeyoglu@kafkas.edu.tr  
<https://orcid.org/0000-0002-9063-0764>

Mehmet Selim ÖKTEN  
Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Türkiye  
selim.okten@msgsu.edu.tr  
<https://orcid.org/0000-0003-4689-767X>

<i>Atıf</i>	Alibeyoğlu, R. N. ve Ökten, M. S. (2021). SIKIŞTIRILMIŞ TOPRAK YAPILAR ÜZERİNE BİR İNCELEME. The Turkish Online Journal of Design Art and Communication, 11 (3), 1036-1057.
-------------	---

### ÖZ

Sıkıştırılmış Toprak Yapım Tekniği (STYT) insanlık tarihi boyunca etkin olarak kullanılan yapım sistemlerinden biridir. Dünya'nın farklı bölgelerinden ve zaman dilimlerinden günümüze kadar ulaşılmış olan örnekler, bu yapım tekniğinin değişen koşullara kolay uyum sağlayabilen bir teknik olduğunu ortaya koymaktadır. Bu çalışmada, yüzlerce yıllık bir geçmişe sahip olan ve günümüzde mevcut yapım tekniklerine yeniden bir alternatif olarak gündemde olan STYT'nin tarihsel süreçteki gelişimini ortaya koymak, tekniğin temel prensiplerini analiz etmek, uygulama şartlarını basit deney düzeneklerini de içeren çizimlerle açıklamak ve tekniğin diğer disiplinlerle olan etkileşimini incelemek amaçlanmaktadır. STYT'nin günümüz uygulamaları, dünyadan ve ülkemizden örneklerle yapım tarihi, yer, tasarımcı, teknik bilgiler ve değerlendirme başlıkları altında özetlenmiş, farklılıklar ve benzerliklerin karşılaştırılabilmesi için tablo oluşturulmuştur. Çalışmanın sonuçları STYT'nin kolay uygulanabilir, yapısal konforu sağlayabilen, doğal kaynağa sahip, iyileştirmeler ile yatay yüklere karşı dirençli, sürdürülebilir ve estetik kaygıları karşılayabilen bir teknik olarak günümüz yapım tekniklerine iyi bir alternatif olduğunu göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Sıkıştırılmış Toprak, Yapım Tekniği, Stabilize Edilmiş Toprak, Yapısal Konfor, Sürdürülebilirlik

## AN INVESTIGATION ON RAMMED EARTH STRUCTURES

### ABSTRACT

Rammed Earth Technique is one of the construction systems that have been used effectively throughout human history. Examples from different regions and time zones of the world reveal that this construction technique is a technique that can easily adapt to changing conditions. In this study, It is aimed to reveal the development of Rammed Earth Technique, which has a history of hundreds of years and is on the agenda again as an alternative to existing construction techniques, to analyze the basic principles of the technique, to explain the application conditions with drawings including simple experimental setups, and the interaction of the technique with other disciplines. The current applications of Rammed Earth are summarized under the titles of construction date, location, designer, technical information and evaluation with examples from the world and our country, and a table has been created to compare differences and similarities. The results of the study show that technique is a convenient alternative to today's construction techniques as a technique that can be easily applied, provides

structural comfort, has natural resources, is resistant to horizontal loads with improvements, and can meet aesthetic concerns.

**Keywords:** *Rammed Earth, Construction Technique, Stabilized Earth, Structural Comfort, Sustainability*

## GİRİŞ

Yeni strüktür sistemlerinin ve malzemelerin etkin olarak kullanıldığı günümüzde insan nüfusunun %30'u toprak yapılar da yaşamaktadır (Guillard & Houben, 1994). Binlerce yıllık yapılar veya kalıntıları incelendiğinde, bu yapıların yapım tekniklerinde ana malzeme olarak toprağın kullanıldığı görülmektedir. İnsanın belki de en önemli ihtiyaçlarından biri olan barınma ihtiyacını karşılayabilmek için topraktan yararlandığı, bu yapıların günümüzde bulunan yapılarla kıyaslandığında şaşırtıcı derecede sağlam kalabildiği, tarihinin MÖ 9000'li yıllara dayandığı gerçeği, dünyanın çeşitli bölgelerinde bulunan örneklerle kendini anlatmaktadır (Kömürçüoğlu, 1962).

Toprak yapılar kendi içlerinde; toprak yapım tekniği, toprak içeriğinin zenginleştirilmesi, değiştirilmesi, modüler ve tek parça elemanların kullanılması gibi parametrelerle ayrılmaktadır. Taşıyıcı sistem açısından incelendiğinde günümüzde modern yapılar da etkin olarak kullanılan, taşıyıcı ve bölücü toprak duvar yapım tekniği olan Sıkıştırılmış Toprak (Rammed Earth) Yapım Tekniği dikkat çekmektedir.

Toprağın ana malzeme, taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan bölücü bir strüktür sistemi unsuru olarak kullanıldığı, geleneksel haliyle değerlendirildiğinde ve sınıflandırıldığında bir yığma yapım sistemi türü olan Sıkıştırılmış Toprak Yapım Tekniği (STYT) binlerce yıl kullanılmış ve günümüze birçok örneği ulaştırmış bir yapım tekniğidir. Basit çerçevede değerlendirildiğinde pişmemiş toprağın kalıplar içerisinde gerekli ekipman sayesinde sıkıştırılması ve daha sonra kullanılması prensiplerine dayanmaktadır. Malzemenin temininin ve işlenmesinin kolaylığı, pratik deneysel çalışmalara uygun olması, malzeme özelliklerinin gelişmesine olanak sağlamıştır. Bu gelişimin sonucu olarak özellikle son 20 yıl içinde yapı mühendisliği ve yapı fiziği açısından günümüz şartlarına uyum sağlayan malzemenin kullanım alanı genişlemiştir (Burroughs, 2008).

Yapı sektöründe malzeme üretiminde iki türlü yaklaşım söz konusudur. Birincisi teknolojinin ilerlemesi, endüstrileşme ve maliyetlerin düşürülmesi gibi sebeplerle kimyasal içeriği yüksek malzemeler kullanarak, doğal kaynakları tüketen, kirlüten, fabrikasyona ve seri üretime daha yatkın bir yaklaşımdır. İkincisi ise, gelecek kuşakların malzemeye olan erişim hakkını sürdürülebilmek adına doğal kaynakları etkin kullanan bir yaklaşımdır. Bu doğrultuda doğal kaynakların sınırlı olması malzemede çeşitliliğe olan ihtiyacı ortaya çıkarmaktadır. Sürdürülebilir yapılar elde edebilmek için bu çeşitlilikten yararlanmak gerekmektedir. Toprak, diğer doğal malzemelerle kıyaslandığında miktar ve ulaşılabilirlik açısından büyük avantaja sahiptir. Yapılarda estetik, strüktürel ve konfor anlamında ihtiyacı sağlayabilen Sıkıştırılmış Toprak Yapım Tekniği, günümüzde iklim ve yer farkı gözetmeksizin uygulanabilmektedir.





Araştırma için ilk aşamada Sıkıştırılmış Toprak Yapım Tekniği; tarihsel süreçteki gelişim, yapım tekniği ve malzeme niteliği, yalıtım özellikleri, sürdürülebilirlik ve konfor şartları gibi parametreler çerçevesinde literatür taraması yapılmıştır. Literatür taraması yapılırken "Google Akademik" arama motoru kullanılmıştır. Aramada "Sıkıştırılmış Toprak Yapılar" (Rammed Earth Constructions), "Sıkıştırılmış Toprak Malzemesi" (Rammed Earth Material), "Sıkıştırılmış Toprak Tasarım ve Yapım Yönergeleri" (Rammed Earth Design and Construction Guidelines) ve "Sıkıştırılmış Toprağın Sürdürülebilirliği" (Sustainability of Rammed Earth) anahtar kelimeleri kullanılmıştır. Arama sonucu çıkan makalelerden Elsevier, ASCE, Taylor & Francis ve Springer veritabanlarında yer alan dergilere öncelik verilmiştir. Makalelerin başlıkları ve özetleri öncelikli olarak okunarak eleme yapılmış ve konu ile ilgili makalelere ulaşılmıştır. Son olarak seçilen makalelerin referans bölümlerinde yer alan ve atf

verilen çalışmalar incelenerek yine konu ile ilgili olan diğer makalelere ulaşılmıştır. Alan çalışması için seçilen yapılar ile benzerlikler gösterebilecek çalışmalara öncelik verilmiştir. Türkiye’de Yapı Biyolojisi ve Ekoloji Enstitüsü (YBE) ile görüşme yapılmış ve bu kurum aracılığı ile bir uygulamacı ile irtibata geçilmiştir. Türkiye’den verilen örnekte uygulamacının verdiği bilgiler kullanılmıştır.

Sıkıştırılmış Toprak Yapım Tekniğinin yapı mühendisliği ve fiziği açısından olumlu ve olumsuz yönlerinin değerlendirildiği çalışmada, örnek yapılar üzerinden hazırlanan tabloda yapım yılı, yer, plan ölçüleri, malzeme içeriği, sıkıştırma tekniği başlıklarını içeren bilgiler özet olarak sunulmuştur. Çalışma sonuçlarının toprak yapı geleneğine sahip ülkemizde, doğal yapı malzemesinden üretilmiş ve özellikleri geliştirilmiş, alternatif bir sistemin tekrar değerlendirilmesini sağlaması ve araştırmacılar için bir altyapı oluşturması beklenmektedir.

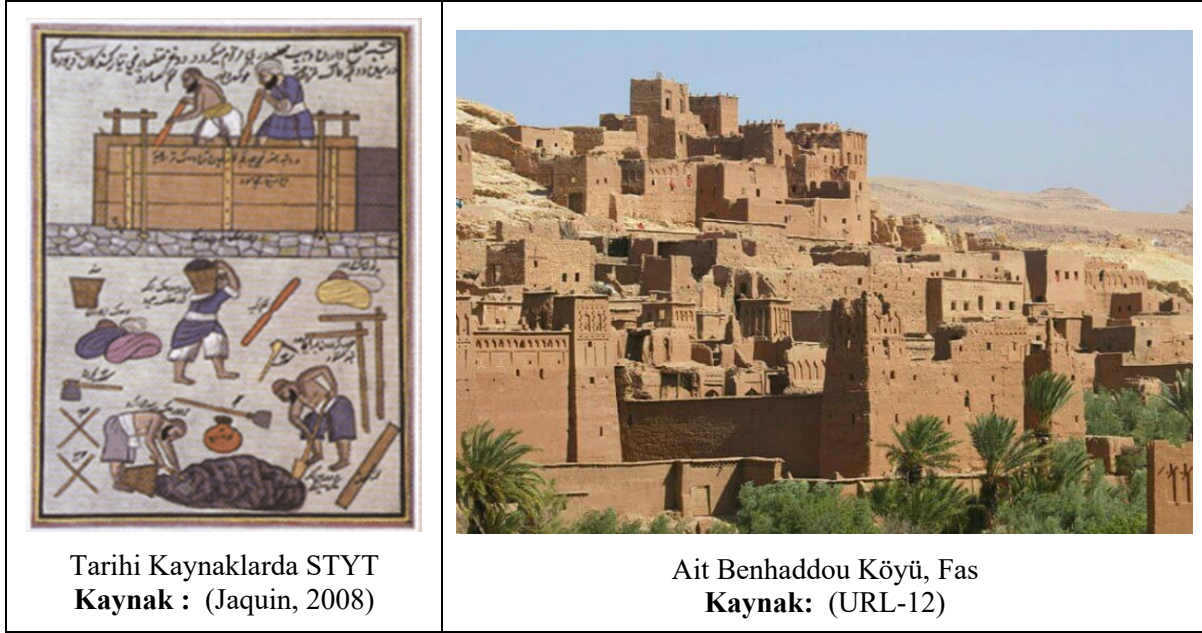
## TARİHSEL SÜREÇ

STYT; Portekizce Tapia, İspanyolca Taipa Sırpça Bjenica, Çince Hangtu, ülkemizde bilinen adıyla dövme kerpiç yapı olarak nitelendirilmektedir (Pevsner, Fleming, ve Honour 1966). Malzeme olarak toprak, kalıp ve toprağı sıkıştırmak için kullanılan bir aletten oluşan tekniğin ilk örnekleri MÖ 2000’li yıllarda Çin ve yakın çevresinde bulunmuştur. STYT ile yapılmış duvarların kalınlıkları 2-4 metreye, uzunlukları ise 70 metreye varmaktadır. Çin’de bulunan Çin Seddi’nin bir bölümü de STYT ile yapılmıştır (Paul A. Jaquin vd., 2008). Genellikle sıcak ve orta sıcak sayılabilecek bölgelerde örneklerine rastlanan tekniğin, iklim ve hava koşulları göz önünde bulundurulduğunda Antarktika’da, toprak koşulları göz önüne alındığında ise çöl bölgelerinde örnekleri bulunmamaktadır. Bahsedilen yapım tekniği Hindistan, Akdeniz kıyıları, Brezilya ve Nepal gibi bölgelerde daha yaygındır. Ortadoğu’da araştırma kazılarının azlığı sebebiyle yaygın karşılaşılmadığı düşünülen tekniğin, İspanya gibi bir dönem Müslümanlık etkisinde kalmış bölgelerde örnekleri bulunmaktadır. İspanya’nın özellikle güney kısımlarında STYT ile inşa edilmiş yapı örnekleri görülmektedir. Alhambra Sarayı bu örneklerin mimari açıdan en etkileyici olanlarından (Paul A. Jaquin vd., 2008). Alhambra örneğinde olduğu gibi günümüze ulaşmış ve hala aktif olarak kullanılan yapılardan bir tanesi de Tibet Bölgesi’nde bulunan Potala Sarayı’dır (Resim 1).

 <p>Çin Seddi Kaynak : (URL-10)</p>	 <p>Çin Gözlem Kulesi Kaynak : (URL-11)</p>
 <p>Alhambra Sarayı Kaynak : (Fernández-Puertas, t.y.)</p>	 <p>Potala Sarayı Kaynak : (Harris, 2013)</p>

Resim 1. Tarihsel Örnekler

Örnek yapılar incelendiğinde STYT'nin bölgelere göre farklılıklar gösterdiği görülmektedir. Taş ve ahşap malzemenin bol bulunduğu bölgelerde toprak genel olarak duvarlarda koruyucu bir sıva ya da duvarı oluşturan elemanlar arasında bağlayıcı bir harç olarak kullanılmıştır. Taş ve ahşap malzemenin kısıtlı olarak temin edilebildiği yerlerde ise STYT tekniğinin malzeme temini ve yapım kolaylığı sebebiyle uzun yıllar tercih edildiği görülmektedir. Yapım tekniğinde çok uzun bir dönem toprağın birbirine tutunması için bağlayıcı madde kullanılmamıştır. Bu süreçte toprağın içerisinde bulunan minerallerden, bunların su ve nem ile oluşturduğu yapıdan faydalanılmıştır. Ancak bazı bölgelerde bağlayıcı madde olarak hayvan kanı kullanılmıştır (URL-1). Yapı örnekleri incelendiğinde herhangi bir yapı tipi sınırlaması görülmemiştir. Saraylar, şehir duvarları, konutlar görülen yapı tipleridir (Resim 2).



Tarihi Kaynaklarda STYT  
**Kaynak :** (Jaquin, 2008)

Ait Benhaddou Köyü, Fas  
**Kaynak:** (URL-12)

**Resim 2.** Tarihi Belge ve Köy Yerleşimi

Yeni yapım sistemlerinin gelişmesiyle STYT'nin eski ve çağdışı bulunduğu dönemler olsa da kullanılan kaynakların sınırlı olması, yeni kullanılan malzemelerin nakliye, temin, eleman yetiştirme maliyetleri ve zorlukları, toprak yapılara olan ilginin her dönem sürmesini sağlamıştır. Birinci Dünya Savaşı'ndan sonra Almanya'da ortaya çıkan barınma sorunları, temini kolay, maliyeti düşük ve işçiliği basit olan toprak malzemeye olan ilgiyi yeniden canlandırmış ve bunun üzerine çalışmalar yürütülmüştür. Toprak yapıların geliştirilmesi için 19.yy'da enstitüler kurulmuş, halk eğitime çalışılmıştır (Kafesçioğlu, 1980).

Günümüzde yaygın olarak kullanılan çelik ve betonarme yapım sistemleri, çimento ve çelik üretimi sırasında harcanan yüksek enerji ve ortaya çıkan atıklar sebebiyle çevresel etki açısından sorgulanmaktadır. Bu soruna karşı gündeme getirilen alternatif tekniklerden birisi de STYT ile yapılar üretmektir. Geleneksel STYT, gelişmemiş ve gelişmekte olan ülkelerde kısa süreli konut ihtiyacının karşılanması gereken doğal afet, savaş gibi durumlarda geçici veya ekonomik yetersizliğin bulunduğu bölgelerde kalıcı yapı olarak hala kullanılmaktadır. STYT yapılar, gelişmiş ülkelerde konu hakkında yapılan araştırmalar sonucunda hazırlanmış teknik yapım kodlarına uygun olarak inşa edilmektedir. Stabilizasyonu sağlamak için eklenen çelik elemanlar ve çimento katkısı ile betonarme yapım kodları altında yer almaktadır (Windstorm & Schmidt, 2013).

### **SIKIŞTIRILMIŞ TOPRAK YAPIM TEKNİĞİ (STYT)**

Toprağın ana malzeme olarak kullanıldığı ve yapının bu toprağın üst üste katmanlar halinde kalıplar arasında bir ekipman ile sıkıştırılması sonucu elde edilen duvarlar sayesinde taşındığı, toprak esaslı yığma yapım sistemine STYT denilmektedir. Günümüze kadar gelen örneklerin çoğunda sistemin

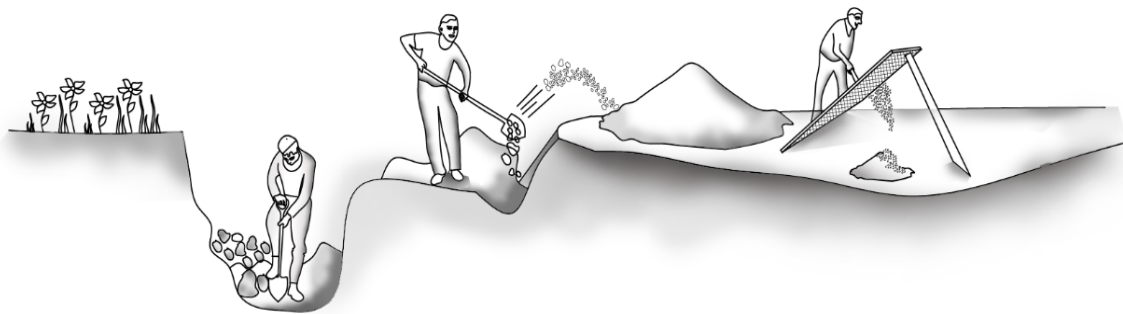
taşıyıcı duvarların oluşturduğu yapılardan meydana geldiği görülmekle birlikte çatı, döşeme ve mobilyalarda da bu tekniğin kullanıldığı görülmüştür (Gramlich, 2013). Ülkemizde görülen bir diğer örnek tipi ise mezarlardır (Resim 3). Dövme kerpiç yapım tekniği ile sıkıştırılmış toprak bloklarından oluşan mezarlara, Bursa ili, Nilüfer ilçesi, Gölyazı Mahallesi'nde yer alan ve antik coğrafyada Bithynia ile Mysia Bölgeleri'nin güney sınırında bulunan Apollonia kentinin Nekropolü'nde rastlanmaktadır (Ercan, 2020). Dünyada ise özellikle Güney Asya Bölgesi'nde hala aktif olarak kullanılan teknik ile inşa edilen yapılar bulunmaktadır (Shrestha, ve diğerleri, 2020). STYT; toprak seçimi, bağlayıcı eklenmesi, su kullanımı, kalıp kurulumu, karışımı yerleştirme, sıkıştırma, kütleme ve yüzey bitirme aşamalarından oluşmaktadır.



**Resim 3.** Yapı dışındaki STYT örnekleri

#### Toprak seçimi

STYT ile yapılmış elemanların yapım prensibi geçmişten günümüze çok büyük değişikliğe uğramamıştır. Kullanılacak olan toprak yapının konumlanacağı araziden temin edilmektedir. Küçük ölçekli yapılarda kullanılan toprak tipi belirli bir kaynaktan alınmakta, yapı ölçeği büyüdükçe kaynak çeşitlenmekte ve farklılaşmaktadır. Kaynak için seçilmesi gereken toprak katmanı organik bileşenlerden yoksun, mineral bakımından zengin olmalı ve işlem sırasında tarım arazilerine zarar vermektan kaçınılmalıdır. Bu noktada atılması gereken ilk adım tarım için kullanılacak olan organik bileşenlerce zengin, mineral bakımından eksik ilk toprak katmanını sıyırmaktır (Çepel, 1988). Üst katman sıyırıldıktan sonra zaman içinde yağışlarla birikmiş kahverengi ve kırmızı renkli, mineralli topraklar seçilmeli ve kullanılmalıdır (Resim 4).



**Resim 4.** Toprağın Alt Katmanlardan Alınması, Elenmesi ve Kurumaya Bırakılması Süreci

Seçilen toprak atmosferik nem ile dengeleninceye kadar su kaybedeceğinden kurumaya bırakılmalıdır (Çepel, 1988). Nem oranı dengelenmeden malzemenin kullanılması eleman veya duvar üretiminde rötre çatlakları oluşturabilmektedir. Toprağın nem oranı dengeye geldikten sonra içerisinde bulunan büyük çakıl parçalarının ayıklanabilmesi için elenmesi gerekmektedir. Böylelikle sıkıştırma işlemi sırasında

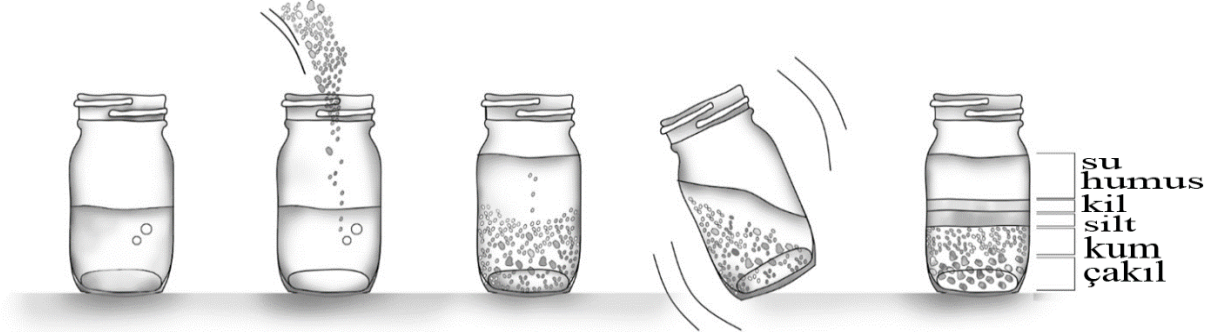
homojen yapı içinde boşluklar oluşması önlenmektedir. Sıkıştırma işleminin asıl amacı toprak içerisindeki boşluklu yapıyı azaltmak ve toprağın basınç dayanımı arttırmaktır (Kafesçioğlu, 1980). Toprak elendikten sonra kuru karışım iyi karıştırılmalı ve tanecik boyutları toprağın geneline eşit dağıtılmalıdır. Toprak karışım içerisinde hacimce %70'lik bir orana sahip olmalıdır. %30'luk oran ise karışıma eklenecek olan katkı maddeleri ve kumdan oluşmaktadır (URL-8).

### Bağlayıcı Eklenmesi, Niteliği ve Stabilizasyon

Eleme işlemi yapıldıktan ve gerekli malzeme elde edildikten sonra yapılacak olan işlem, uygun toprak karışımını oluşturmaktır. Geleneksel STYT ile üretilen yapıları yatay yüklere ve atmosferik etkilere karşı daha dayanıklı hale getirebilmek için stabilize etmek gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Stabilize etme yani malzemeyi kararlı hale getirme, sağlamlaştırma amacı ile yapılmaktadır. Bu noktada STYT elemanlar, stabilize edilmemiş ve stabilize edilmiş uygulama olarak iki başlık altında incelenmektedir.

Hacimce %70 oranında toprak kullanılması gereken karışımda, kullanılacak olan toprak kendi içerisinde bileşenlerine göre oranlanmalıdır. Bu bileşenler toprak yapısını belirlemektedir ve gerekli koşullarda toprak bileşen oranları malzeme ekleme veya çıkarma yoluyla değiştirilebilmektedir. Stabilize edilmemiş elemanlarda, düzgün dağıtılan toprak taneciklerinin bir arada kalmasını sağlayacak ve toprak içerisinde bağlayıcı görev üstlenen öge, toprakta bulunan minerallerdir. Kumların kimyasal olarak ayrışması sonucu ortaya çıkan kil minerali, kuvvetli bir bağlayıcıdır. Kil taneciklerinin yapışma özelliğine kohezyon denmektedir. Kohezyon davranışının yüksek olması bir elemanda beklenen bir davranıştır ve yüzlerce yıllık yapıların günümüze kadar ulaşmasında büyük rol oynamıştır. Toprakta yaklaşık %25 oranında kil bulunması ölçü olarak uygun kabul edilmektedir (URL-8). Bu oranın aşılması kil taneciklerinin ortamda bulunan suyu kendine çekmesine yol açmakta ve su miktarı arttıkça toprağın balçık hale gelme riski artmaktadır (Aghazadeh, 2011). Toprağın sıvılaşması taşıyıcı sistemin basınç dayanımının azalmasına sebep olmaktadır.

Toprakta bulunan bileşen miktarı profesyonel yöntemler ile ölçülemediği koşullarda basit bir deney düzeneği ile ölçülebilmektedir. Kullanılacak olan topraktan alınan örnek ve su ile ölçüm yapılabilmektedir. Uygun ölçülerde bir kavanoz ya da şeffaf bir şişe yarısına kadar su ile doldurulur daha sonra örnek toprak şişenin boşta kalan yarısını doldurabilecek şekilde su içerisine boşaltılır. Sıvı ve katı miktarı sallamaya izin verecek ölçülerde olmalıdır. Oluşan karışım kuvvetli şekilde karıştırılmalıdır ve karıştırıldıktan sonra bir gün boyunca beklemeye alınmalıdır. Bir gün bekledikten sonra kavanoz içerisindeki karışımın katman katman ayrıldığı ve içerisindeki bileşenlerin ağırlıklarına göre çökeceği görülecektir. Hafiften ağıra yani üstten alta doğru humus, su, kil, silt, kum ve çakıl şeklinde bir yerleşim görülecektir (Resim 5). Bu aşamadan sonra yapılması gereken karışımın katı parçacıklardan oluşan kısmının bütünü ölçmek daha sonra ise oluşan her katmanı ayrı ölçmektir. Örneğin; 7cm'lik bir katı karışımın 2 cm'si kil katmanından oluşuyorsa bu 100'e oranlanmalıdır. Böyle bir örnekte %28.5 oranında bir kil yüzdesi çıkacaktır. %25 oranı toprakta bulunması gereken kil oranıdır ve bu oran aşıldığı için toprağa kum eklemesi yapılabilir. (Sammis, t.y.)



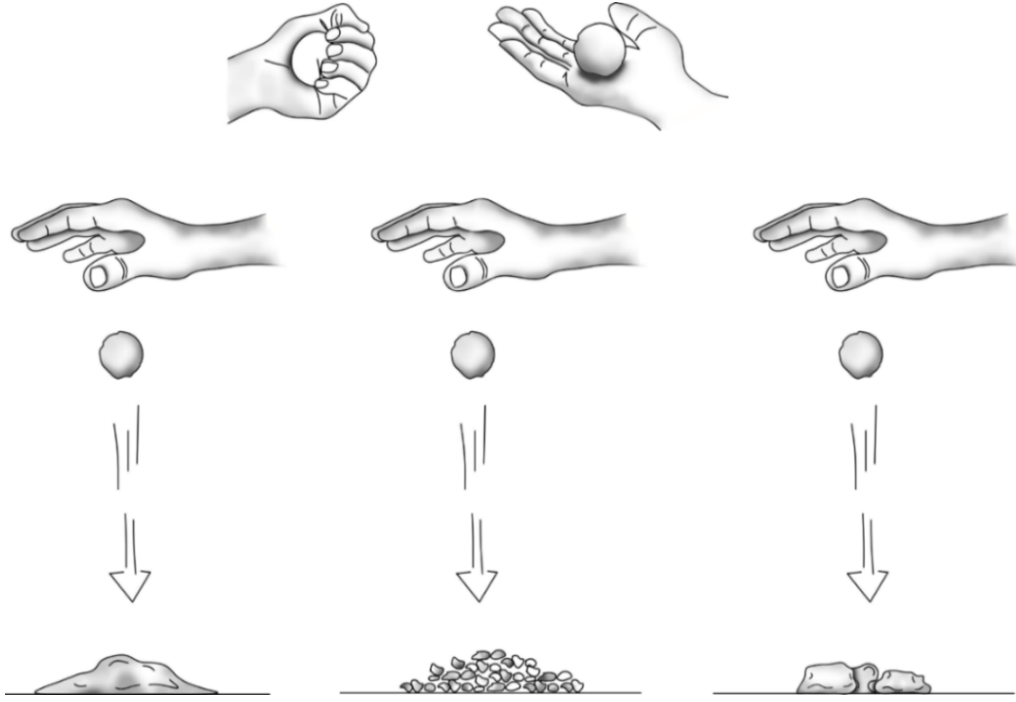
**Resim 5.** Toprak Bileşenlerinin Analiz Edilmesi Deney Düzeneği

STYT elemanlarını stabilize etmek için günümüzde en çok uygulanan yöntem toprak karışımına eklenen katkı maddeleridir. Toprakta bulunan kil miktarı, stabilize edilmiş teknikte bağlayıcılığı sağlayabilmek adına yeterli değildir. Çalışmanın devamında stabilize edilmiş olarak kabul edilen geliştirilmiş teknikte kuru toprak karışımına eklenen çimento veya puzolan; kum ve su ile birleşerek toprağın bir bütün olarak hareket etmesini ve beton bir eleman gibi homojen davranmasını sağlamaktadır. Bahsedilen katkı maddeleri, tekniği stabilize eden öncelikli unsurlardır. Katkı maddeleri STYT'nin basınç dayanımını arttırmakla birlikte temin edilen toprağın verimsiz olması yani bağlayıcılık düzeyinin yeterli olmaması durumunda bile toprağı bağlayıcılık açısından uygun hale getirebilmektedir (Windstorm & Schmidt, 2013). Burada dikkat edilmesi gereken unsur çimento miktarının, elemanın basınç dayanımına yapacağı etkinin bilinmesidir. Çimentonun eklendiği durumlarda toprağın kum oranı arttırılmalı ve kil oranı düşürülmelidir (Maniatidis & Walker, 2003). Uygun görülen çimento miktarı iyi stabilize edilmiş bir duvar için %10 oranında olmalı, bu oranın ölçülemediği durumlarda 13 kürek kuru toprak karışımına 1 kürek çimento atılması önerilmektedir (Easton & Easton, 2012a). Bu oran deprem bölgelerinde %25-40 değerlerine çıkarılabilir. Çimento miktarının artması sistemin güneş ışınları, sıcaklık, ıslanma-kuruma, donma-çözünme gibi atmosferik etkilere karşı durabilitesini arttıran bir etkidir (Paul A. Jaquin, 2008).

Karışımı stabilize edebilmek adına eklenen katkı maddelerinin yanı sıra uygulanabilecek farklı yöntemler de bulunmaktadır. Taşıyıcı duvarların içerisine yerleştirilen çelik elemanlar, donatı yerleştirme ve duvarların güçlü bir temel üzerine oturtulması gibi uygulamalar da taşıyıcı sistemi stabilize edebilmek için geliştirilen yöntemlere örnektir.

### **Su Etkinliği**

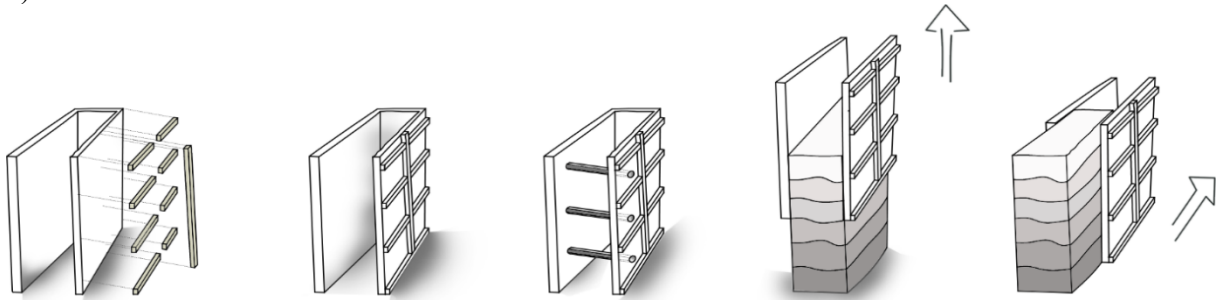
Karışımında önemli olan diğer bir unsur ise su miktarının belirlenmesidir. Eklenmesi gereken su miktarı için kesin bir oran bulunmamakla birlikte toprağın cinsi, mineral miktarı, kum miktarı gibi olgular su miktarının belirlenmesinde etkili olmaktadır. Bu miktarın belirlenmesi için yapılacak laboratuvar deneylerinin yanı sıra sahada uygulanabilecek pratik bir deney bulunmaktadır. Sahada hazırlanan karışım avuç içerisinde top haline getirildikten sonra 1m yükseklikten bırakılmakta, yere düşen toprak balçık olarak duruyorsa çok nemli, ufalanıyorsa çok kuru ancak dört ya da beş parçaya ayrılıyorsa uygun nemlilik oranında değerlendirilmektedir (Resim 6). Toprak karışımında bulunan fazla su miktarı, toprak içerisinde bulunan organik bileşenlerin farklılaşmasına, çiçeklenmesine neden olabileceği gibi basınç dayanımını da düşürmektedir (P. A. Jaquin vd., 2009). Köklenmek ve bunun için kendine yer açmak isteyen organik bileşenlerin taşıyıcı sistemde çatlaklara sebep olacağı ve strüktürel problemlere yol açabileceği göz önünde tutularak, su miktarı konusunda dikkatli davranılmalıdır.



**Resim 6.** Toprak Yapısının Uygunluk Analizi

### **Kalıp Kurulumu ve Farklılıklar**

Toprak karışımı belirlenen ölçülerde hazırlandıktan sonra hava koşullarından etkilenmeyecek şekilde kalıplara dökülene kadar muhafaza edilmelidir. Kalıplar istenilen duvar kalınlığında hazırlanmalı ve birleştirilmelidir. Geleneksel örnekler incelendiğinde kalıpların ahşap kalıplar olduğu, ahşap desteklerle yatayda ve düşeyde desteklendiği görülmektedir (Easton & Easton, 2012a). Kalıp kurulumu, STYT’de en çok işçilik ve zaman gerektiren kısımdır. Kalıplar toprak basıncına dayanıklı yapılmalı ve özellikle kalıpların alt kısmı daha çok basıncı karşılayacağı için daha dayanıklı hale getirilmelidir. Bazı örneklerde bir kalıbı diğerine bağlamak içine duvarın içerisinden geçirilen ahşap elemanlar görülmektedir. Bu elemanlar duvar prizini aldıktan sonra çıkarılmakta ve boşluklar toprak harçla doldurulmaktadır. Boşlukların istenmediği durumlarda ise kalıplar üstten iplerle bağlanmakta ve bu sayede boşluksuz duvar bitişleri elde edilebilmektedir (Gramlich, 2013). Ahşap kalıp kullanılan örneklerde duvar bitişlerinde pürüzlü yüzeyler oluşabilmektedir. Bu sorunu çözebilmek için alınabilecek bir önlem kalıpların yağlanmasıdır. Temiz bitişler istenen günümüz uygulamalarında kullanılan kalıplarda ise pürüzsüz yüzeylere sahip olan kontrplak levhaların kullanımı yaygındır (Resim 7).



**Resim 7.** Kalıplama tekniği

Yaygın olarak kullanılan iki çeşit kalıplama yöntemi bulunmaktadır. Bunlar yatay kalıplama ve düşey kalıplamadır. Düşey kalıplamada istenilen duvar yüksekliğine kadar kalıp düşeyde kaydırılarak toprak



dökülmekte, yatay kalıplamada ise belirli ölçülerde hazırlanan kalıp yatayda kaydırılarak toprak döküm işlemi yapılmaktadır.

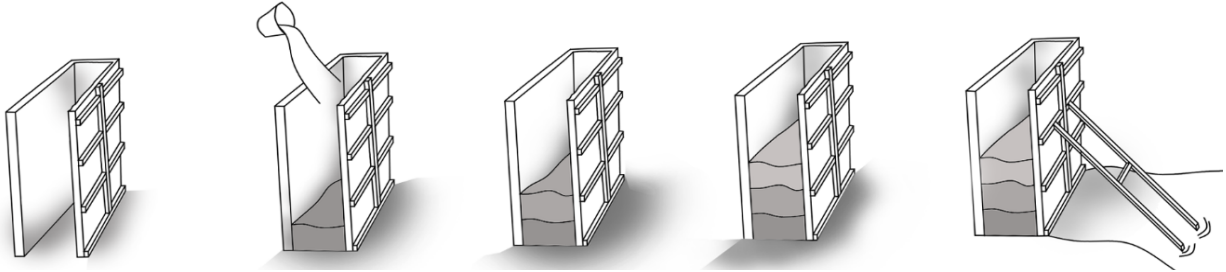
### Karışımı Yerleştirme

Kalıplar hazırlandıktan sonra izlenen diğer aşama, hazırlanan toprak karışımının kalıplar içerisine yerleştirilmesidir. Hazırlanan toprak karışımı, uygun koşullar varsa özel makineler yardımıyla, makinelerin kullanımına elverişli koşullar yoksa elle karıştırılmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli husus çimentonun prizini almadan önce döküm işleminin yapılması ve sıkıştırma işlemine geçilmesidir. Döküm işlemi, makineler veya el (kürek ve kova kullanımı) ile yapılabilmektedir (Easton & Easton, 2012b) (Resim 8).



**Resim 8.** Karışımın Kalıpla Doldurulması ve Sıkıştırılması Süreci

Toprak harç katmanlarının eşit ölçülerde dökülebilmesi için katmanlar döküldükten sonra ölçülmelidir. 100mm - 150mm aralığında dökülen toprak harcın yüksekliği her katman sıkıştırıldıktan sonra yaklaşık %50 azalacak ve bir katmanın yüksekliği 60-100 mm arasında bir değere sahip olacaktır (Bui vd., 2014) (Resim 9).



**Resim 9.** Karışımın Kalıpla Katmanlar Halinde Dökülmesi Süreci

Günümüzden örnekler incelendiğinde her katmanın farklı görüldüğü duvarlar göze çarpmaktadır. Estetik kaygılarla yapılan bu uygulama için toprağı demir oksit gibi katkıları eklenmektedir. Dökülen her katmanda farklı renkler elde edebilmek için, her katman için farklı oranlarda, farklı katkıları kullanılmalı ve her katmanın toprağı ayrı olarak karıştırılmalıdır (Easton & Easton, 2012b).

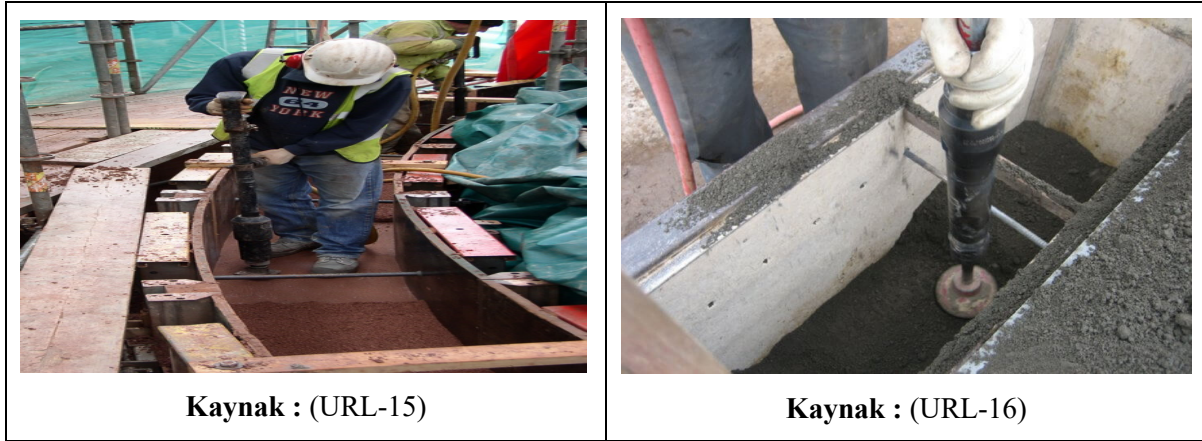
Duvarlarda kapı ve pencereler için boşluklar bırakmak gerekmektedir. Bu noktada yapılması gereken, hazırlanan kalıpların içerisine kör kalıp yerleştirmek ve bu noktalara toprak dökülmesini engellemektir. Geçmiş örnekler incelendiğinde pencere ve kapı boşluklarını oluşturmak için ahşap lento elemanlar kullanıldığı görülmektedir. Günümüzdeki örneklerde bu tercihin betonarme ve çelik lentolardan yana kullanıldığı görülmektedir.

### Sıkıştırma İşlemi

Toprak döküm işleminden sonra yapılması gereken toprağı sıkıştırma işlemidir. Sıkıştırma işlemi mekanik bir iyileştirme işlemidir. Gelişmemiş ülkelerde ve geleneksel yöntemin kullanıldığı örneklerde sıkıştırma işlemi ağır ahşap tokmaklar ile yapılmaktadır (Easton & Easton, 2012b). İnsan gücünün aktif olarak kullanıldığı işlem sırasında amaç toprak içerisindeki tanecikleri birbirine yakınlaştırmak ve boşlukları doldurmaktır. Kalıp boyunca dökülen toprak yumuşak şekilde bir sefer sıkıştırıldıktan sonra başlangıç noktasına geri dönülerek aynı katmana en az beş kez sıkıştırma işlemi uygulanmalıdır (URL-7).

El ile yapılan sıkıştırma işleminde iş gücü faktörünün etkin olduğu görülmektedir. Bununla birlikte nitelikli elemana ihtiyacı bulunmayan geleneksel sıkıştırma işlemi, kısa sürede tamamlanan eğitimler sonrasında uygulanabilmektedir.

Günümüzde kullanılan sıkıştırma araçları daha gelişmiştir. Yaygın olarak kullanılan elektrikli veya havalı sıkıştırma tabancalarıdır. Yüksek sayıda vuruş yapabilmesi sayesinde sıkıştırma süresi kısalmaktadır. Sıkıştırma tabancaları dakikada yaklaşık 150 vuruş yapabilmektedir (URL-5). Bu sayede insan gücüne olan ihtiyaç azaldığı için eleman ihtiyacı da aynı oranda azalmaktadır (Resim 10). Sıkıştırma işlemi her iki yöntemde de duvar yüksekliği tamamlanana kadar devam etmektedir.



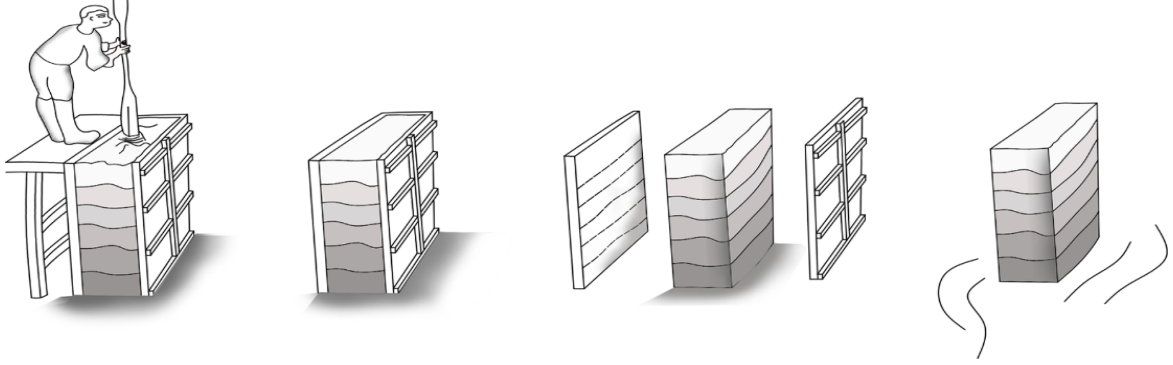
Resim 10. Havalı Tabanca ile Sıkıştırma

### Kürleme

Kalıplar alınma süresi; duvar kalınlığı, duvar hacmi, nemlilik oranı gibi değişkenlere göre farklılıklar göstermektedir. Duvar içindeki çimentonun prizini almaya başlaması genellikle 2 saat içerisinde başlamakla birlikte hava koşulları bu etki için belirleyici olmaktadır. Kalıplar alındıktan sonra duvarın nem kaybetmeye devam edeceği, sıcak rüzgârlar ve direk güneş ışığına maruz kalma halinde buharlaşmanın artacağı ve priz süresini daha da kısacağı göz önüne alınmalıdır. Duvarı direk güneşe maruz bırakmak yerine örterek gölgede kurutmak tercih edilmelidir. Hızlı kuruma sebebiyle oluşacak rötre çatlaklarının önüne geçilebilmesi için duvar kalıplar söküldükten sonra en az 7 gün süreyle nemli tutulmalıdır (Easton & Easton, 2012a).

### Yüzey Bitişi

Taşıyıcı duvar tamamen kuruduktan sonra çeşitli kaplama elemanlarının kullanılması veya yüzeyleri açıkta bırakmak tercihe göre değişebilmektedir. Örnekler incelendiğinde geleneksel örneklerin toprak bazlı, daha sıvı bir harçla sıvandığı görülmekle birlikte, yüzeylerin brüt, kaplamasız bırakıldığı örnekler de mevcuttur. Günümüzde yüzeyleri katmanlarıyla görünür şekilde bırakmak çoğunlukla tercih edilmektedir (Resim 11).



**Resim 11.** Karışımın Sıkıştırılması, Kalıp İçerisinde Beklemeye Alınması ve Kalıbın Alınması

## TEKNİĞİN YAPI FİZİĞİ, MÜHENDİSLİĞİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Yapıların tasarım aşamasından tamamlanmasına kadar geçen süreçte birçok parametre dikkate alınmaktadır. Bu parametreler her geçen gün değişmekte ve bu sayede yapım teknikleri de gelişmektedir. Yapıdan beklenen, kullanıcıya gereken konforu sağlaması, yükler altında dayanımının yüksek olması, malzemenin ve enerjinin etkin kullanılması sonucu sürdürülebilir olmasıdır. Sıkıştırılabilir Toprak Tekniği günümüz tekniklerine kolay uyum sağlayabilen bir tekniktir ve bu tekniğin uygulandığı yapılardan bahsedilen yapı davranışını karşılaması beklenmektedir. Teknik, gereken termal ve akustik konforu sağlayabilmesi, yangına karşı dirençli olabilmesi açısından Yapı Fiziki biliminin, yatay yükler altında güçlendirilebilir olması, farklı strüktür sistemleri ile çalışabilmesi açısından Yapı Mühendisliği biliminin araştırma konusudur. Doğal bir malzeme kullanılması ve gömülü enerjisinin düşük olması bakımından da sürdürülebilirlik ilkesi bağlamında incelenmektedir.

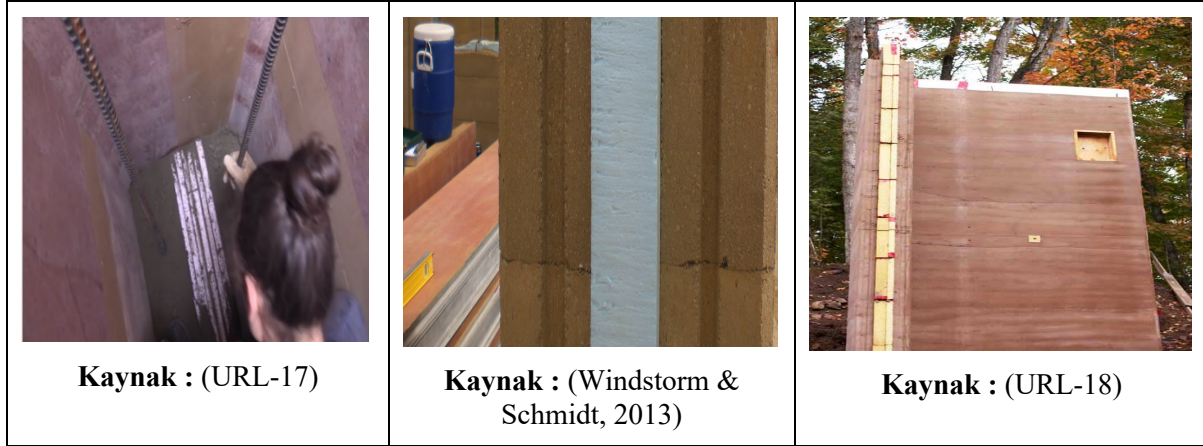
### Yapı Fiziki

Günümüzde yapılar sadece mimarlık ve mühendislik disiplinlerinin ortaya koyduğu kavramlar çerçevesinde oluşmamaktadır. Kullanıcı konforunu sağlamak, nitelikli ve sağlıklı yapılar yapabilmek adına ısı, ses, yangın gibi Yapı Fiziki biliminin araştırma konusu olan etkenlerin yapıyla olan ilişkisini kontrol edebilmek gerekmektedir. STYT ile üretilmiş duvarların ısı yalıtımı konusunda çok büyük avantajlar sağladığı genel bir kanı olmasına rağmen bu ölçüt bazı değişkenler ile analiz edildiğinde tartışmaya açık bir konudur. Elemanın ısı avantaj yaratabilmesi tek başına elemanın malzeme özelliğiyle sınırlı değildir. Elemanın kesit kalınlığı, ısı yalıtımı için ek bir malzeme bulundurup bulundurmadığı, yansıtıcılığı ya da tutuculuğu malzeme ile değerlendirilmelidir. STYT elemanlar genel olarak kalınlıkları sebebiyle avantajlı olarak kabul edilirler. Elemanlar ısı kaynağına maruz kaldığında ısıyı emer, depolar ve çevredeki sıcaklık duvar sıcaklığının altına indiğinde ısıyı serbest bırakırlar. Yapılan çalışmalar toprak duvarların beton ve tuğla duvarlara göre daha iyi yalıtım sağladığını göstermektedir (Soebarto, 2009).

Dış cephede kullanılan STYT duvarlar özellikle yaz aylarında dışardaki sıcak havanın içeri girme süresini uzatmakta ve ısı konforu koşullarına olumlu etki etmektedir. Bununla birlikte kış aylarında aynı duvarın güneş ışınlarının yapı içerisine girmesini engelleyeceği düşünülerek yapının güneşe karşı konumlanmasının iyi ayarlanması ve duvar boyu elde edilen açıklıkların iyi planlanması gerekmektedir (Soebarto, 2009).

Günümüzde yaygın olarak kullanılan ısı yalıtım malzemelerini STYT duvarlarda kullanmak mümkündür. Uygulama, ısı yalıtım malzemesinin kalıp içerisine yerleştirilmesi ve etrafının toprak karışımı ile doldurulup sıkıştırılması ile yapılmaktadır (Resim 12). Isı yalıtım malzemesinin kullanılma durumuna göre konutlar arasında belirli dönem ve sürelerde alınan ölçümlerle yapılan çalışmalarda, ısı yalıtımı yapılmış konutlarda kış aylarında 5 dereceye varan sıcaklık artışları tespit edilmiştir (Soebarto, 2009). Isı yalıtım malzemesi olarak Ekstrude Polistren (Xps) levhalar yaygın olmakla birlikte biofoam

olarak adlandırılan doğal yalıtım malzemesi de alternatif olarak araştırılmaktadır (Windstorm & Schmidt, 2013).

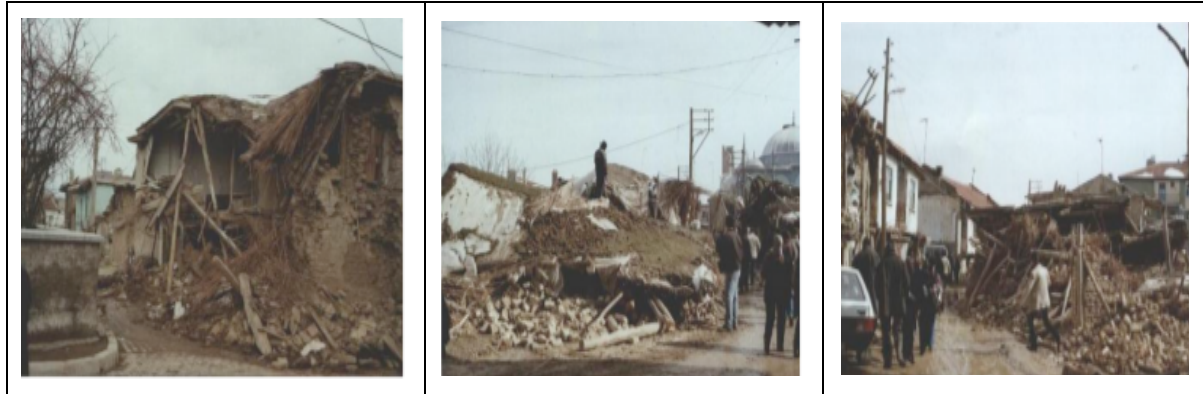


**Resim 12.** Yalıtım Kullanımı

STYT tasarımdan itibaren iyi planlanması gereken bir tekniktir. Duvar kalınlıkları günümüz malzemeleriyle örülen duvarlardan kalındır ve üretimi tamamlanan duvarlarda değişiklik yapmak kolay değildir. Bununla birlikte duvarların beton blok duvar ya da tuğla duvara göre kesit kalınlığının fazla olması, modüler sistemlerde sık görülen boşluklu yapıya sahip olmaması, sesin görece daha az iletilmesini sağlamaktadır. Ses yalıtımı, duvarlarla birlikte döşemelerde de STYT kullanımıyla arttırılmaktadır (URL-3). Yanmayan bir malzeme olan topraktan üretilmiş duvarlar, kalınlıkları ile orantılı olarak 4 saate yakın yangın dayanımı sağlayabilmektedir (URL-4).

### Yapı Mühendisliği

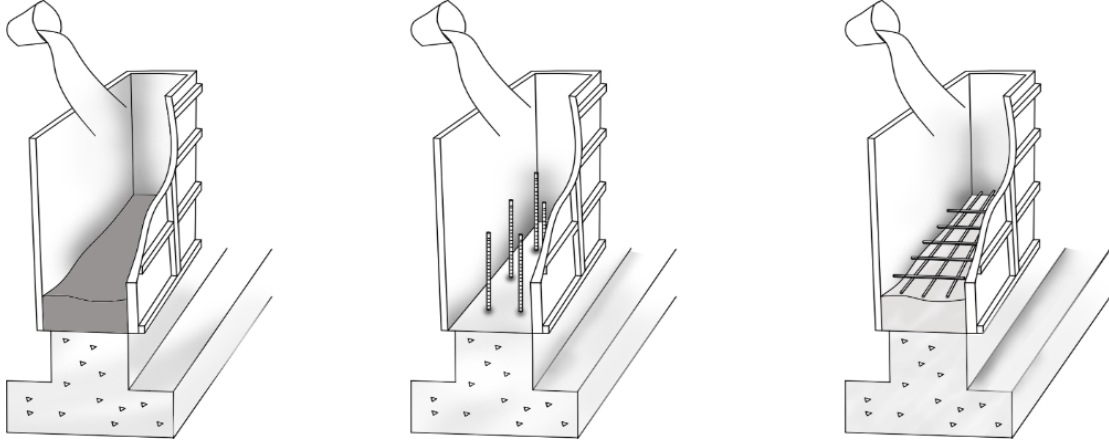
Deprem, taşıyıcı sistemleri zorlayan ve hasarlar oluşturan bir etkidir. Güney Asya Bölgesi'nde aktif olarak kullanılan STYT yapıların deprem etkisi ile %70'e varan bölümünde hasar görülmüştür (Shrestha vd., 2020). Ülkemizde yaşanan depremlerde hasar gören toprak yapılar bulunmaktadır (Resim 13).



**Resim 13.** Konya Akşehir Bölgesi Deprem Sonrası Kerpiç Yapılar  
**Kaynak :** (Koçu vd., 2004)

Bu sebeple deprem bölgelerinde toprak duvarların hatıllarla desteklenmesi ve duvar köşe birleşimlerinin iyi yapılması gerekmektedir. Geleneksel uygulamada yatay ahşap elemanlarla teşkil edilen hatıllar, günümüz uygulamalarında betonarme ve çelik hatıl uygulamaları ile çeşitlendirilmiştir. Bununla birlikte STYT duvarlar düşeyde ve yatayda çelik donatılarla da desteklenebilmektedir. Düşey donatıların yüksekliği gerekli koşullar altında duvar yüksekliği kadar olabilmektedir. Yatay

donatılandırma ise her toprak katmanı döküldükten sonra yerleştirilen çelik elemanlar (donatı, hasır çelik) ile yapılmaktadır, elemanların yerleşiminden sonra toprak dökümü yapılmakta ve sıkıştırma işlemine geçilmektedir (Windstorm & Schmidt, 2013) (Resim 14).



**Resim 14.** Sırasıyla Betonarme Temel Kullanımı, Düşey ve Yatay Donatı Kullanımı

Deprem etkisi altında toprak yapılarında hasar oluşturan başka bir unsur da ağır toprak çatıdır. Deprem sırasında yapıda büyük gerilmelerin oluşmasına yol açan ağır çatıların yerine daha hafif ahşap veya çelik çatılar yapılmalıdır. Yapısal duvarların boyutlandırılması ile basınç, kayma ve düzlem dışı dayanımı ile ilgili tasarımı yığma yapılara oldukça benzerdir (Walker vd., 2005.)

STYT yapıların dayanımı açısından önemli olan diğer bir husus da taşıyıcı duvarların zeminden gelen suyla temasını kesmektir. Temel yalıtımı iyi yapılmış betonarme veya hatıllı taş temeller üzerine toprak duvarlar inşa edilmelidir. Bu koşul sağlanıyorsa duvarlar subasman yardımıyla yükseltilmelidir. Zeminden gelen su dışında yağmur ve kar gibi etkenler de dış cephelerdeki toprak duvarlara olumsuz etki edebilmektedir. Bu sebeple bu teknikle yapılan yapılarda, çatı saçağının yağmur ve kar suyunu duvar yüzeylerinden uzakta tutacak şekilde tasarlanması gerekmektedir. Saçağın yeteri kadar uzun yapılamadığı durumlarda duvar yüzeyine su geçirmez akrilik ve latex katkı maddeleriyle kaplanabilmektedir (Easton & Easton, 2012a).

Kullanılan çelik elemanlar, çimento, ısı yalıtım malzemeleri ve koruma amaçlı kaplamalar STYT yapıları günümüz yapım koşullarına uygun hale getirmekle birlikte, ekonomik olma özelliği ile bilinen tekniği daha maliyetli bir hale getirmektedir.

### **Sürdürülebilirlik Bağlamında İncelenmesi**








STYT, doğaya zararın minimumda tutulmaya çalışıldığı, kaynakların etkin kullanıldığı, doğa kaynaklı malzemelerin kullanıldığı ve bu malzemenin tekrar doğaya katılmasının sağlanabileceği yapım tekniği arayışında son dönemde çok popülerdir. STYT’de kaynak topraktır ve toksik kimyasal bileşenler içermez. Malzeme sağlıklıdır ve kaynak etkin kullanım söz konusudur. Kaynak olarak kullanılacak toprak için tarım toprağı kullanılmaz ve böylece hem toprak katmanına hem de canlıya zarar verilmez (Windstorm & Schmidt, 2013). Kaynak temini en yakın noktadan yapılır ve transfer için enerji sarfı minimumdardır. Ekonomik sürdürülebilirlik anlamında değerlendirildiğinde ucuz bir kaynaktır. Toprak içerisinde bağlayıcı olarak kullanılan katkı maddelerinden incelendiğinde tartışma yaratabilecek unsur çimento kullanımınıdır ancak çimento miktarı bir betonarme yapı uygulamasıyla karşılaştırıldığında çok küçük bir orandadır. Bu etkiyi azaltabilmek için %50 oranında yüksek fırın cürufu eklenebilmektedir (Windstorm & Schmidt, 2013).

## ÖNEMLİ ÖRNEKLER VE GÜNÜMÜZ UYGULAMALARI

Sıkıştırılmış Toprak Yapım Tekniği ile üretilen dünyadan ve Türkiye’den örnekler tarihsel sıralama ile yapı ismi, yapım yılı, yer, tasarımcı veya uygulamacı bilgileri, boyutlar, malzeme ve değerlendirme başlıkları altında Tablo 1 ve Tablo 2 ’de sunulmuştur. Örnek seçiminde, yapım tekniğinin farklı coğrafyalarda uygulanması, yapı fonksiyonlarının çeşitliliği ve kullanılan malzemenin stabilizasyon tercihi dikkate alınmıştır.

Günümüzde yapılan uygulamalara örnek olarak dünyadan iki, Türkiye’den bir yapı örneğine bu bölümde detaylı yer verilmiştir. Bu örnekler kullanıcı ve tasarımcı odaklı olarak farklılıklar göze çarpsa da genel olarak STYT’nin temel yapım prensiplerinin uygulandığı örneklerdir. Taşıyıcı duvar kalınlığının, destekleyici taşıyıcı unsurların varlığına bağlı olarak değişkenlik gösterdiği dünyadan verilen örneklerde STYT, betonarme ve çelik eklerle entegre edilmiştir ve bu sayede duvar kalınlıkları azaltılmıştır. Yapım tekniğinin Türkiye’deki günümüz uygulamaları az sayıdadır ve verilen örnekte ahşap destek elemanları kullanılmıştır. Örneklerin bütününde hava koşulları göz önünde bulundurulmuş ve önlem alınmıştır. Zeminle bağlantıyı kesmek adına yapı yükseltilmiş ya da duvarları koruyabilmek adına saçaklı çatılar kullanılmıştır. Yapıların dikkat çeken bir diğer ortak özelliği ise sürekli veya radye betonarme bir temel üzerine inşa edilmeleridir.

Tablo 1. Dünyadan STYT Örnekleri

DÜNYADAN ÖRNEKLER							
							GÖRSEL
Kaynak : URL-22	Kaynak : URL -21	Kaynak : (Bresner, 2008)	Kaynak: (Joy, 2011)	Kaynak:(Ginex, 2010)	Kaynak: (Melesio, 2014)	Kaynak : URL-19/20	
The Great Wall of WA	Tucson Retreat	Nk'Mip Çöl Kültür Merkezi	Büyük Djenne Camisi	Ait Benhaddou	Güneş Piramidi	Çin Şeddi Batı Kısmı	YAPI
2014	2012	2006	13.yy Başlangıç 1907 Bitiş	11.yy-17.yy	MS 1.yy'da başlanmıştır.	MÖ 407- MS 17.yy'a kadar uzatılmıştır.	TARİH
Kuzeybatı Avustralya	Arizona, ABD	British Columbia, Kanada	Djenne , Mali, Afrika	Ouarzazate Bölgesi, Fas	Teotihuacan, Meksika	Kuzeybatı Çin Sınırı, Çin	YER
Luigi Rosselli	DUST	DIALOG	—	—	—	—	TASARIMCI UYGULAYICI
3.2 metre	4.8 metre	5.5 metre	Merkez Kule 16 metre	—	Tepe Noktası 75 metre	5-8 metre ( min 3 insan boyu)	YÜKSEKLİK
230 metre	338 m2	39.000 m2	Açık- Kapalı Alan Toplam 5625 m2	163.200 m2	Taban Alanı 795m2	21.196 km	UZUNLUK ALAN
Stabilize Edilmiş Toprak Yapı	Stabilize Edilmiş Toprak Yapı	Stabilize Edilmiş Toprak Yapı	Stabilize Edilmemiş Toprak Yapı	Stabilize Edilmemiş Toprak Yapı	Stabilize Edilmemiş Toprak Yapı	Stabilize Edilmemiş Toprak Yapı	STRÜKTÜR
Kalınlığı artırılarak duvarların termal kütle olarak davranması sağlanmıştır.	Sürdürülebilir bir yapıdır. Betonarme elemanlar yatay yükler için kullanılmıştır.	Kuzey Amerika'da bulunan en büyük STYT yapısıdır.	En Büyük Kerpiç Camidir.Sahel-Su denez mimari üslubu ile inşa edilmiştir.	UNESCO Dünya Miras Listesinde. Berberi mimarisi örneğidir.	Dünya'daki en geniş 3.piramittir. 2 milyon ton toprak kullanılmıştır.	Dünya'nın en uzun savunma duvarıdır.Yer yer taş ve tuğla kullanılmıştır.	DEĞERLENDİRME

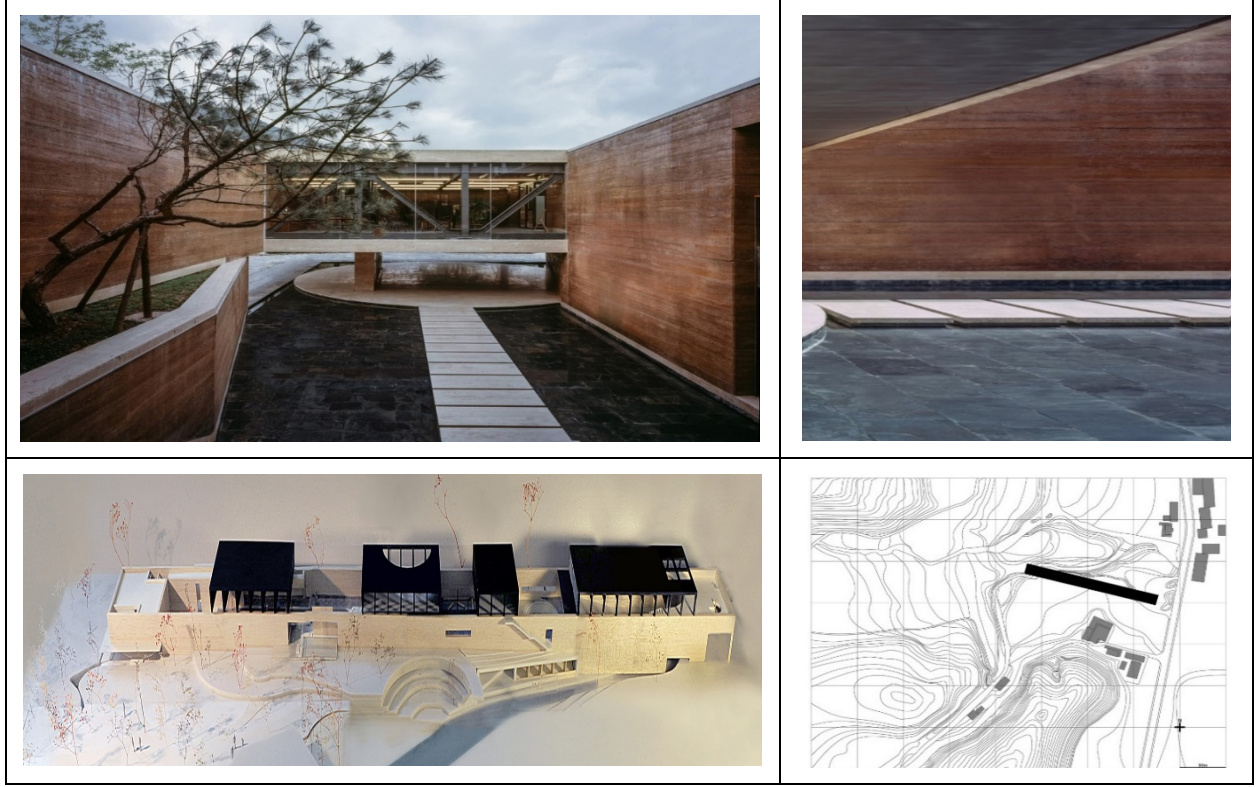
**Tablo 2.** Türkiye’den STYT Örnekleri

<b>TÜRKİYE’DEN ÖRNEKLER</b>			
 Kaynak : E.Alışan Arş.	 Kaynak : URL-23	 Kaynak : (Coşkun,2005)	<b>GÖRSEL</b>
<b>A.Ö Evi</b>	<b>Ax u Av Komün Köy</b>	<b>Alker Evi</b>	<b>YAPI</b>
2017-2019	2011	1995	<b>TARİH</b>
Köyceğiz, Muğla	Viranşehir, Şanlıurfa	Ayazağa, İstanbul	<b>YER</b>
Erkan Alışan	Metin Yeğın	Prof. Dr Bilge Işık Prof. Dr Ruhi Kafesçioğlu	<b>TASARIMCI UYGULAYICI</b>
2.9 metre	2.7 - 3.2 metre	2.8 - 3.2 metre	<b>YÜKSEKLİK</b>
54 m2	140 m2	100 m2	<b>UZUNLUK ALAN</b>
Stabilize Edilmiş Toprak Yapı	Stabilize Edilmiş Toprak Yapı	Stabilize Edilmiş Toprak Yapı	<b>STRÜKTÜR</b>
5.5m yüksekliğindeki taş bir binanın iki cephesine bitişik olarak inşa edilen simetrik iki adet yapıdır.	36 konut planlanmıştır 7 konut tamamlanabilmıştır..Köyde yaşayan 7 aile kendisi üretim yapmaktadır.	Yapılan deneme evlerinden 2.sidir. İTÜ Kampüsü içerisinde yer almaktadır.	<b>DEĞERLENDİRME</b>

### SanBao Peng Müzesi

Yapı Çin’in porselen başkenti sayılan Jingdezhen kentine çok yakın bir noktada konumlanan SanBao köyünde yer almaktadır. 2017 yılında tamamlanan yapı, DL Atelier tasarım ofisi tarafından tasarlanmıştır. Bölge, son yıllarda porselen sanatçıların kendilerine stüdyo kurmak amacıyla buraya yerleşmesiyle popüler hale gelmiştir. Tasarımın bütününde yapı ve ziyaretçiler arasında bir bağ, iletişim kurmak ve gizem duygusunu ziyaretçiye geçirmek istenmektedir. Yapının konumlandığı arazi, nehirlerin döküldüğü bir vadidir ve tasarımda bu doğal örtü ile bir zıtlık yaratmak istenmiştir. Ancak bu zıtlık içerisinde tasarımda kullanılan bazı öğelerle doğaya atıfta bulunulmuştur.

Yapı kütle bazında incelendiğinde vadi boyunca uzanan dar kenarlı bir dikdörtgendir. Lineer formlu yapı 150 metre uzunluğundaki duvarla çevrelenmektedir. Form çizgisel olarak devam ettirilmiş olmasına rağmen ziyaretçiler için tesadüflere göre düzenlenmiş bir plan düzeni kurgulanmıştır (URL-9) (Resim 15).



**Resim 15.** SanBao Peng Müzesi  
**Kaynak :** (URL-9)

Yapı kompleksi kesintisiz STYT duvarlarla çevrelenmektedir. İç mekânların ayrılması için de kullanılmakta olan duvarlar, SanBao Köyü'nde bulunan yerel bir toprak türü ile inşa edilmiştir. Çoğunlukla kırmızı ve kahverengi renkte olan toprak geleneksel STYT prensipleri ile günümüz yapı şartlarına uygun olarak teknoloji destekli olarak inşa edilmiştir. Duvarlar betonarme temellerle desteklenmekte ve zemin bağlantısı kesilmektedir. Kalıp kurulumu yapıldıktan sonra toprak karışımı dökülmüş ve sıkıştırma işlemine geçilmiştir. Müze duvarlarının yapımı için kurulan kalıplar, yukarı doğru hareket ettirilen ve duvar yüksekliği tamamlanana kadar hareket ettirilmeye devam eden kalıp düzenekleridir (URL-9) (Resim 16).



**Resim 16.** SanBao Peng Müzesi  
**Kaynak :** (URL-9)

Yapının bütününde taşıyıcı duvarlar ve çelik elemanlar birlikte kullanılmıştır. Çelik çerçeve sistem elemanları düşeyde toprak duvarların arasında inşa edilmiştir. STYT duvarlarda açılmak istenen



pencere ve kapı boşlukları için yatayda çelik lentolar tercih edilmiştir. Alınan bu önlemler ile yatay yüklere karşı dayanım sağlanmıştır. Yapı birimleri içerisinde yatayda bant pencereler yerleştirebilmek için kör kalıp elemanlardan yararlanılmış, kompleksi çevreleyen toprak duvarlarda yapı ve çevre arasında bir bağ kurabilmek adına boşluklar bırakılmıştır. Toprak duvarların yüzeyleri, katmanları ve toprak dokusunu görebilmek adına sıvanmamıştır (URL-9) (Resim 17).



**Resim 17. SanBao Peng Müzesi**  
**Kaynak : (URL-9)**

### **Tucson Dağı Rehabilitasyon Merkezi**

2012 yılında Sonoran Çölü , Arizona'da tamamlanan yapı, Dust mimarlık tarafından tasarlanmıştır. Yapının konumlandığı alan çok çeşitli canlı yaşamına sahiplik ettiği için amacı doğaya zararı minimum olan, gömülü enerjisi düşük olan ve malzeme etkin bir tasarım yapmak olmuştur. Özel bir konut olarak tasarlanan yapı incelendiğinde, yapı kütesinin çevre ile olan uyumu göze çarpmaktadır. Bina ve çevre ilişkisinde hiyerarşik bir yapılanma olmadığı görülmektedir. Yapı yalnız yükseltilmiş zemin kattan oluşmaktadır. Plan kurgusu yapı kütesinin oluşmasını sağlamaktadır. Uyuma, yaşama , eğlenme gibi fonksiyonlarla bağdaştırılan mekânlar yaratılmıştır ve belirli bir geometrik formdan bağımsız bir kütle meydana getirilmiştir. Doğayla bütünleşik yapı tasarımı fikri planda da etkili olmaktadır. Yaratılan her mekândan diğer mekânlara geçiş için yapının dışına çıkılmakta ve dış mekândan içeriye giriş yapılmaktadır (Resim 18).



**Resim 18. Tucson Dağı Rehabilitasyon Merkezi**  
**Kaynak : (URL -24)**

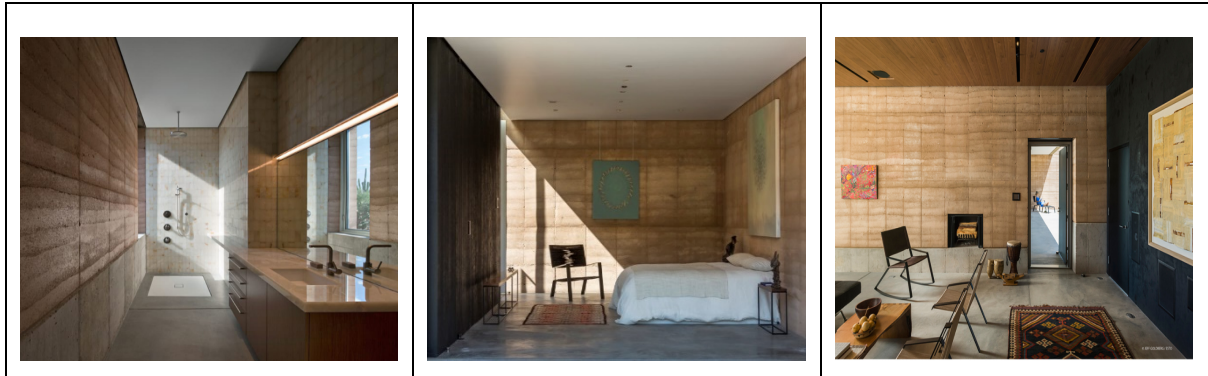
Yapının bütününde sürdürülebilirlik ilkesi doğrultusunda toprak duvarlar kullanılmaktadır. Sıkıştırılmış Toprak Tekniği ile yapılan duvarlar betonarme temel ve subasmanlar üzerinde yükseltilmektedir. Toprak duvarlar betonarme elemanlarla birlikte taşıyıcı sistemi meydana getirmektedir. Toprak duvarlar dış ve iç mekânı ayırıcı ya da iç mekânı bölücü olarak yapıda kullanılmaktadır. Düşeyde ve

yatayda kullanılan betonarme elemanlar sayesinde kapı ve pencere için açılan açıklıklar geçilmektedir (Resim 19).



**Resim 19.** Tucson Dağı Rehabilitasyon Merkezi  
**Kaynak :** (URL -24)

Sıkıştırılmış toprak duvarlar çöl ortamında konumlanmakta olan yapının termal davranışını da etkilemektedir. Termal kütle olarak davranacak ve yaz aylarında fazla güneş ışığının kütle içerisine girmesini engelleyecektir. Kış aylarında ise içerideki ısının kütle dışına kaçışını engelleyecektir. Sıkıştırılmış Toprak Duvarların kullanıldığı bir diğer alan ise ıslak hacimlerdir. Bu alanlarda duvarlardan tesisat geçirilmektedir ancak suyla temasın direk olduğu noktalarda duvarlar betonarme taşıyıcıların üzerinde yükseltilmiştir. Gerekli görüldüğü noktalarda ise sıkıştırılmış duvarlara seramik kaplama yapılmıştır. Yaşama alanlarında kullanılan toprak duvarlarda bir tuğla ya da gazbeton blok duvara asılır gibi aksesuar asıldığı görülmektedir. Konforlu alanlar yaratabilmek adına duvarlarda şömine bacaları açılmıştır. Duvar yüzeyleri ise sıvanmamış, dokusu görünür halde bırakılmıştır (Resim 20).



**Resim 20.** Tucson Dağı Rehabilitasyon Merkezi  
**Kaynak :** (URL -24)

### **BKM Köyceğiz Plato**

Muğla'nın Köyceğiz ilçesi, Döğüşbelen Köyünde bulunan konaklama fonksiyonlu yapı, daha önce başka bir proje için inşa edilmiş mütemadi betonarme temel üzerine yerleştirilmiştir. Planda 10mx32m ölçülerindedir. Kat yüksekliği 3m olan yapının duvar kalınlığı 50cm'dir. İç duvarlarda ise mekânda alan kazanmak amacı ile 25cm'lik kalınlık tercih edilmiştir. Toprak malzemesi alandan temin edilen yapının kapı ve pencere boşluklarında ahşap lentolar kullanılmıştır (E. Alışan, kişisel iletişim, 2021) (Resim 21).



**Resim 21.** BKM Köyceğiz Plato  
**Kaynak :** Erkan Alışan Arşivi

Ahşap kirişlerin kullanıldığı çatı sisteminde örtü malzemesi olarak aşağıdan yukarıya sırasıyla kargı çubukları, izolasyon malzemesi ve sıcaklık etkisini azaltmak için iki kat ahşap kaplama kullanılmıştır. Yapı duvarlarını atmosferik etkilerden korumak için çatı, saçaklı olarak inşa edilmiştir. Ön cephede 4m, arka cephede ise 3m genişliğinde veranda bulunmaktadır (E. Alışan, kişisel iletişim, 2021) (Resim 22).



**Resim 22.** BKM Köyceğiz Plato  
**Kaynak :** Erkan Alışan Arşivi

Islak hacimlerinde su geçirimsiz doğal kireç sıva kullanılan yapının ısıtma ile ilgili tesisatları zemindeki ahşap döşemenin altından geçirilmiştir. Uygulaması Erkan Alışan tarafından yapılan yapı, 2015-2016 yılları arasında yaklaşık 11 ayda tamamlanmıştır.

## SONUÇ

Sıkıştırılmış Toprak Yapım Tekniği MÖ 9000’li yıllardan itibaren birçok farklı kültürde görülen ve çeşitli isimlerle anılan, uygulama sırasında yapı tiplerinde sınırlamanın yapılmadığı; saray, konut, şehir duvarı gibi örnekleri bulunan bir yapım sistemidir. Geleneksel örnekler incelendiğinde iklimin ve bitki örtüsünün belirleyici faktörler olduğu çöl bölgeleri ve Antarktika dışında geniş bir coğrafyada yapı örneklerine rastlanıldığı görülmektedir. Günümüze ulaşan yapılan incelendiğinde tekniğin gerek

malzeme gerekse uygulama anlamında yapıldığı her döneme uyum sağlayabildiği, üzerine etkiyen yüklere ve atmosferik koşullara dayanabildiği ortaya çıkmaktadır.

Dünya nüfusunun hala 3'te 1'lik gibi büyük bir bölümünün toprak yapılarında yaşadığı gerçeği göz önünde bulundurulduğunda halihazırda tartışma konusu olan toprak yapıların dayanıksızlığı argümanı, özellikleri geliştirilmiş STYT tekniği doğru uygulandığında geçerli değildir. Çalışmanın büyük bir bölümünde anlatılmakta olan stabilize edilmiş sıkıştırılmış toprak kavramı, sistemin durabilite ve dayanım özelliklerini geliştiren yeni bir yöntemdir. STYT'de başarılı sonuçlar elde edebilme süreci; toprak seçimi, eklenen katkı, miktarı, uygulanan kalıplama, sıkıştırma yöntemi, kürlenme ve yüzey bitirmesi gibi birçok etken tarafından şekillenmektedir. Bu etkenler geleneksel ve günümüz örnekleri karşılaştırıldığında birçok farklılık göstermektedir. Günümüz örneklerinde toprak yapısı değişmekte, katkı türleri farklılaşmakta, kalıplama ve sıkıştırma yöntemleri ise çeşitlenmektedir. Geleneksel örneklerle günümüz örnekleri arasında en büyük fark, karışıma eklenen katkı maddeleridir. Üretilen yapısal elemanın durabilitesini arttıran katkı maddesinin oranı, kullanılan toprağın kil ve kum oranına göre ayarlanabilmektedir. Malzemeye ilave edilen katkılar dışında STYT elemanlar içerisinde donatı kullanımı, duvarların çelik/ağaç/betonarme hatıl bağlantıları ve taşıyıcı duvarların betonarme temellere ya da subasmanlara oturtulması sistemin yapısal özelliklerini arttıran yöntemlerden bazılarıdır.

Yapı tasarım süreci birçok disiplinle iş birliği içerisinde ilerleyen bir süreçtir. STYT yapıların, yapıda konforun sağlanabilmesi açısından Yapı Fiziki Bilimi ile yakından ilişkili olduğu bilinmektedir. STYT elemanlar günümüz yöntemlerinde kullanılan modüler elemanlarla kıyaslandığında daha az boşluklu bir yapıya sahiptir ve bu sebeple akustik performansları yüksektir. Kullanılan malzeme doğası gereği yanmayan bir malzemedir ve yüksek bir yangın dayanımına sahiptir. STYT elemanlar kesit kalınlığı açısından değerlendirildiğinde termal konforu sağlayabilecek ölçülerdedir ancak bunun sağlanmadığı koşullarda günümüzde sıklıkla kullanılan ısı yalıtım malzemeleriyle birlikte kullanılabilir. Kaynağın doğal olması, teminin kolay olması, kimyasal içeriğinin düşük olması gibi sebeplerle sürdürülebilirlik kavramı ile ilişkisi kuvvetlidir.

Araştırmada ayrıntılı olarak verilen örnekler incelendiğinde tekniğin günümüzde aktif olarak kullanılacağı görülmektedir. Tekniğin taşıyıcı unsur, bölücü eleman ve tasarım objesi olarak kullanıldığı örnekler bulunmaktadır. Yapım sisteminin çelik, betonarme ve ağaç elemanlarla birlikte desteklenmesi taşıyıcı sistem duvar kalınlıklarının azaltılmasında, duvar içindeki boşlukların geçilmesinde ve yatay/düşey hatıl oluşturarak deprem dayanımında olumlu etki etmektedir. Yapım tekniğinin mevcut uygulamalar ile uyumu, taşıyıcılığı, yapıda konforu sağlayabilecek koşulları sağlayabilmesi, kullanılan malzeme bakımından sürdürülebilirlik kavramını karşılayabilmesi günümüz yapı tekniklerine iyi bir alternatif olduğunu göstermektedir.

## KAYNAKÇA

Aghazadeh, E. (2011). *KİREÇ VE ALÇI İÇEREN TOPRAK YAPI ELEMANLARININ FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ*. İstanbul Teknik Üniversitesi.

Alışan, E. (2021). *Ülkemizde Uygulanan İlk Örnekler Üzerine Bir Görüşme* [Online].

Bui, Q.-B., Morel, J.-C., Hans, S., & Walker, P. (2014). Effect of moisture content on the mechanical characteristics of rammed earth. *Construction and Building Materials*, 54, 163-169. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.12.067>

Burroughs, S. (2008). Soil Property Criteria for Rammed Earth Stabilization. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 20(3), 264-273. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2008\)20:3\(264\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2008)20:3(264))

Çepel, N. (1988). *Toprak ilmi.pdf*. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları.

Easton, D., & Easton, T. (2012a). Modern rammed earth construction techniques. İçinde *Modern Earth Buildings* (ss. 364-384). Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9780857096166.3.364>

- Easton, D., & Easton, T. (2012b). Modern rammed earth construction techniques. İçinde *Modern Earth Buildings* (ss. 364-384). Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9780857096166.3.364>
- Ercan, O. (2020). *APOLLONÍA ad RHYNDACUM NEKROPOLÜ KERPIÇ MEZARLARI*. Uludağ Üniversitesi.
- Fernández-Puertas, A. (t.y.). *El Alcázar del Sultán (hoy Comares) y el Alcázar del Jardín Feliz (hoy Leones), según los Dīwānes de Ibn al-Jatīb e Ibn Zamrak*. 28.
- Gramlich, A. N. (2013). *A CONCISE HISTORY OF THE USE OF THE RAMMED EARTH BUILDING TECHNIQUE INCLUDING INFORMATION ON METHODS OF PRESERVATION, REPAIR, AND MAINTENANCE*. University of Oregon.
- Guillard, H., & Houben, H. (1994). *Earth Construction, A Comprehensive Guide*. Intermediate Technology Publications.
- Harris, C. (2013). The Potala Palace: Remembering to Forget in Contemporary Tibet. *South Asian Studies*, 29(1), 61-75. <https://doi.org/10.1080/02666030.2013.772816>
- Jaquin, P. A., Augarde, C. E., Gallipoli, D., & Toll, D. G. (2009). The strength of unstabilised rammed earth materials. *Géotechnique*, 59(5), 487-490. <https://doi.org/10.1680/geot.2007.00129>
- Jaquin, Paul A. (2008). *Analysis of Historic Rammed Earth Construction*. 177.
- Jaquin, Paul A. (2008). *Analysis of historic rammed earth construction*. Durham University.
- Jaquin, Paul A., Augarde, C. E., & Gerrard, C. M. (2008). Chronological Description of the Spatial Development of Rammed Earth Techniques. *International Journal of Architectural Heritage*, 2(4), 377-400. <https://doi.org/10.1080/15583050801958826>
- Kafesçioğlu, R. (1980). *Yapı Malzemesi Olarak Kerpilin Alçı ile Stabilizasyonu*.
- Koçu, N., Zerr, S., & Korkmaz, N. (2004). *KERPIÇ MALZEME İLE ÜRETİLEN YAPILARDA DEPREM ETKİLERİNİN TESPİTİ*. 11.
- Kömürçüoğlu, E. A. (1962). *Yapı Malzemesi Olarak Kerpiç ve Kerpiç İnşaat Sistemleri* (1. bs). İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Maniatidis, V., & Walker, P. (2003). *A Review of Rammed Earth Construction.pdf*.
- Pevsner, N., (27 ) Fleming, J., & Honour, H. (1966). *The Penguin Dictionary of Architecture*. Penguin Books.
- Sammis, T. (t.y.). *Soil Texture Analysis*.
- Shrestha, K. C., Aoki, T., Miyamoto, M., Wangmo, P., Pema, Zhang, J., & Takahashi, N. (2020). Strengthening of rammed earth structures with simple interventions. *Journal of Building Engineering*, 29, 101179. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101179>
- Soebarto, V. (2009). *ANALYSIS OF INDOOR PERFORMANCE OF HOUSES USING RAMMED EARTH WALLS*. 9.
- Walker, P., Keable, R., Martin, J., Architects, J., & Maniatidis, V. (t.y.). *Rammed earth: Design and construction guidelines*. 11.
- Windstorm, B., & Schmidt, A. (2013). A Report of Contemporary Rammed Earth Construction and Research in North America. *Sustainability*, 5(2), 400-416. <https://doi.org/10.3390/su5020400>

## **ELEKTRONİK KAYNAKLAR**

- URL1 [https://en.wikipedia.org/wiki/Rammed\\_earth#:~:text=Rammed%20earth%2C%20also%20known%20as,chalk%2C%20lime%2C%20or%20gravel.](https://en.wikipedia.org/wiki/Rammed_earth#:~:text=Rammed%20earth%2C%20also%20known%20as,chalk%2C%20lime%2C%20or%20gravel.) (Erişim Tarihi: 15.02.2021)
- URL2 <https://www.nedirnedemek.com/stabilize-etmek-ne-demek.> (Erişim Tarihi: 15.02.2021)
- URL3 [https://www.greenspec.co.uk/building-design/rammed-earth/.](https://www.greenspec.co.uk/building-design/rammed-earth/) (Erişim Tarihi:17.02.2021)
- URL4 <http://www.rammedearthconstructions.com.au/rammed-earth-info/> . (Erişim Tarihi: 12.02.2021)
- URL5 <https://www.youtube.com/watch?v=3RyHy1bNJuU> . (Erişim Tarihi: 02.02.2021)
- URL6 <https://www.youtube.com/watch?v=9aFrWWON8VE> (Erişim Tarihi: 12.03.2021)
- URL7 <https://www.youtube.com/watch?v=TjyGOOtOFik> (Erişim Tarihi: 15.03.2021)
- URL8 <https://www.youtube.com/watch?v=3RyHy1bNJuU> (Erişim Tarihi: 16.03.2021)
- URL9 <https://www.archdaily.com/882468/sanbaopeng-art-museum-dl-atelier/59f2b979b22e385b59000048-sanbaopeng-art-museum-dl-atelier-photo> (Erişim Tarihi:10.03.2021)
- URL10 [https://line.17qq.com/articles/lcmmlgkdv\\_p2.html](https://line.17qq.com/articles/lcmmlgkdv_p2.html) (Erişim Tarihi: 21.02.2021)
- URL11 [https://www.reddit.com/r/FallofCivilizations/comments/f8qwtl/the\\_crumbling\\_ruins\\_of\\_a\\_han\\_era\\_watchtower\\_along/](https://www.reddit.com/r/FallofCivilizations/comments/f8qwtl/the_crumbling_ruins_of_a_han_era_watchtower_along/) (Erişim Tarihi: 18.03.2021)
- URL12 [https://www.reddit.com/r/ArchitecturalRevival/comments/ilsu9g/ancient\\_berber\\_architecture\\_in\\_ait\\_benhaddou/](https://www.reddit.com/r/ArchitecturalRevival/comments/ilsu9g/ancient_berber_architecture_in_ait_benhaddou/) (Erişim Tarihi: 18.03.2021)
- URL13 <https://www.archdaily.com.br/br/950945/o-que-ebioconstrucao/5fa4548e63c017759b0003a2-o-que-e-bioconstrucao-imagem> (Erişim Tarihi: 05.02.2021)
- URL14 <http://www.jiudi.net/2018/content/?3250.html> (Erişim Tarihi: 14.03.2021)
- URL15 <http://rammedearthconsulting.com/rammed-earth-consulting-contact.htm> (Erişim Tarihi: 03.03.2021)
- URL16 <https://docplayer.es/112553751-El-tapial-alivianado.html> (Erişim Tarihi: 05.02.2021)
- URL17 [https://www.youtube.com/watch?v=7JqIOePXZfM&ab\\_channel=TheNomadicBull](https://www.youtube.com/watch?v=7JqIOePXZfM&ab_channel=TheNomadicBull) (Erişim Tarihi: 16.03.2021)
- URL18 <https://www.fab-form.com/fastfoot/fastfootProjectMuskokaSustainableBuilders.php> (Erişim Tarihi: 14.02.2021)

## **TABLO 1-2 ELEKTRONİK KAYNAKLAR**

- URL19 <https://hometipsforwomen.com/building-rammed-earth-materials> (Erişim Tarihi: 25.03.2021)
- URL20 [https://tr.wikipedia.org/wiki/%C3%87in\\_Seddi](https://tr.wikipedia.org/wiki/%C3%87in_Seddi) (Erişim Tarihi: 25.03.2021)
- URL21 <https://www.archdaily.com/370237/tucson-mountain-retreat-dust> (Erişim Tarihi: 25.03.2021)
- URL22 <https://www.archdaily.com/771780/the-great-wall-of-wa-luigi-rosselli> (Erişim Tarihi:25.03.2021)
- URL23 <https://gaiadergi.com/turkiyede-bir-komun-denemesi-ax-u-av-komunu/> (Erişim Tarihi:25.03.2021)
- URL24 <https://www.archdaily.com/370237/tucson-mountain-retreat-dust> (Erişim Tarihi: 03.05.2021)