

Öz

Geçmişten günümüze yaygın kullanılan yapı bileşenlerinden kemer ve türevlerinin form, üslup ve yapım açısından değişiklik göstermekte olup taşıyıcı etkinliği zincir eğrisi kuramına göre belirlenebilmektedir. Günümüzde bu kuramın dijital ortama aktarılması, yenilikçi kabuk ve köprülerin tasarımı için itici bir güç olmuştur. Öte yandan, birtakım yeni yapılar kemer ve kubbelerin biçim diline uymayan malzemelere büründürülmektedir ki, savurganlığa yol açıp verimlilik ve sürdürülebilirlik ilkeleriyle çatışmaktadır. Bu sorun, bu çalışmada mimarlıkta yapı bilgisi derslerinin kuramsal ağırlığının artması, uygulamaların ise sezgi ve deneyim gibi temel yaklaşımlardan uzaklaşarak hesaplama ve çözümlemeye indirgenmesi üzerinden tanımlandı. Çalışmada, yapı bilgisi derslerini destekler nitelikte düzenlenen çalıştaylar yardımıyla, zincir eğrisi kuramına uygun birtakım kemeri tasarlamak, uygulamak ve sınamak üzere, etkileşimli bir öğrenim deneyiminin sağlanması ve ölçülmesi amaçlanmaktadır. Öncelikle, yaygın rastlanan kemer tipleri, üsluplarından ödün vermemek koşuluyla, zincir eğrisi kuramına göre idealleştirildi. Ardından, birbirinden ayrı boyut, biçim ve yapım niteliklerini taşıyan üç kemer tasarlanıp üretildi. Bu kemerler sabit ve hareketli yüklerle sılandı. Yükleme sonucunda, her iki kemerin yapısal davranışının zincir eğrisi kuramıyla uyumu doğrulanıp ilk kemerin dayanak veya gergi eksikliği, ikinci kemerin ise kemerin örgüsü ve gerginin konumu nedeniyle çıktığı saptandı. Üçüncü kemer ise bir ders gereci olarak saklandı. Ardından, öğrenim düzeyini ölçmek adına, uygulamayı deneyimleyen öğrencilere ve bu sürecin anlatıldığı bir başka üniversitenin öğrencilerine sınavlar (anket) düzenlendi ve sonuçlar karşılaştırıldı. Sonuç olarak, konu bağlamında öğrenmenin soyut da olsa hareketli bir model; tam bir öğrenmenin ise etkileşimli bir şekilde, somut modeller üzerinden sağlanacağı kanısına varıldı. Edinilen bulguların, değişik form ve yapım özelliklerini taşıyan geleneksel ve yenilikçi model denemelerine katkıda bulunması umulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Zincir eğrisi, Yapı Elemanları, Taşıyıcı Sistem Tasarımı, Yapısal Tasarım, Eğrilikli Strüktürler

Tuğla Kemerler Üzerinden Yapı Bilgisi Dersleriyle İlgili Etkileşimli Bir Yeniden Öğrenme

An Interactive Re-learning on Brick Arches Related to Building Technology Courses

 Muhammed Emin Akyürek

İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul, Türkiye

Başvuru tarihi/Received: 08.09.2024 , Revize tarihi/ Revised: 30.01.2025 , Kabul tarihi/Final Acceptance: 20.02.2025

Extended Abstract

Arches, vaults, and domes are among the most fundamental forms used since antiquity. Gothic and classical Ottoman architecture were milestones in structural elegance and material efficiency. In the modern period and afterward, a design approach based on chain curve theory created the most efficient forms for curvilinear structures, such as shells and bridges. As this method is digitized, historical forms are being customized to novel materials. However, in many current buildings, form, and material are not harmonized, which contradicts the principles of efficiency and sustainability. In this study, the problem is addressed to the increasing theoretical focus of building technology courses in architecture. At the same time, practices are limited to calculation and analysis, and basic approaches such as intuition and practice are neglected. In the study, three different arch models have been designed, executed, loaded, and tested according to chain curve theory and construction principles. This process has been managed collaboratively by the professor and students, aiming to achieve a learning and teaching experience in line with the philosophy of lifelong learning, learning to learn, and co-education.

Firstly, the arch designs with chain curve have been elaborated. Then, the structural effectiveness of some arch types common in Türkiye have been compared according to their ability to conceal the chain curve within the minimum cross-section. Afterward, the same span of three round arches with different forms, sizes, and construction characteristics have been designed. These three arches have been executed in 1/3 scale brick with different brickwork and mortar qualities. After finishing the execution, molds have been removed by burning or wetting. Finally, the models have been loaded with clay bags (static) and stepping (dynamic) on them. Collapse morphology of the arches have been observed, and their compatibility with the chain curve has been evaluated. Consequently, the first arch collapsed because of the sliding of the bottom and lack of tie-rod and buttress. In contrast, the second arch collapsed because of the detachment of the mortars due to the lower-positioned tie-rod and the cascading of the brickwork at the bottom.

The following findings have been achieved from the executions:

- Regarding form, a cascading arch and its keystone raised following the chain curve, with an adequate third dimension, is appropriate and efficient.
- Regarding style, among the classical arches, five-centered and pointed arches are the most effective, while the shouldered arch is the weakest.
- Regarding construction, qualified materials and methodical brickwork are required for a tie-rod positioned where the chain curve approaches the arch line and is connected with a vertical element against shear force.

As a result of intuition, observation, construction, and loading, the student group (Izu), who executed the arches, have been given surveys about the impact of mold, brickwork, mortar, tie-rod, and chain curve on the quality and structural behavior of the arch models. The survey results have been compared with scientific findings to test the learning level. The process has been lectured to 174 students at another university (Samsacı) who had taken the course from the same professor, and the same survey has been conducted. With the data collected, the accuracy of the questionnaire has been improved, and a comparison and evaluation of learning has been realized by obtaining different opinions from a non-executor group. According to the average of the answers, it has been certified that 1 out of 3 students in Samsacı and more than half in the Izu gave a correct and specific explanation. For the main factor that destructed the first arch, 3 out of 5 from the Izu and 1 out of 5 from the Samsacı, respectively, and approximately; for the second arch, both groups gave similarly correct and specific answers (30% and 25%). The low accuracy rate in the practicing group has been attributed to the fact that the destruction of this carefully erected arch was sudden and unexpected; therefore, the behavior could not be observed. It has been concluded that those who did not witness the practice. However, they followed the process enthusiastically and could not understand what they had learnt because they were away from physical contact.

As a result, the following outcomes have been obtained in the study:

- Interactively creating a model accelerates learning and mobilizes students for learning to learn.
- Facilities of the university and the social potential of student clubs alleviate the time and energy demands of such practices.
- Cooperate with sponsoring companies to supply the necessary equipment to minimize costs and offer students internships and job opportunities.
- By findings and models, course materials can be enhanced, and future students can benefit from this experience.

It is hoped that this study will contribute to the developing traditional and innovative models with different forms and constructions and strengthening the practical aspect of architectural education.

Keywords: Chain Curve, Building Elements, Structural Design, Constructional design, Funicular Structures

Cite this article as: Akyürek ME. Tuğla Kemerler Üzerinden Yapı Bilgisi Dersleriyle İlgili Etkileşimli Bir Yeniden Öğrenme Tasarım Kuram 2025;21(44):61-79.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

GİRİŞ

Kemer, tonoz ve kubbe kadim Roma'dan beri kullanılagelen en temel yapısal formlardandır. Bu formlar çeşitli bölgelerde taş, tuğla, kerpiç, beton ve betonarme gibi, genellikle dökme ve örme malzemeye büründürülmüştür. Başlangıçta kemerler yuvarlak biçimde iken, sonraları ayrı bölge ve dönemlerde birbirinden başka geometrilerde kemer üslupları türetilmiştir. Bu kemerlerin üslup özelliklerini belirleyen birtakım kurallar da söz konusudur. Örneğin, özellikle de İslâm coğrafyasına yüzyıllarca damgasını vuran 14. yüzyıl bilgini Gıyâseddin Cemşid Kâşî (*Kâmi* 2014) 5 değişik kemer tipi üzerinden onlarca çeşitleme sunan bir tasarım yöntemini tanıtmıştır. Bu tiplerin betonarmenin yaygınlaştığı dönemlere kadar Türkistan, İran ve Osmanlı İmparatorluğunun tüm etki alanındaki yapılarda uygulandığı görülmektedir. Avrupa'da (*ve Rusya*) ise -Gotik dönem dışında- genellikle beşik kemerlere yer verilmiştir. Avrupa mimarlığı açısından önemli dönüm noktalarından olan Gotik mimarlık ise, kemer türleri adına bir başka yönelimdir. Gotik dönemde oluşturulan sivri kemerlerin, döneminde dengeli ve eksiksiz form olarak görülen üçgene dayanan bir yönetime göre değişkenlik gösterdiği bilinmektedir (*Viollet-le-Duc vd.* 2021, 16). Bu dönemde geliştirilen sivri kemerler Augustus Pugin, Viollet-le-Duc ve Anatole de Baudot gibi mimarların elinde, yeni malzeme ve mimari üsluplarla (*Neogotik*) 20. yüzyıla değin uzanmıştır. Bilindiği gibi, bu yapı elemanlarında üslubun yanı sıra, taşıyıcılık da mimar ve mühendislerin odağında olmuştur. Taşıyıcılık açısından formun etkinliği ve malzeme mekaniği iki önemli ölçüttür. Günümüzde formun etkinliği daha çok mimarların, malzeme mekaniği ise mühendislerin sorumluluğuna girmektedir. Formun etkinliği açısından geçmişe dönük başat yaklaşımlardan biri Robert Hooke'un zincir eğrisi kuramıdır. Bu kuram (*teori*) bir ipin sarkıtılmasıyla oluşan yer çekimine göre en uygun kemer, tonoz veya kubbe formunu belirlemeye

yaramaktadır. Hooke'un arkadaşı, büyük İngiliz mimarı Christopher Wren'in yapılarında bu kuramın ilk izlerine rastlanmaktadır (*Benneth 1982; Mainstone 2001, 322-323*). İspanyol mimar Gaudi'nin yapılarında ise, tümüyle bu kurama dayanan ilk yapısal form örnekleri görülmektedir. 20. Yüzyıla gelindiğinde, Frei Otto'nun ahşap ızgara kabuk ve Heinz Isler'in betonarme kabuk yapılarında görüleceği üzere, bu yönetime yaslanarak, çağdaş malzeme ve yapım teknikleriyle eğrilikli yapılar geliştirilmiştir. 20. Yüzyıldan bu yana ortaya konan köprü ve kabuk gibi yapılarda eski üslupların yerine, strüktürel etkinliği önceleyen eğrisel formlar bir üslup oluşturmuştur. Kemer, tonoz ve kubbe üzerinden örneklenen bu yapı (*strüktür*) ve yapım (*konstrüksiyon*) konuları, mimarlıkta yapı bilgisi/teknolojisi bilim dalının alanı olarak, eğitim programında önemli bir yer tutmaktadır. Bu konular geçmişten günümüze, genellikle uygulamalar üzerinden, sezgi ve deneyim tabanlı öğrenilmiştir. Günümüzde ise, kuramsal ağırlık gittikçe artmakta olup uygulama kısmı, genellikle hesaplama ve çözümleme ile sınırlandırılmaktadır. Çağdaş mimarlık eğitiminde yapı ve bileşenleri birçok duyu ile kavranan birer nesne olarak ele alınmadığı için, konuyu anla(t)makta güçlük çekilmektedir. Öte yandan, 20. yüzyılın önemli yapı tasarımcılarından (*structural artist*) Pier Luigi Nervi (1956, 17) ve Felix Candela'nın (1964, 49) da vurguladığı gibi, çağdaş hesaplama ve modelleme yöntemleri, ancak yapının kendi ağırlığı altında ve dış etkilere karşı davranışına yönelik sezgisel yaklaşımların kavranmasının ardından verimli olmaktadır. Başka bir deyişle, somut modeller üzerinden sezgisel yaklaşım, genel tasarım kanısının oluşmasını; dijital yöntemler ise, sonucu ölçülebilir ve iyileştirilmiş duruma gelmesini sağlamaktadır. Bu bakımdan, günümüzde eskinin kemer ve kubbe üsluplarının, yeni ancak forma uygun olmayan malzemelerle kullanımı söz konusudur. Bu da savurganlığa yol açmaktadır ki çağdaş yaşamın verimlilik, sürdürülebilirlik

ve uyarlanabilirlik gibi temel ilkelerine aykırıdır. Oysa, Louis Kahn'ın, tuğlaya ne olmak istediği sorulduğunda, “bir kemer olmak isterim” diyeceğini belirtmesi (*Wiseman 2007, 191*) veya Mimar Kemalettin'in deyimiyle, “maddenin doğasına en uygun yapı kuralını uygulamak” (*Tekeli ve İlkin 1997, 17*), malzeme ve form arasındaki doğal bağıntıyı, dolayısıyla malzemenin dilini açık bir şekilde belirtmektedir. Bu doğrultuda, eski üslaplardan yararlanma adına güzel örnekler de vardır. Günümüzde bu yöntemle bilgisayar tabanlı (*Rhino: Grasshopper*) araçlar üzerinden, yenilikçi malzeme ve yöntemlerle deneysel çalışmalar yürütülmektedir. Örneğin, Gotik katedrallerdeki kaburgalı tonozlar strüktürel etkinliğine göre yalınlaştırılarak, birçok çağdaş ilk örnek (*prototip*) ve yapı geliştirilmiştir (*Mata-Falcon vd. 2022*). Sinan'ın birçok camisinin, enkesitlerinin bu yöntem ile örtüştüğünün saptanmasının ardından, ahşap topluluğunun yeni üyesi CLT levhalara göre uyarlanması sonucu geliştirilen yeni bir -mescit- modeli (*Akyürek 2024*), ülkemizdeki çalışmalara örnek gösterilebilir. Bu çalışmada, söz edilen çıkarımlardan yola çıkarak, yapı bilgisinin kuramsal anlatım ve çizimle sınırlı uygulamalarla öğrenilemeyeceği; tam bir öğrenmenin etkileşimli bir şekilde, somut üretimler üzerinden sağlanacağı savı öne sürüldü. Bu üretimlerde öğrencinin düşünce ve emek gücüne yönelik katılımı öğretim üyesinin kendi bilgi, deneyim ve öğretme becerisini pekiştirme olanağı sunmaktadır. Bu nedenle, öğrenmenin tasarım ve yapım süreçleri üzerinden, öğretim üyesi-öğrenci ve öğrenci-öğrenci etkileşimiyle çift yönlü kazanımı amaçlandı. Bu bağlamda, zincir eğrisi kuramından yola çıkarak, mimarlıkta yaygın yapı bileşenlerinden tuğla kemer yapımını odağa alan birtakım çalıştaylar düzenlendi. Bu kemerlerin tasarlama, yapma, sinama ve ölçme süreçleriyle eğitimsel ve bilimsel çıktılara dönüştürülmesi, çalışmanın özgün yönünü oluşturmaktadır. Bu süreçte, geleneksel biçim ve öğretiler ile günümüz arasında

bir bağ kurup sezgi ve kavrayışı öne çıkaran bir yeniden öğrenme süreci izlenmesi, çalışmaya ayrıca bir önem kazandırmaktadır.

Çalışmanın çatkısı ve bulguları inceleme, uygulama ve çözümleme olmak üzere üç aşamalı ele alındı (*Şekil 1*). İlk aşamada zincir eğrisi kuramına dayanarak biçim, üslup ve yapım değişkenlerine göre kemerlerin taşıyıcılık etkinliği incelendi. Türkiye’de sıklıkla karşılaşılan birtakım kemer tiplerinin taşıyıcılık etkinliği, zincir eğrisiyle örtüştürmeler sonucu elde edilen sayısal bağıntılara göre sınılandı. Ardından, bu yönteme ve belirtilen değişkenlere göre oranlanmış üç değişik kemer tasarlandı. Burada uzman ve usta olmayan bir takımın (*öğrenci*) uygulayıcılığı göz önünde bulundurarak, yalınlığı nedeniyle beşik kemer yeğlendi. İkinci aşamada bu üç kemerin tuğladan, 1/3 ölçeğinde ve benzer açıklıktaki, değişik form, örgü ve karışma (*harç*) niteliklerini taşıyan üç örneği yapıldı. Ardından, öğrenci katılımı ve kararları önemsenerek yakma ve ıslatma olmak üzere iki değişik kalıp sökme işlemi uygulandı. Daha sonra kemerler kil torbalarıyla sabit ve kişi eylemi olmak üzere hareketli yükler bindirilerek sınılandı. Böylece kemerlerin parçalanma noktası ve çökme biçimlenmesi gözlemlenip zincir eğrisi kuramıyla uyumu değerlendirildi. Üçüncü aşama, kemerlerin tasarım ve uygulama sürecine yönelik öğrenim ve öğretim verimliliğinin tartışıldığı bir çözümlemeye (*analiz*) ayrıldı. Burada, elde edilen bilimsel bulgular saklı tutularak, kemerleri üreten öğrenci takımının sezgi, gözlem, yapım ve yükleme sonucunda; kalıp işçiliği, tuğla örgüsü ve işçiliği, karışma niteliği ve katılaşması, gergi konumlandırma ve zincir eğrisinin üretilen kemerlerin niteliği ve yapısal davranışına etkisi üzerine sınav (*anket*) düzenlendi. Edinilen sonuçlar tasarım ve uygulama aşamalarından oluşan bilimsel bulgularla karşılaştırılarak öğrenme düzeyi ölçüldü. Kemer üreten öğrenci takımının ölçme ve değerlendirme tutarlılığı adına az sayıda olması (*13 öğrenci*) nedeniyle, işbu sınav tasarım ve uygulama sürecine yönelik bir anlatımın

gerçekleştirildiği, yurtdışında bir üniversitenin (*Samdaqu*) 174 mimarlık öğrencisine yöneltildi. Toplanan sonuçlar ile, bu çalışmada öne sürülen sav uyarınca, somut model üreten ile üretmeyen arasındaki öğrenim düzeyleri karşılaştırılıp tartışıldı. Çalışma tüm bu bulgular ile öznel öğretim deneyimlerinin değerlendirdiği bir tartışma ile sonuçlandırıldı. Bilimsel deneyim ile öğrenim ve öğretim deneyimini kapsayan bu yöntemin ve benzerlerinin etkileşimli bir ders sürecine olanak tanıyıp bir ders gereci ve kaynağı sağlayacağı düşünülmektedir.

Pietro Katedrali'nin kubbesini inceleyen Giovanni Poleni ise, bu modelden ilk kez yararlanan kişi olmuştur. Ardından bu konu son yüzyıldaki yapı tasarımcılarının yenilikçi denemelerine itici güç olmuş, 20. yüzyıldan bu yana zincir eğrisi kuramına dayanan somut ve sayısal modeller aracılığıyla çeşitli form ve malzemelerle yapılar tasarlanmıştır. Bu yapıların erken örnekleri Colònia Güell ve La Sagrada Familia Kiliseleridir. Antoni Gaudi'nin taş yığma yapıları, ip/tel modeliyle tavandan asılarak kurgulanmış, fotoğraf üzerinden tersyüz edilerek tasarlanmıştır (*Billington 2022, 184*). Bu yapının aynı yöntem ile geliştirilmiş yeni bir modeli de

Şekil 1. Çalışmanın genel kurgusu ve akışı.



İnceleme → Uygulama → Çözümleme

- Kuram
- Oranlama
- Tasarlama

- Yapma
- Sinama
- Gözlemlene

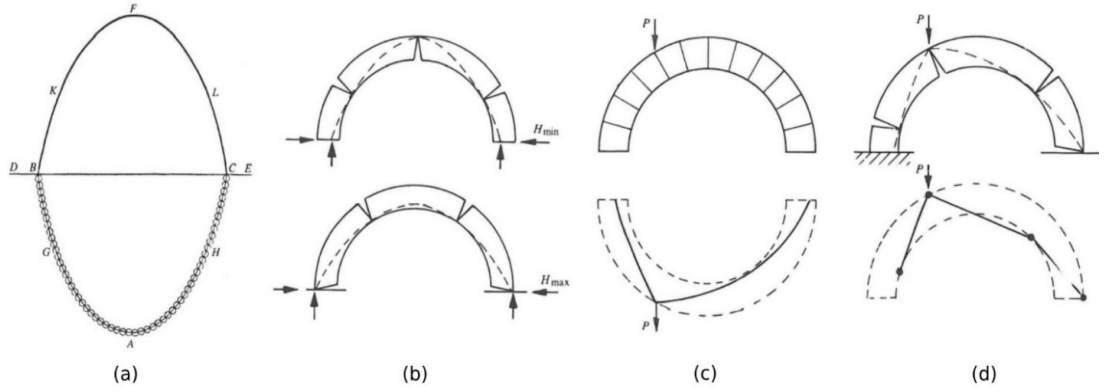
- Ölçme
- Değerlendirme
- Tartışma

İnceleme: Zincir Eğrisi Kuramına Göre Kemer Tasarımı

Genel olarak, geniş açıklık geçen eski ve anıtsal yapılar yığma teknikle kurulup statik olarak kendi ağırlığı altında basınca çalışır. Bir ip veya esnek örtü, iki yüksek noktaya asılırsa yerçekimi ile içbükey bir eğri elde edilir ve bu kez çekmeye çalışır. Asma köprüler ve çadırlar bu yaklaşımla tasarlanıp kurulur. İçbükey eğri, tersyüz edilirse bir yumurta veya kemer gibi, tümüyle basınç alacaktır. Dayanakların birbirine yaklaşmasıyla bu eğri tümsekleşecek, uzaklaşmasıyla yayvanlaşacaktır (Şekil 2). Bu yöntem daha önce sezgi yoluyla bilinmesine karşın¹, ilk kez Robert Hooke ile bir sayısal modele dönüştürülmüştür (*Heyman 1997, 7*). Christopher Wren'in tasarladığı St.

bulunmaktadır (*bk. Meirelles vd. 2019*). Heinz Isler (1994), bu yaklaşımı benimseyerek birçok betonarme kabuk tasarlamış ve yapmıştır. Bu kabuklar esnek bir örtünün belirli dayanak noktalarından asılması, sonrasında ıslatılıp soğuk havada dondurulması sonucu ortaya çıkan doğal (*amorf*) formlardır. Benzer şekilde, Frei Otto parmaklıklı esnek bir düzlemin türlü noktalardan asılması sonucu dönüştüğü formu, fotogrametri yöntemiyle tersyüz etmesiyle ahşap ızgara kabuk tasarımları elde etmiştir (*Liddell 2015*). Zincir eğrisi modeli; değişik form, malzeme ve taşıyıcı bileşenlerden oluşan bu tür yapılarda boyutlandırma ve biçimlendirmeye yönelik bir iyileştirme aracı ve tasarlama yöntemi olarak değerlendirilmektedir. Zincir eğrisi ile kemer (*ve tonozların*) formu ve davranışı arasındaki ilk güçlü bağlantıyı Heyman (1997) ortaya koymuştur.

1. Burada, Mimar Sinan'ın birçok orta ve büyük boyutlu camisinin (Akyürek 2024) ve Gotik katedrallerin enkesitlerinin (Heyman 1997) zincir eğrisiyle tam bir uyum ve örtüşme durumunda olması, yerçekimine dayanan bu kuramın uygulamadaki karşılığının sezgi ve deneyim yoluyla bilindiği veya şimdilik elimize ulaşmayan birtakım tasarım ilkelerinin varlığını düşündürmektedir.



Şekil 2. Zincir eğrisinin yığma kemerlerdeki yapısal davranışla ilişkisi [Heyman 1997; 7,17,19].

Günümüzde Block Research Group (2024), bu bağıntıyı geliştirerek dijital ortama aktarmış ve yenilikçi birçok tanımsız biçimdeki (*amorfo*) yığma tonozun tipik örneklerini geliştirmiştir. Süregelen bu verimli gelişmelerin esintisiyle, bu çalışma kapsamında üretilen tuğla kemer&tonoz modellerinin kuramsal düzlemi ortaya çıkarılmıştır.

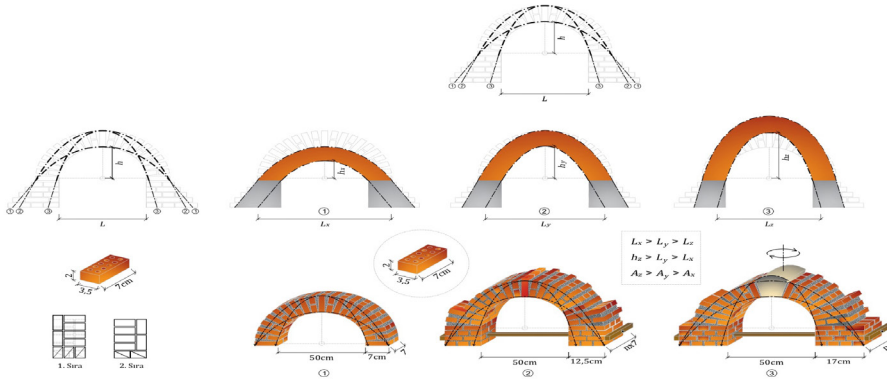
Biçimine Göre Kemer Tasarımı

Bir kemer zincir eğrisi doğrultusunda yük aktaracağına göre, yükleme sırasında yaşanacak olası çatlak ve yıkılmaların yeri, bu eğri ile çakıştırmalar üzerinden saptanabilmektedir (Şekil 2b). Öncelikle kemeri üç eklemli bir taşıyıcı sistem olarak yalınlaştırarak simetrik yüklemede en büyük (*maksimum*) kuvvetin gerçekleşeceği nokta bulunmalıdır. Bu saptamaya kemerin dayanaklarına ve gergi gibi önlemlere göre varılmaktadır. Şekil 2b-üst'teki kemerde bu en büyük kuvvet kilit taşında (*tepe noktası*), en düşük kuvvet ise üzengi taşındadır (*alt noktalar*). Alttaki kemerde ise en büyük kuvvet üzengi taşlarında, en düşük kuvvet ise kilit taşındadır. Bu yüzden dayanak veya gerginin kullanılmamasına bağlı olan bir içeri itki söz konusudur. Bu durumda, zincir eğrisi en büyük kuvvetin olduğu noktaya geçecek şekilde düzenlenirse, kemerin yük taşıma sınırını aşması durumunda, sabit yük altındaki olası çatlak ve yıkılmaların yeri saptanabilir. Kemere kendi ağırlığının dışında, Şekil 2c'deki gibi ayrıca bir kuvvet uygulanırsa, çekme grafiği üzerinde görüleceği üzere, ipin uçları içe doğru çekilir;

buna karşın, yük azaltılırsa gevşeyerek yataylaşır. Basınç grafiğinde ele alınırsa, yük arttıkça eğri düşeyleşir (Şekil 2d). En büyük kuvvetin etki ettiği sınır duruma geldiğinde, kemer belirtilen noktalardan çatlak ve ardından yıkılır.

Bir beşik kemer Şekil 2'de belirtilen sınır durumlara göre etkiyen kuvvet doğrultusunda biçimlendirilirse, Şekil 3'deki gibi üç kemer formuna dönüşebilir. Bunlar en büyük kuvvetin kilit taşı veya dayanakta olma durumuna göre değişen, aynı açıklık ve kalınlıktaki (*IT*) kemerlerdir. Bu kemerler yığma malzemenin yük aktarımına göre, -beşik kemer yerine- olmak istediği eğrisel formları göstermektedir. Burada, düzlem içi rijitliği yeterli olan esnek bir malzemenin şekil değiştirmesi gibi, dayanaklar zayıfladıkça içeri doğru itki azalacak (H_{min}); bu yüzden kemer yüksekliği (h_x) alt sınıra ulaşacaktır (Şekil 3-örn. 1). Dayanaklar güçlendikçe ise içeri doğru itki artacak (H_{maks}); dolayısıyla kemer yüksekliği (h_x) üst sınıra, yayıldığı genişlik (L) alt sınıra ulaşacaktır (Şekil 3-örn. 3). Her üç durum da beşik kemerin üslup özellikleri görmezden gelinerek elde edilebilecek en verimli biçimleri göstermektedir. Form bu durumdayken, malzemenin kendini bir ip gibi salmayacak kadar gevrek olduğu en düşük koşullarda, kalınlığın önemi olmaksızın sonsuz bir dayanım kuvvetine sahiptir. Bu durum ancak sabit (*statik*) veya hareketli (*dinamik*) kuvvet eklenmesi veya yapım süreci ve malzemeye bağlı yanlışlar ile geçerliliğini yitirir². Bir başka deyişle,

2. Burada bir başka sorun da asimetrik yüklemelerdir. Eğer yük asimetrik ise, zincir eğrisi bu yük noktasına göre iki ayrı eğri olarak bölünür ve kemer oluşan geometriye göre, bir eğri dayanak gibi biçimlenir. Yığma yapılarda, özellikle Gotik mimaride görülen uçan payandalar bu yaklaşımın belli bir üslup içerisindeki örnekleridir.



Şekil 3. Bir beşik kemerin zincir eğrisine göre açıklığı değişmeksizin yeniden biçimlenmesi.

malzemenin türüne ve mekaniğine bağlı etkenler, dolayısıyla dayanım gücünün üstünde yüklemeye veya taşların kayması, karışmanın kuruyup büzülmesi gibi yapım yanlışları nedeniyle yıkılır.

Üslubuna Göre Kemer Tasarımı

Olağan koşullarda tersyüz edilen zincir biçimindeki bir kemer en etkini iken, bu formdaki kemer yapım koşulları görmezden gelinirse, kendi yükü altında sonsuz bir dayanıma sahiptir. Kemerde belli üslup özelliklerine bağlı kalınmak istenirse, zincir eğrisi uyarlamasına göre alan yitikleri ortaya çıkmaktadır. Şekil 4'te yük aktarım verimliliğinin, üsluptan ödün vermemek kaydıyla, geometri üzerinden çözümü ele alındı. Bu incelemede yapım ve malzemeye yönelik özellikler göz ardı edilerek, formun etkinliğine odaklanıldı. Başka bir deyişle, yaygın kullanılan birtakım kemerin zincir eğrisini en küçük enkesit, dolayısıyla kemer kalınlığı ($d_{min} = d$) içerisinde gizleme yetisine göre sıralanmaktadır. Bu değer (d_{min}), kemerin zincir eğrisi formunda olması durumunda, bir katsayı olarak 1, dolayısıyla etkisizdir. Bundan daha kalın bir kemer yapılırsa, yüzeye değen noktalardan çökme gerçekleşir. Bunun yaşanmaması için, gergi ve dayanak (payanda) gibi yapısal çözümlere gitmek gerekir. Zincir kalınlığı "t" ile belirtilirse, kemerin sınırları (d) içindeki en alt değerdeki t bir katsayı olacak şekilde, eğrilikli yapı elemanının kendi ağırlığının bileşke kuvvetini, dolayısıyla yük

aktarışını gösterir. Burada, yüzeyin her noktasına eşit ek yükün bindirilmesi t'nin, bu yüzden d'nin kalınlaşması anlamına gelmektedir. Bu bağıntıya, öngörülemeyen yüklemeler ve yapısal sorunları kapsayan bir güvenlik katsayısı (k) katılabilir.

Heyman'ın (1997) saptadığı üzere, beşik kemerde bu katsayı, örneğin 2 (en düşük kemer kalınlığının iki katı) olursa, zincirin ucu kemer kalınlığının ortasına, 3 olursa ise orta üçte birlik kısmına denk gelir.

$$d = k \cdot t \cdot d_{min}$$

(1)

d: kemer kalınlığı

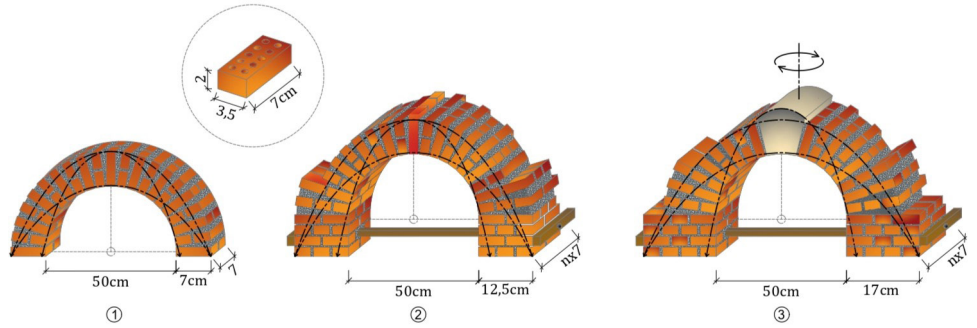
k: güvenlik katsayısı

t: zincir kalınlığı

d_{min} : min. kemer kalınlığı

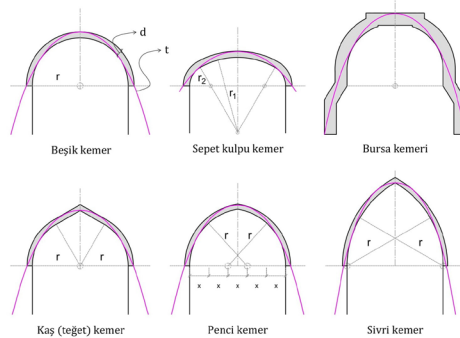
Üslup özellikleri bakımından basık kemer tersyüz edilmiş bir zincir eğrisiyle tam uyumlu olup verimli çalışır. Şekil 4'teki beşik kemerin kalınlığı açıklığının onda birinden biraz fazla ($d \geq L/10$) olup (Heyman 1997, 21), irdelenen öteki kemerler ile yakalanan bağıntıya göre bu kalınlık 30t'ye denk gelmektedir ($d = 30t$). Ele alınan sepet kulpu kemer tonozlarda ve pencerelerde karşılaşılmakta olup merkezlerinin yeri ve açısına göre değişkenlik göstermektedir. Burada, r2 artırılırsa kemer yüzeyi zincir eğrisiyle çakışır. Bunun yerine, r2 azaltılınca r1 yayvanlaşacağı için, kemerdeki yatay etki büyür ve yüzey genişler. Bu nedenle, elde edilebilen bu en etkin tipte kalınlık

Şekil 5. Zincir eğrisine, boyutlarına ve yapım özelliklerine göre ayrılan üç beşik kemer modeli.



33t'ye kadar azaltılabilmiş olup beşik kemere göre etkinliği düşüktür. Benzer durum çift merkezli kaş kemer için de geçerlidir. İncelenen tek merkezli kaş kemer ise, 26t kalınlık ile beşik kemere göre daha incedir. Türkistan'dan Anadolu ve Balkanlara değin kullanılagelen Bursa kemeri, adını Bursa'daki zaviyeli yapılardan Yıldırım ve Mehmet Çelebi (Yeşil) Camilerinden almıştır. Bu kemer çok geniş bir yüzeyi boşaltması bakımından oldukça işlevsel olmakla birlikte, üstteki üzengi çizgisine göre 54t, alttakine göre ise 63t kalınlığı ile strüktürel etkinlik açısından en kötüsüdür. Bu bakımdan at nalı, eşek sırtı ve yonca kemer gibi plastik özellikleri öncelenen kemerler bu çalışmada irdelenmemiştir. Penci kemer Farsça beş anlamındaki "penç"den gelerek, üzengi aksını bölen beş noktalı (beşli) kemeri açıklamakta olup Osmanlı mimarisinde noktalama ve merkez sayısına göre çeşitlenmektedir (Özyalvaç 2013). Çoğunlukla Gotik dönem eserlerinde görülen sivri kemer, penci kemerle

Şekil 4. Belli üsluptaki yaygın kemer tiplerinin zincir eğrisine göre verimliliğinin saptanması.



3. Doğrusu, 2 ve 3. kemer tipi eski tonoz ve kubbelerde de görülen yaygın bir uygulama olup örtünün etek kısmında açılmasını engellediği bilinmektedir. Burada, yapılan bu işlemin zincir eğrisine göre iyileştirilmesine odaklanıldı.

birlikte taşıyıcı niteliğin öne çıktığı askı kemerlerinde sıklıkla karşılaşılmaktadır. Penci ve sivri kemerler, ele alınan en etkin kemerler olup sırasıyla 25t ve 23t kalınlığa

sahiptir. Kalan örnekler arasında üslup açısından zincir eğrisine en yakın, bu nedenle en etkin olanı ise sivri kemerdir.

Yapımına Göre Kemer Tasarımı

Üslup özellikleri tanımlandıktan sonra, zincir eğrisi modeline göre bir iyileştirme gerçekleştirilebilir. Bu durumda, kemerin sınırları içerisine yayılı zincir eğrileri yerleştirilip olası yüklemeye karşı yanlardan açılmayı engelleyen dayanakların (kolon, duvar, payanda) yeri ve boyutu belirlenmelidir. Bu bakımdan, uygulamada da ele alınacak olan 3 değişik beşik kemer örneği Şekil 5'te sunulmaktadır. Burada, yapım özelliklerine de yer verecek koşulda, üç aşamalı bir yol izlenmektedir. Bu kemerler taşıyıcı nitelikli (dolü), yaklaşık 1/3 ölçeğindeki seyrek delikli tuğlalara (2x3,5x7cm), 50cm açıklığa ve birbirinden başka biçim, boyut ve ayrıntılara sahiptir. İlki iki yönden 1 tuğla (1T) kalınlığındaki sıradan bir kemerdir. İkincisi, aynı kalınlıktaki kemerin alt kısmına doğru 1,5T kalınlığa erişecek şekilde genişletilmesi ve eğri yüzeyine dik doğrultuda uzatılarak bir tonoz biçimi alması yoluyla elde edilmektedir. Üçüncü kemer ise, aşağıya doğru basamaklı olarak, 1T, 1,5T ve 2T kalınlığa erişmekte olup bir önceki gibi tonoz biçimindedir³. Burada ayrıca, basınç güvenliğini arttıran yüksekçe bir kilit taşı bulunmaktadır. Kemerlerin her birinde Türkiye'de yaygın olan tuğla örgüsü görülmektedir. İlk kemerde bir bağlantı bileşeni yok iken, ikinci ve üçüncüde karşılıklı iki sırt yüzeyinden düğümlenen ahşap birer gergi bulunmaktadır.

Uygulamaya: Deneyisel ve Etkileşimli Bir Yapım Süreci

Kemer çalıştayları İZÜ’de yapı elemanları ve yapı malzemeleri derslerini alan, mimarlık ve iç mimarlık öğrencilerine yönelik, üniversitenin sağlık, kültür ve spor birimine bağlı mimarlık ve mekân kulübünün bir etkinliği olarak düzenlendi. Uygulamaya başlamadan önce, 2. bölümde söz edilen konuları içeren bir kuramsal anlatım gerçekleştirildi. Ardından, bir iş bölümü ile uygulamaya başlandı. Tüm uygulamada öğrenci-öğrenci ve öğrenci-öğretim üyesi arasında etkileşimli bir öğrenme odağı alındı. Şekil 5’teki tasarım kararlarına bağlı kalmak koşuluyla, uygulama yöntemine büyük oranda öğrencilerin karar vermesi sağlandı. Kemerlerde kullanılan tuğlalar daha önce İZÜ’de birtakım çalıştay, yarışma ve sergi etkinliklerinin (Karakoç 2018) düzenlenmesine ortak olmak üzere, Işıklar Tuğla tarafından üretilip verilmiştir. Bu tuğla erimeye yakın durumda (sinterleşme) pişirilmiş, taşıyıcı nitelikli ve düşey delikli “naturel pres tuğla”nın ölçekli bir örneğidir⁴. Uygulamada kolay ve erişilebilir olması nedeniyle, çimento karışmasından yararlanıldı. Bu karışmanın bileşenlerine yönelik belirli oran belirlenmeyip öğrencinin gerekli malzemeyi dokunarak ve kararak elde etmesi istendi. Dolayısıyla belli bir karışım oranı saptanmadı. Kalıp üretiminde oluklu mukavva kullanıldı. Gergilerde ise, 1x1cm kesitlerindeki çam ağacı çıtaları kullanıldı.

Yapım Aşamaları

Şekil 6’te ilk kemerin yapım aşamaları gösterilmektedir. Burada, kalıbın üretimi 5mm kalınlığındaki birkaç oluklu mukavvanın yüzeylerinin birbirine yapıştırılmasıyla elde edildi. Kalıp, devrilmemesi için iki yanından ahşap çubuklarla desteklendi. Tuğla örgüsüne iki karşılıklı koldan birer karton taban üzerinde başlandı. Karışma yoğunluğu (sulu) ve kalınlığı el yordamıyla belirlendi. Kilit taşı yine bu malzemenin ak renklisi kullanılarak vurgulandı. İş bitince kemer saklanıp karışmanın kuruması için beklemeye alındı.

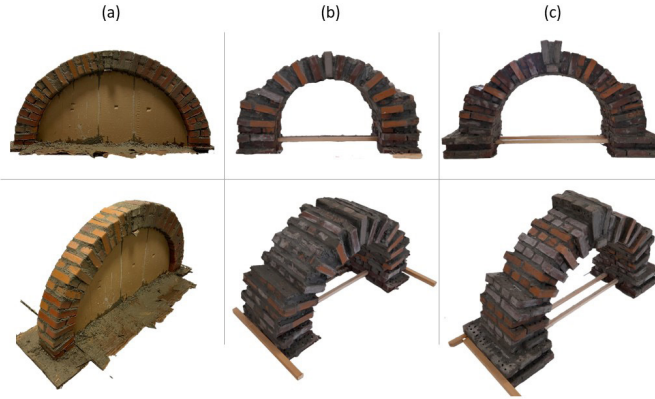
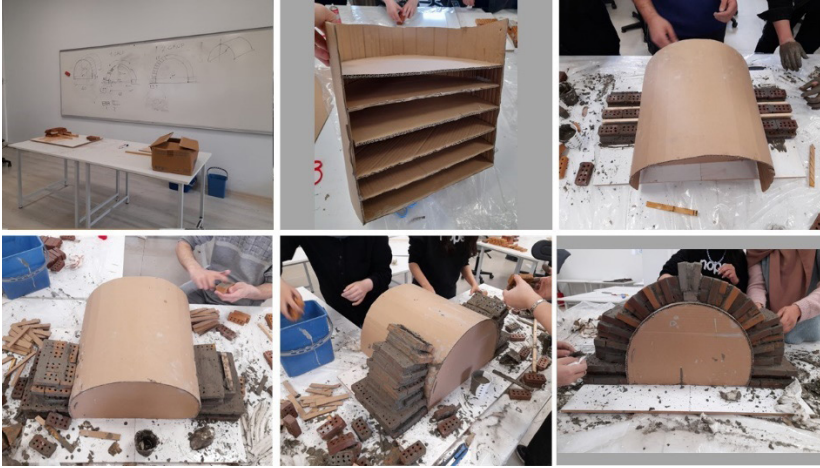


İkinci kemer, ilk kemerin kalıbının sökülmesi ve yüklenmesi sonucu elde edilen deneyimin ardından, ayrıca bir zaman diliminde gerçekleştirildi (Şekil 7). Burada, ilk kemerin kalıp üretiminde, tuğlayı yerleştirecek yüzeyin olmaması ve malzeme savurganlığına yönelik edinilen deneyimden yola çıkarak, oluklu mukavvaların araları açılıp üst kısmına eğri bir mukavva yapıştırıldı. Bu kalıp, boşluklarından ahşap gergi geçecek biçimde delinip bütün kemeri kapsayacak bir ahşap düzlemin üzerine yerleştirildi. Önceki kemerden deneyimle, cıvık olan karışma, daha tok bir ölçüde yeniden karılarak, iki koldan tuğla örgüsüne başlandı. Kemerin ikinci (kilit) örgü sırasında gerginin kemerin sırt kısmına ulaşmasını sağlayacak boşluklar oluşturulup araları karışmalarla dolduruldu. Ardından, kemer örgüsü

Şekil 6. İlk kemerin yapım aşamaları.

Şekil 7. İkinci kemerin (tonoz) yapım aşamaları

4. Gerçek ölçekli malzemenin tanım, boyut, dayanım ve direnç gibi özellikleri için bk. Işıklar Yapı Ürünleri, 2020; s. 49 ve 86.



Şekil 8. Üçüncü kemerin (tonoz) yapım aşamaları
Şekil 9. Kemerlerin son durumunun ön (üst) ve açılı (alt) görünüşü.

bitirilip ak renkli bir tuğla ile kilitlendi. Gergi kemerin karşılıklı iki sırt kısmına eklenen ahşap kuşak (*hatıl*) yardımıyla vidalanarak düğümlendi ve kemer karışmanın kuruması için beklemeye alındı.

Şekil 8’de üçüncü kemerin yapım aşamaları gösterilmektedir. Bu kemer ikinci kemerle aynı ortamda ve eşzamanlı ele alındı. Burada, kalıbı oluşturan kartonların arası seyreltilerek malzeme verimliliği sağlandı. İkinci kemerle benzer şekilde, kalıbın üst yüzeyi eğri bir karton ile kapatılıp gergi yuvaları açıldı. Kalıp ahşap bir düzlem üzerine konumlandırılıp kemerin yapımına başlandı. Öncekilere göre bileşenleri daha dengeli yayılmış bir karışma elde etmeye çaba gösterildi. Gerginin ayrılmasını ve kendi doğrultusunun çevresinde

dönmesini engellemek için, çift gergi kullanılıp kemerin sırt kısmındaki ahşap kuşaklar üzerinden vidalanarak birbirine bağlandı. Ardından, kemer örgüsü 1,5T yüksekliğinde ak renkli tuğlalardan kilit taşıyla bitirildi. Kemer, kalıbı sökülmeden önce karışmanın kuruması için beklemeye alındı.

Yapılan uygulamanın sonucunda elde edilen üç değişik biçim boyut ve ayrıntıdaki kemerlerin ön ve açılı görünüşleri Şekil 9’de verilmektedir. Burada, ilk kemerin dayanak ve gergiye sahip olmaması nedeniyle, üretim sırasında üzengi noktasından kayarak genişlediği görülmektedir. Ayrıca, kalıp yüzeyinin dar olması nedeniyle, kemer eksenini örgü sırasında eğrili çizgilere bürünmüştür (*bk. Şekil 6*). Son olarak, iki koldan ilerleyen örgü tam tepe noktasında buluşturulamamış, bu nedenle kilit taşı eksenini çeyrek tuğla ölçüsü ($0,25T=1,7cm$) kadar kaymıştır. Kalan iki kemerde ise, bu yanlışlar en az düzeye indirilerek, tasarıma olabildiği kadar bağlı kalınmıştır.

Kalıpların Sökülmesi

Kemerlerin karışması kuruduktan sonra kalıp sökme ve yükleme işlemleri gerçekleştirildi. Bütün işlemlerde olduğu gibi, kalıp sökme yönteminde de öğrencilerin tartışıp bir sonuca varması beklendi. Bu doğrultuda, uygulamayı eğlenceli kılmak adına, ilk kemerin kaldırılmasında kalıbı yakma yoluna yeltenildi. Kemer bir dış ortama çıkarıldıktan sonra, karton kalıp tutuşturuldu. Kemer bir süre alevlerin etkisi altında bırakıldıktan sonra, kalıp artıkları sökülerek arındırıldı ve ardından yüklemeye geçildi. Burada, ilk kemerdeki sorun, eksiklik ve yanlışların kötü sonuç doğuracağı bilindiği için, yine, öğrencinin kendi tutumuna bırakılmış eğlenceli bir yol izlendi. Kemer 80kg ağırlığındaki bir kişi tarafından, kilit taşı seviyesinden aşamalı olarak ezildi. Bu sırada tuğlaların kemerin eğri yüzeyine dik yönde birbirine kilitlenmemesi, başka bir deyişle, bir tonozda olduğu gibi, üçüncü boyutsuz bir kesitin bulunması nedeniyle, devrilmeye çalıştığı gözlemlendi. Yapım

aşamasında, oldukça ince yüzeyli bir kalıbın üzerinde, eğri büğrü bir tuğla örgüsünün gerçekleştirilmesi de bu devrilmeyi kolaylaştırmış olmalıdır. Yük bu devrilmeyi tetiklemeyecek koşulda, tümüyle düşey bir basınç kuvveti olarak uygulandıktan sonra, kemer üzerine tam bir ağırlık yüklenmeden çöktü. Kemerin dağılma davranışına bakıldığında, iki üzengi noktasının birbirinden uzaklaştığı, anlaşılacağı üzere, gergi ve/veya desteğe yer verilmemesi nedeniyle açıldığı gözlemlendi. Kemerin kilit taşından aşağı uzanan tuğlalar ise, zincir eğrisinin yapısal davranışa etkisini gösteren grafikteki gibi (bk. Şekil 2b-alt), bu açılmanın sonucunda birbirinden ayrılıp yıkıldıktan sonra parçalanarak savruldu. Bu grafiğe dönülecek olursa, dayanak ve gerginin yanı sıra, kemer formunun düşey etkinliğini arttırmak veya yüksekçe bir kilit taşı koymak da bir çözüm olarak belirmektedir⁵. Çöken kemerdeki ayrılma ve ufalanmaya bakılırsa, karışmanın çok gevrek olduğu, dolayısıyla bağlayıcı oranının iyi belirlenmediği ortaya çıkmış oldu. Sonuç itibarıyla hem tasarım hem de yapım aşamasındaki söz edilen yanlışlar nedeniyle, kemer bir kişinin üzerinde durmasını sağlayacak yükü kaldıramayıp çöktü (Şekil 10).

İki ve üçüncü kemerin kalıp sökme ve yükleme aşamalarına ayrıca bir önem ve özen gösterildi. Bu kemerlerin kalıpları, ahşap gerginin yanma kaygısına karşı, önceki yöntem üzere yakılmayıp daha kolay ve yaygın bir çözüm olması nedeniyle, ıslatılarak söküldü (Şekil 11). Ahşap düzlem

üzerindeki kemer dış ortamda bir masanın üstüne yerleştirilerek, ortalama 20kg ağırlığındaki kil torbalarıyla aşamalı olarak yüklendi. Bu yükleme sürecinde kemerin olası davranışı, karşısından (paralel) alınan video kaydıyla gözlemlendi. Üst üste yığılan 11 kil torbasının yükünün (~220kg), kendisinden 25 kat daha hafif olan kemeri (8,5kg) kımıldatmadığı; herhangi bir yer ve şekil değişikliğine yol açmadığı saptandı (Şekil 12). Tepe noktasına erişimin güçleşmesi ve yük dizisinin dengesizleşmesi nedeniyle, yükleme 11 torba ile sınırlı tutuldu ve ardından hareketli yüklemeyle geçildi. Sabit yükleme sonucunda kemer formunun korunduğu; dayanak ve gerginin beklenen görevi üstlendiği gözlemlendi. Burada, dayanakların yeterli dayanımı gösterip kemerin açılmasını engelleyeceği varsayımıyla, olası aşırı yüklemede Şekil 2b-üst'teki davranışın baş göstereceği; bir başka deyişle, kemerin dayanak kısımları durağan kalmak üzere, kilit noktasından çökeceği değerlendirilmesine varıldı.



Şekil 11. İkinci kemerin (tonoz) kalıbının sökülmesi.

Şekil 10. İlk kemerin kalıbının yakılması.



5. Yine de bu yöntem kendi ağırlığını taşıyan sistemlerde verimli olup ek yüke karşı dayanıma etkisi sınırlıdır. Ayrıca yükün bindirildiği kemerlerde ise, kuşkusuz dayanak ve gergi gibi önlemler alınmalıdır.

Yükleme ve Sınama

Hareketli (*dinamik*) yükleme, öğrencilerden gelen öneri üzerine, bir kişinin kemerin üzerine sıçrayarak basması yoluyla gerçekleştirildi. Böylece, sabit yüklenen kil torbalarının yerine, aynı noktadan anlık bir yüklemeye uygulanarak kemerin tepkisi ölçüldü. İlk yüklemenin kemere herhangi bir geçici veya kalıcı etkisi olmamıştır. Öte yandan, ikinci yükleme istemsizce açılı (*asimetrik*) uygulanmış olup kemerin çökmesine yol açtı. Bu yüklemenin düzgün olmayışı, yükün bir yöndeki yatay etkisinin artmasını sağlayıp tuğlalar arasında kesme kuvvetini doğurdu. Bu da tuğla örgüsünün -bir duvar örgüsü gibi- yataya döndüğü kalınlaşma noktasından, karışmaların çözülüp ayrılması yoluyla kemerin yıkılmasına neden oldu. Bu asimetrik yükleme form açısından Şekil 2d'de görülen davranış ile örtüşmektedir. Kemerin kalınlaşma yeri, karışmanın niteliği ve gerginin konumu ise, yapım açısından üzerinde durulması gereken öğeler olarak belirlemiştir. Burada, kemerin bir üst örgü sırasından kalınlaştırılması durumunda, örgü açısının değişeceği ve zincir eğrisinin kemerin sınırlarından uzaklaşacağı için, ayrılmanın güçleşeceği

saptandı (*bk. Şekil 5*). Gerginin ise, zincir eğrisi incelemesi açısından, olası çatlamaların yaşanacağı noktaya göre konumlandırılması gerekliliği açığa çıkarıldı. Bu bakımdan, gerginin yükseltilmesi oturduğu yüzeyin eğiminin artması anlamına geleceği için, kaymaya karşı ayrıca bir önlem oluşturacaktır. Sonuç olarak, bu gerginin alt kısmında bulunması kemerin alt kısmının kımıldamasını engellerken, üst kısmın dışa kaymasını, dolayısıyla asimetrik yükün oluşturduğu kesme kuvvetini büyümüştür. Bu durumda, geleneksel uygulamalardaki kiriş ve gergilerin yığma yapı bedenindeki kılıç demiri, pim ve saplama gibi düşey bileşenlerle birbirine bağlanmasının (*bk. Tanyeli 2017, 151*), önemi yeniden belirlemiştir. Kemere bilinçli olarak sabit veya hareketli asimetrik yüklerin uğratılması durumunda, kemerin Şekil 2d'deki grafiğe uygun bir şekilde, bir uçan payanda formuna dönüştürülmesi ya da bir yanından zincir eğrisine göre biçimlendirilmiş bir dayanak yardımıyla desteklenmesi gerekir.

Şekil 12. İkinci kemerin kil torbalarıyla yüklenmesi.



Üçüncü kemer söz edilen sorunlar açısından geliştirilmiş bir örnektir. Burada, ikinci kemerin kaydığı konum ikinci kez kalınlaşarak üç basamaklı biçime dönüşmektedir. Ayrıca, çift gergi bu kemerin sağlamlığı ve dengesi (*stabilite*) arttırmakta; yüksekçe konumlandırılan kilit taşı kemerin basınç güvenliği iyileştirmektedir. Ancak, gergiler ikinci kemerde olduğu gibi, düz yüzeyde ve zincirin kemerin çevre çizgisinden uzaklaştığı, görece güvenli bir bölgesinde bulunmaktadır. Bu bakımdan, kemerin yüklenmesiyle ikinci kemerdeki sonuçların bir benzerinin gerçekleşeceği öngörülerek, kemerin bu koşullarda korunup bir ders gereci olarak değerlendirilmesi uygun görüldü.

Çözümleme: Öğrenen ve Öğreten Deneyimi

Kemerlerin yapım sürecinin sonucunda bilimsel deneyim, öğrenim deneyimi ve öğretim deneyimi olmak üzere, üç ayrı bakış açısıyla bulgular edinildi. Bilimsel deneyimin bulguları 3.3. bölümde görüleceği üzere, yükleme ve sınam a şamalarının ardından saptandı. Öğrenim ve öğretim deneyimlerinin bulguları ise bölüme iki aşamalı olarak konu edildi. Belirtilen saptamaların öğreten den bağımsız olarak, öğrencilerde uyandırdığı karşılığı anlamak için, anket üzerinden bir sınav gerçekleştirildi.

Öncelikle öğrencilere somut veya soyut modelin öğrenme adına gerekliliği ve/veya yeterliliği soruldu. Böylece öğrencilerin üretimle ilgili ilgi, istek ve kıvançlılık düzeyi sorgulandı. Ardından yapım süreci ve kemerlerin yük altındaki davranışını ele alan bir soru yöneltildi. Belirgin ve seçik yanıtlar alabilmek adına, soru kemerin yapımında önem kazanan kalıp işçiliği, tuğla örgüsü ve işçiliği, karışma niteliği ve katılasm a s, gergi konumlandırma, zincir eğrisi ve basamaklanma gibi maddeler üzerinden ayrıştırıldı. Bu sorular iki ayrı üniversitedeki öğrencilerden oluşan takımlara yöneltildi. Belirtilen iki öğrenci takımı da yapı bilgisi derslerini aynı öğretim üyesinden aldı. İlk takım

(*İz*) konu bağlamında kuramsal bir anlatımın ardından, kemerleri yerinde uygulayarak deneyimledi. İkinci takım (*Samdaqu*) ise, konuyla ilgili kuramsal bir ders ile uygulamanın süreç ve sonuçlarını kapsayan anlatımı dinledi. Sorular iki aşamalı yöneltildi: “... öğrendiniz mi?” sorusunun ardından verilen “evet” yanıtına “öğrendiyseniz açıklayınız” dendi. Bu iki takımın verdiği yanıtlar saptanan bilimsel bulgulara göre ölçülüp değerlendirildi. Her iki takımın kendi içerisindeki doğru yanıt yüzdesi ile öğrendiğini düşündüğü konuyu açıklayamayanların yüzdesi karşılaştırılarak aradaki sapmalar belirlendi. Somut model üreten ile üretmeyenler arasındaki öğrenim düzeyleri karşılaştırılarak tartışıldı. Böylece yanıtların doğruluğunun yanında, öğrenmenin yanılgılarını ele alan çözümlemeler (*analiz*) gerçekleştirildi.

Bu bölümde ayrıca, öğretim yönteminin tutarlılığı, etkileşimli öğrenme, ders verisi geliştirme ve sektörl e işbirliği olanakları sorgulanıp tartışıldı. Öğretim deneyiminde ders anlatımlarına, yapım sürecine ve öğrenci geri dönüşlerine göre, ders işlenişinin düzenlenmesi ve değerlendirilmesine yönelik izlenimler ve öznel görüşlere yer verildi.

Öğrenim Deneyimi

Anlatım ve uygulamaların ardından, her iki takımın öğrencilerine çalıştay genelinde ve konu özelinde sınavlar düzenlenip sorular yöneltildi⁶. Çalıştay geneliyle ilgili “çalıştay öğretici miydi?”, “çalıştay eğlenceli miydi?”, “Öğretim üyesi ve başka öğrencilerle birlikte çalışmak verimli miydi?” gibi sorular tartışma götürmeyecek düzeyde olumlu karşılanmıştır. Anlaşılabacağı üzere, öğretim üyesi ve öğrencilerin uygulayarak, etkileşimli bir şekilde ve karşılıklı öğrenmesi öğretici, verimli ve eğlenceli görülmektedir. Ancak, bu tür çalıştayların sıkı bir emek, zaman ve maliyet gerektirdiği de bir gerçektir. Bu nedenle, öğrencilere bu güçlükler e katlanmak kaydıyla, benzer modelleri ders süresinde yapmak isteyip istemediği,

6. Burada, yapılan işle duyumsal bir bağ kurmayan Samdaqu öğrencilerinin anket sorularına içtenlikle yanıt vermelerinin sağlanması için, verilen yanıtların ders değerlendirmesine yansıtılacağı önceden bildirildi.

somut (*fiziksel*) modelin öğrenme adına gerekliliği ve soyut (*dijital*) model üzerinden anlatımın öğrenme adına yeterliliği soruldu. İlk soruya İzü takımı tümüyle evet yanıtı verirken, 174 kişilik Samdaqu takımından yalnızca 2 kişi kararsız, 10 kişi hayır, kalanlar ise evet ile karşılık vermiştir. Kalan iki sorudan biri gereklilik, öteki ise yeterlilik bildirmesi açısından, birbirini çelişkiye düşürecek türdendir. Bu bakımdan, yanıtların duygusallık içermesi olanağına karşı bir sorgulama gerçekleştirilmiş oldu. Sonuç olarak, bütün katılımcılardan %93'nün (175

kişi) somut modeli gerekli gördüğü, yine bunlar arasından %68'inin (119 *kişi*) soyut modeli yeterli bulduğu açıkça çıkmaktadır. Bu anlamda, her iki takımın yanıtları birbirine oldukça yakın olup tutarsızlık içermektedir. Verilen yanıtlara göre, somut veya soyut bir model geliştirmenin gerekli olmasına karşın, somut modelin öğrenmeyi pekiştirici görev üstlendiği anlaşılmaktadır. Bu görüşe bakılırsa, yalnızca soyut model ders anlatımı için yeterli bir veridir (Tablo 1).

Tablo 1. Öğrencilerin çalıştay geneline yönelik değerlendirme çizelgesi

Sorular	Yanıtlar (İzü)			Yanıtlar (Samdaqu)		
	Evet	Hayır	Kararsız	Evet	Hayır	Kararsız
Benzer modelleri ders süresinde uygulamak ister misiniz?	%100	%0	%0	%93	%6	%1
Somut model öğrenme adına gerekli midir?	%100	%0	%0	%87	%9	%4
Soyut model üzerinden anlatım öğrenme adına yeterli midir?	%69	%23	%8	%61	%33	%6

Çalıştaya konu olan kemerlerle ilgili öğrenme için, çoktan seçmeli ve kısa yanıtlı ölçme değerlendirme yöntemi benimsendi. Öğrencilere gözlem, sezgi, uygulama (*yapım*) ve yükleme (*sınama*) sonucunda kalıp işçiliği, tuğla örgüsü ve işçiliği, karışma niteliği ve katılaşması, gergi konumlandırma ile zincir eğrisi ve basamaklanmanın; kemerlerin niteliği ve yapısal davranışına etkileri soruldu. Çoktan seçmeli olarak alınan evet, hayır veya kısmen yanıtlarının ardından, öğrencilerden bu maddeleri tamamen veya kısmen öğrendiğini belirtmesi durumunda, kısaca bu yanıtın ayrıntılandırması istendi. Böylece, öğrencinin öğrenmesinin ölçülmesinin yanı sıra, öğrenip öğrenmediği noktasındaki olası yanılgıları da değerlendirildi. Tablo 2'de her iki öğrenci takımının bu sorulara verdiği yanıtlar görülmektedir. Burada, uygulamayı gerçekleştiren takımın (*İzü*) zincir eğrisi ve basamaklanmanın dışındaki dört maddeyi %85 ve üzerindeki bir oranla öğrendiği belirtilmektedir. Bunun temel nedeni, zincir eğrisinin kalan dört maddeye göre

soyut ve karmaşık kalması olmalıdır. Öte yandan, Samdaqu takımının bu maddelere verdiği yanıtlar İzü takımına göre oldukça düşük olup %59-68 ile dengeli bir aralıktadır. Burada, tüm konunun kuramsal bir anlatımdan öğrenilmesi nedeniyle, oranların birbirine yakınlığı olağandır. Yanıt yüzdesinde gergi konumlandırmanın en iyi, zincir eğrisinin ise en az öğrenilen maddeler olarak belirtilmesi, öğrenciler için birinin somut ve belirgin, ötekinin ise soyut ve karmaşık olduğu gösteren bulgulardır. Sonuç olarak bu çizelge, uygulayan öğrenci takımının yüksek bir verimle öğrendiğine yönelik izlenim vermektedir. Ancak, öğrenci sayısı göz önünde bulundurulursa, Samdaqu takımının yanıtlarının daha tutarlı olduğu varsayılmaktadır.

Soru(lar)		Yanıtlar (İzü)			Yanıtlar (Samdaqu)		
		Evet	Hayır	Kısmen	Evet	Hayır	Kısmen
Gözlem, sezgi, yapım ve yükleme sonucunda, yandaki beş maddenin kemerlerin niteliği ve yapısal davranışına etkilerini öğrendiniz mi?	Kalıp işçiliği	%85	%8	%8	%61	%5	%34
	Tuğla örgüsü ve işçiliği	%100	%0	%0	%63	%5	%32
	Karışma niteliği ve katılaşması	%92	%8	%0	%64	%9	%27
	Gergi konumlandırma	%92	%8	%0	%68	%9	%23
	Zincir eğrisi ve basamaklanma	%54	%31	%15	%59	%13	%28

Değerlendirmede doğru veya kısmen olarak çoktan seçme yapıp yanıtını kısaca yazanların öğrenimi, Tablo 3'te ayrıca ele alınarak ölçüldü. Her iki yanıt türünde de ayrıntılar görmezden gelinmekle birlikte, 4.1. Bölümdeki inceleme ve bulgular çerçevesinde doğru ve belirgin bir yanıt verilmesi durumunda, öğrencinin konuyu öğrendiği varsayıldı ve bu değerlendirme doğru veya kısmen yanıtı verenlere oranlanarak çizelgeye işlendi. Konuyu öğrendiğini belirten öğrenciler ile bu değerlendirmeye göre doğru yanıt veren öğrenciler arasında bağıntı kurulup bu ikisi arasındaki sapma belirlendi. Bu sapma ile ne öğrendiğini bilip açıklayabilen başarılı öğrenciler ile bildiğini açıklayamayan, tam anlamıyla öğren(e)meyen veya öğrendiğinde yanılan öğrenciler ayırt edilmiş oldu.

Çizelgede İzü takımından yaklaşık 5 kişiden 2'sinin konuya doğru ve belirgin bir açıklık getiremediği gözlemlendi. Burada, tuğla örgüsü ve işçiliğine yönelik hem daha önce alınan ders hem de çalıştay kapsamındaki anlatım ve uygulamaya karşın, yüksek bir yanılğı ortaya çıkmaktadır. Genellikle belirgin olmayan açıklamalar ile derzlerin şaşırtılması, karışma aralıklarının yatayda eşit, düşeyde kemer açısına uygun bir şekilde eğik tutulması gibi önemli ölçütler göz ardı edilmiştir. Samdaqu takımının ise, kalıpla ilgili uygulama sorunlarını deneyimlememesi ve zincir eğrisi ise lisans öğrencisi düzeyi için fazla kuramsal olması nedeniyle, rastlantısal ve genel bilgiler içeren yanıtlar verdiği gözlemlendi. Bu nedenle sapma oldukça yüksektir. Tuğla örgüsü ve işçiliği

ile karışma niteliği ve katılaşması yönelik bilgiler ise, yapı derslerinde ve çevredeki yapılarda gözlemlenen daha somut konular olduğu için daha iyi anlamlandırılmıştır. Gerginin nedeni diğer sorulara oranla daha net bir şekilde belirtilse de konumuna yönelik ifade bulunmamaktadır. Benzer şekilde, Samdaqu takımının belirtilen maddelerin kemerin davranışından çok, niteliğine etkisine odaklandığı sezildi. Burada, uygulamayı gerçekleştiren takımın daha çok gözlem yapmasının davranışa etki anlamında ciddi etkisinin olduğu görüldü. Bunlar gözlem ve sezgileriyle yükleme sonucunu yorumlamasının lisans öğrencilerinden beklenmemesi gereken düzeyde bir deneyim gerektirdiğini göstermektedir. Her iki takımın birbirinden ayrı öğrenme düzeyine eriştiği görülmüştür⁷. Örneğin, karışma niteliği ve katılaşmanın kemerler üzerindeki niteliğe ve yapısal davranışına etkisini Samdaqu takımındaki yaklaşık her 5 öğrenciden 3'ü öğrendiğini belirtirken, bunlar arasında 4 öğrenciden 3'ü doğru ve belirgin bir açıklama yapamamıştır. Buna karşın, aynı konuyu uygulamayı gerçekleştiren İzü takımındaki 5 öğrenciden 2'si açıklayamamıştır. Bu bakımdan öğrenme oranı yaklaşık olarak ve sırasıyla, %25'e %60'tır. Bu değerler doğal olarak, beklenen başarı düzeyinin altında kalmaktadır.

Tablo 2. Öğrencilerin öğrenme çıktılarına göre düzenlenen sınava verdiği yanıtlarının çizelgesi

7. Burada genel eğitime yönelik düzey farkları veya takımlar arasında değerlendirmeye yönelik özensizlikler de ortaya çıkabilir ki her iki takıma da aynı öğretim üyesinin (yazar) yapı derslerini vermesi ve uygulamayı gerçekleştirip anlatması koşulları denkleştireceği için, bu olasılıklar çalışma da görmezden gelinmiştir.

Tablo 3. Öğrencilerin verdiği doğru yanıtın değerlendirme çizelgesi

Soru (lar)		Doğru yanıtların değerlendirmesi					
		İzü takımı			Samdaqu takımı		
		Yanıt	Değerlendirme	Sapma	Yanıt	Değerlendirme	Sapma
Gözlem, sezgi, yapım ve yükleme sonucunda, yandaki beş maddenin kemerlerin niteliği ve yapısal davranışına etkilerini öğrendiniz mi?	Kalıp işçiliği	%85	%54	%36	%61	%14	%77
	Tuğla örgüsü ve işçiliği	%100	%38	%62	%63	%24	%62
	Karışma niteliği ve katılaşma	%92	%54	%41	%64	%16	%75
	Gergi konumlandırma	%92	%54	%41	%68	%29	%57
	Zincir eğrisi ve basamaklanma	%54	%31	%43	%59	%26	%56

Çizelgeye yönelik özet kanı, uygulamaya tanık olmayanların bilinçaltında birtakım veriler barındırır da tam olarak ne öğrendiğini anlamlandıramaması yönündedir. Uygulamacı takımın ise, belirtilen maddelerin kemerin yapısal davranışına etkisiyle ilgili kavrayışının, beklenenin altında olduğu gözlemlendi. Bu noktada son olarak, birinci ve ikinci kemerin yükleme ve çökme evrelerine yönelik paylaşılan görseller yardımıyla, öğrencilerin kemerdeki yapısal davranış tanımlaması istendi. Burada, ilk kemer için gergi kullanılmaması ve/veya kemer kalınlığının yetersiz olmasıyla ilgili yorumlar doğru; tuğla örgüsünün eksik ve karışmanın niteliğinin düşük olması gibi yorumlar ise, kemeri yıkıma uğratan ana neden olmadığı için yanlış sayıldı. Bu bakımdan, İzü takımının %58'i, Samdaqu'nun ise %22'si soruyu belirgin ve doğru yanıtlamıştır. İkinci kemerin ilkine göre belirgin yanlışları olmayıp çökme nedenini saptamanın güçlüğü göz önüne alınarak, asimetrik yükleme veya yatay yükün harcı kesmesiyle ilgili açıklamalar yeterli ve doğru; aşırı yükleme yapılması, malzemenin niteliksizliği ve işçilik hataları gibi nedenler ise yanlış sayıldı. Bu anlamda, İzü takımının %30'u, Samdaqu'nun ise %25'i soruyu doğru ve belirgin yanıtlamıştır. Burada, İzü takımının uygulamayı gerçekleştirmesine karşın,

kemerin çökme nedenini saptamada zorlanması; bir öncekine göre sorunlardan arındırılarak ve büyük bir özenle geliştirilen bu kemerin birdenbire yükleme sırasında yıkılırken dayanım yetersizliğine yönelik açık bir belirti sunmaması olmalıdır. İki takım arasındaki değerlerin birbirine yaklaşması, Samdaqu takımına uygulamanın anlatımı sırasında verilen yanıt ipuçlarının yerini bulmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Öte yandan, genele bakıldığında, Samdaqu takımında doğru yanıt oranının düşüklüğünün yanında; ilk kemerin kalıp sökme evresindeki yakma sürecinin kemerin mekanik dayanımını düşürüp yıkılmasına neden olması veya ikinci kemerdeki gergi sayısının yetersizliği gibi çok sayıda rastlantısal yoruma yer verilmesi, uygulamaya tanıklığın önemini bir kez daha vurgulamaktadır. Nitekim, öğrencilerin sezgi, gözlem, yapım ve yükleme; dolayısıyla süreçle ilgili düşünce, dilek ve değerlendirme görüşleri, uygulamalı öğrenmenin gerek ve önemini kanıtlar niteliktedir. İzü takımından, genelin duygu ve düşüncelerini aktaran bir görüş aşağıda aktarılmaktadır:

Süreç benim açımdan çok verimli geçti. Her anıyla verimli geçtiğini söyleyebilirim. 3 kemerinde yapımında ve test süreçlerinde bulundum. Atölye öncesi tekniğini, yapı kimliğini bilmediğim bir mimari uygulamanın farklı açılardan

tecrübesini edindim. Mimar olarak yapılarda kullanılabilme fikirlerine ilham olan bir tecrübe edindim. Bu tarz atölyelerin mimarlar açısından önemi ancak katılım sağlanınca anlaşılıyormuş. Temennim bu bilincin oluşması için bilinçli insanların genç mimarlara öncü olması.

Samdaqu takımının dersin sonundaki temel isteği uygulamayı kendi sınavıp denemek olmuştur. Buna dönük birkaç görüş, aşağıda Özbekçe ve Rusça'dan çevrilerek alıntılanmaktadır:

“Olağanüstü! Doğrusu bu kemerlerin yapım ve uygulama süreci çok ilgimi çekti ve bu süreci kendim sınavıp denemek istiyorum...”

“Sürecin çok ilginç olup hayal gücüne geniş bir alan tanınması gerçekten hoşuma gitti. Bu tür deneyleri üniversitede kendim uygulayarak algı ve anlayışımı geliştirmek isterim...”

“Bu yaklaşım bana çok ilginç geldi. Ben de kendi ufak kemerimi yaratmak isterdim, ayrıca bunu sınavıp göremediğim için çok üzgünüm. Yine de öğrendiklerimi bir andaç olarak saklamak istiyorum.”

Öğretim Deneyimi

Kemer&tonozlara yönelik uygulama ve sinama deneyimi; birlikte, etkileşimli ve uygulayarak öğrenme adına epeyce yararlı ve eğlenceli olmuştur. Ayrıca, bu süreç öğrenciye olduğu kadar öğretim üyesine de katkılar sağlamıştır. Bilindiği gibi, günümüzde öğretim üyelerinin kurum içi etkinliklerinin yoğunluğu ile akademinin sektörle ilişkileri sekteye uğramıştır. Bu noktada, irili ufaklı yapım süreçlerini yönetmek öğretim üyesini dinç tutmakta, öğrencileri etkin duruma getirmekte ve bu da öğrenmenin çift yönlü gelişmesini sağlamaktadır. Ancak, bu sırada işin yoruculuğu, yitirilen zaman ve giderler göz ardı edilebilmektedir. Bu çalıştaylardaki her bir kemerin kurulumu ve sinanması sırasında 8 saatlik bir zaman tüketilmiştir. Dolayısıyla, bu tür ders dışı etkinliklerin sık aralıklarla veya ders içi sürecinde gerçekleştirilmesi için, iyi bir

zaman ve gider yönetimi yapılmalı veya daha küçük modellerle sık uygulamalara gidilmelidir. Bu çalışmada örneklendiği üzere, büyük ölçekli modeller seyrek aralıklarla geliştirerek ders gereçlerine dönüştürülebilir. Yapılan bu işte, yükleme deneyine uğratılmayan üçüncü kemer bir somut model, tüm süreç ise dijital veri ve modeller olmak üzere, dersin temel kaynakları durumuna gelmiştir. Böylece, bu süreçle gelişen bilgi ve deneyim sonraki dönem öğrencilerinin erişimine açılırken, yeni bir uygulamayla bir başka ders kaynağı edinilebileceği düşünülmektedir.

Üniversiteler gerekli alan, araç ve gereçlerin bir kısmını sağlayabilse de bu tür etkinlikler için gerekli işe yönelik donanımın edinilmesi ayrıca bir uğraş konusudur. Bilindiği gibi, bilimsel araştırma projeleri bu noktada bir çözüm getirmektedir; ancak, onay koşulları ve süreç uygulamanın ne sıklıkla gerçekleştirilebileceğini sınırlamaktadır. Bu gereksinimi sağlamanın başka bir yolu da sektörle işbirlikleridir. Özellikle yapı malzemeleri üreten firmaların, bu tür etkinliklerin destekleyicisi olarak gerekli malzemeleri sağlaması, aynı zamanda ürün ve hizmet tanıtımı gerçekleştirileceği için, karşılıklı yararlıdır. Bu çalışmada, doğrudan sektörle bir erişim söz konusu olmasa da bu tür etkinlikler için üretilip üniversiteye sağlanan ölçekli malzemelerden yararlanıldı. Bu da kemer uygulamasının gider noktasındaki yükünü epeyce almış oldu. Yine, firma çalışanları ile öğrencilerin birlikte çalışma deneyiminin öğrencilere staj ve iş kapıları aralayabileceği öngörülmektedir.

Bilindiği gibi, günümüzde anlatımlar sırasında öğrencilerin ilgisini toplamak ve istenilen noktaya odaklanmaları sağlamak, üzerine yoğunlaşılması gereken çetin bir durumdur. Buna karşın, “ortak eğitim”, “öğrenmeyi öğrenme”, “yaşam boyu öğrenme” gibi⁸ çağdaş öğrenim yöntemleriyle barışık biçimde, öğrencilere -tasarım ve yapım gibi eyleme dönük işlerde- karar verici bir sorumluluk yüklenmesi, bu zorluğun aşılmasına

8. Bunlar sırasıyla “cooperative education”, “learning to learn” ve “lifelong learning” olmak üzere İngilizce kavramların karşılıkları olup son yirmi yıldaki eğitim araştırmacılarının gündemini oluşturmaktadır. Bk. Slavin 2010, Laal ve Salamati 2012, Weinstein vd. 2015.

yardımcı olmaktadır. Ders verilen sınıf ve takımlar arasında kuşkusuz ki düzey farkları bulunmaktadır. Ancak, gerçekleştirilen anlatım ve uygulama ortalama bir algı düzeyindeki öğrencinin yetenekleri kapsamında olması nedeniyle, bu ayrımlar en belirgin biçimde işe gösterilen özen ve önem bakımından açığa çıkmaktadır. Bu noktada anlatım ve uygulamanın bir dersin konusu olarak verilmesi ve anketin bu ders kapsamında değerlendirme yöntemi olarak ele alınması, verilen yanıtların içtenliği ve içeriğini artıracaktır. Böylece, yanıt doğruluğu üzerinden ortaya çıkan sapmalar, dolayısıyla yanılğılar azalacaktır.

Öte yandan, uygulamadan söz edilmiyorsa, Samdaqu'da olduğu gibi, ilgi ve odağın toplanması güçlüğü kendini daha çok göstermektedir. Bu noktada, çeşitli üniversitelerde ders ve seminer kapsamındaki anlatımlar sonucu, uygulamayı gerçekleştirmeyenlerin süreçlere duyumsal olarak tanık olmadıkları için, temel kazanımının görgü düzeyinde kaldığı gözlemlenmiştir. Yapısal davranışın, bilim dalının terimleriyle tanımlanıp yorumlanacağı düzeyde bir öğrenmenin, donuk bir görselin dışında; yükün konumu, akış yönü ve modelin dağılma aşamalarını gösteren canlandırmalar ile sağlanabileceği düşünülmektedir. Çalıştay sırasındaki öğretim sürecinde ise, öğrencilere yukarıda değinilen bu durumları özellikle ve özenle vurgulamak gerekecektir. Bir başka deyişle, öğrencilerin yapısal davranışı algılamakta güçlük çekmesinden yola çıkarak, öğretim üyesinin modelin yapım ve yükleme sürecinin sonlandırılmasına yönelik öngörü ve sezgilerini sakınıp esirgememesi, hem kendi bilgisini sınaması hem de tam bir öğrenmenin kazanılması adına yararlı olacaktır.

Sonuçlar

Kemer, tonoz ve kubbelerin geçmişten bu yana kullanılan en temel ve verimli biçimlerden olduğu bilinmektedir. Sözü edilen zincir eğrisi ise, taşıyıcılık ve

verimlilik açısından bu formları etkin kılmaktadır. Bu bakımdan, geçmişte Gotik mimari ve klasik Osmanlı mimarisi yapısal etkinlik ve malzeme verimliliği adına çıkış açmıştır. Modern dönem ve sonrasında ise, bu yaklaşımın kimi yapı sanatçısı tarafından tasarımı belirleyen başat ilke olarak kullanılmaya başlandığı görülmektedir. Günümüzde, geçmişin formlarının yalınlaştırılıp geliştirilerek yeni malzemelere büründürüldüğü eğilimler söz konusudur. Bu bakımdan kemer, tonoz ve kubbe biçim, üslup ve yapım özellikleriyle ayrışan, zamansız yapı bileşenleridir. Dolayısıyla bu çalışmada, unutulmaya yüz tutmuş, temel ilkelerinden kopuk bir yaklaşımla ele alınmakta olan bu formların, geçmişten gelen bilgi ve deneyim üzerinden günümüzde yeniden canlandırılması ve öğrenilmesi amaçlandı. Bu doğrultuda, zincir eğrisine göre, öğretim üyesi ve öğrenci elbirliğiyle tasarlanıp üretilen kemer ve tonozlar sınanarak bilimsel deneyim ile öğrenim ve öğretim deneyimleri kazanıldı. Elde edilen bulgular ışığında eski yapıların onarımı, yenilikçi eğrilikli yapıların tasarımı ve geleneksel formların ölçülebilir ve ussal bir yolla günümüze uyarlanması bakımından beceriler edinildi.

Sonuç olarak, yapılan iş genelinde aşağıdaki çıktılar elde edildi:

Kuramsal bir bilgi belirli bir yöntem dolayında ele alınarak, bilimsel nitelik taşıyan bir yapım süreci geliştirildi.

Öğretim üyesi ve öğrencilerin süreci birlikte yürütmesi sağlanarak ölçekli yapı bileşenleri geliştirilmiş ve yükleme sonucunda yapısal davranışı sezme, kavrama ve deneyimleme olanağı elde edildi.

Üniversitelerin yer, araç ve gereç olanaklarından yararlanılarak, öğrenci kulüplerinin ise etkinliklerine eklemlenerek toplumsal ve eğitimle ilgili etkinlikler bir potada eritildi.

Çalıştay sonucunda elde edilen bulgu ve modeller ile ders kaynaklarına katkıda bulunulup gelecek nesil öğrencilerin bu deneyimden yararlanması sağlandı.

Gerekli bilgi, araç ve gerecin sağlanmasında destekleyici firmalarla işbirliği yapmak giderleri azaltmakla birlikte, öğrencilerin staj ve iş olanaklarına kapı aralayacaktır.

Kemer&tonoz uygulamaları özelinde şu bulgulara erişildi:

Form bakımından, zincir eğrisine uygun bir biçimde kilit taşının yükseltildiği, basamaklı ve devrilmeye karşı üçüncü boyutu etkin bir kemer uygun ve verimlidir. Bu bağlamda zincir eğrisi kuramı, uygulanan örneği taşıyıcılık açısından iyileştiren bir bileşen olarak doğrulandı.

Üslup bakımından, Modern dönemden bu yana zincir eğrisine uyumlu eğrisel formların gerek kemer gerekse de kabuklarda kullanılarak bir üsluba dönüştürüldüğü belirtilip, klasik ve yaygın kemer tipleri arasında penci ve sivri kemerin en etkin, Bursa kemerinin ise en zayıf olduğu ortaya kondu.

Yapım bakımından, zincir eğrisinin kemer yüzeyinden taşmaya yakınlaştığı kısımda konumlandırılmış ve kesme kuvvetine karşı düşey elemanla bağlanmış bir gergiyi bulunduran; yarılmaya karşı tuğlaların örgü kurallarına uymak kaydıyla her iki yönde birbirine kilitlendiği, kesme kuvvetine karşı bağlayıcı ve iyi yoğunlukta bir karışma ile örülmüş bir kemerin gerekliliği üzerinde duruldu.

Çalıştayların sonundaki öğrenci görüşlerine göre, somut veya soyut modeller mimarlıkta yapı bilgisi derslerini öğrenme için gerekli öğelerdir. Öğrenim deneyimi açısından, süreç içindeki zincir eğrisi kavramsallaştırmasının soyut ve çetrefilli olduğu gerekçesiyle, lisansüstü öğrenime daha uygun olduğu gözlemlendi. Takımlar arasında, somut modele dokunup süreçlerine tanık olmayanların ne öğrendiğini anlamlandırmada güçlük çektiği görüldü. Bu bakımdan, tüm maddelerin ortalaması alındığında, Samdaqu'da öğrendiğini açıklayan her üç kişiden yalnızca birinin konuya doğru ve belirgin bir açıklama getirdiği belgilendi. İzü takımında ise, bu oran

yarıdan yüksektir. Yine de başarı düzeyi beklenenin altında değerlendirilmekle birlikte, daha iyi bir öğrenme için öğretim üyesinin yapısal davranışa yönelik sezgi ve öngörülerini önceden paylaşmasının, öğrenci kavrayışını esnetme anlamında yararlı olduğu kanısına varıldı. İlk kemeri yıkıma uğratan başat etkene, sırasıyla ve yaklaşık olarak, İzü takımından 5 kişiden 3'ü, Samdaqu'dan 5 kişiden 1'inin; ikinci kemer için ise, her iki takımında birbirine yakın değerde (%30 ve %25) doğru ve belirgin yanıt verdiği görüldü. Buradaki düşük oranın, özen ve incelikle kurulan kemerin yıkımının ansızın ve beklenmedik bir biçimde gerçekleşmesi nedeniyle, davranışın izlenememesi olduğu saptandı. Sonuç olarak, çalıştayların öğrencilerin gözünde ilgi uyandırıp eylem(-ey)e geçerek öğrenmeyi tetikleyen bir etkisinin olduğu sezildi. Bu çalışmanın, değişik form ve yapım özelliklerini taşıyan geleneksel ve yenilikçi model denemelerine ve mimarlık eğitiminin uygulama yönünün güçlendirilmesine katkıda bulunması umulmaktadır.

TEŞEKKÜR

Çalışmada kullanılan fotoğrafların çekilmesi ve anket verilerinin işlenmesinde bilgilendirilmiş gönüllü öğrencilerin katılımına yönelik imzalı onay belgeleri elde edilmiştir. Bu bağlamda, etkinliği düzenleyen ve bu çalışmanın gerçekleşmesi için olanak tanıyan İzü Mimarlık ve Mekân Kulübü danışmanı Öğr. Gör. Enes Aluç ile öğrenci ve mezun üyelerine, uygulamada yer alan tüm öğrencilere, birtakım araç-gereçleri sağlayıp görev üstlenen kurum çalışanlarına, yapı malzemesini sağlayan Işıklar Tuğla'ya, izlenceden ayrı bir ders olarak bu konuları dinleme ve bir sınavı (anket) yanıtlama sıkıntısına katlanan Samdaqu'nun mimarlık fakültesi öğrencilerine içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKLAR

- Akyürek, M. E. (2024). A Topological and Technological Transformation Model of Mimar Sinan's Mosques to the Present. *Journal of Islamic Architecture*, 7(1), 91-105. <http://dx.doi.org/10.18860/jia.v8i1.23694>
- Bennett, J. A. (1982). *The Mathematical Science of Christopher Wren*. Cambridge: Cambridge University Press. ISBN: 0521246083
- Billington, D. P. (2022). *The Tower and the Bridge: the New Art of Structural Engineering*. Princeton and Oxford: Prince University Press. ISBN: 9780691236926
- Block (2024). *Block Research Group (BRG)*. <https://block.arch.ethz.ch/brg/>. Erişim tarihi 27 Ağustos, 2024.
- Candela, F. (1964). Understanding the Hyperbolic Paraboloid. R.E. Fischer (Ed.), *Architectural Engineering: New Structures* (1. ed., C. 1, ss.45-49). New York: McGraw-Hill.
- Heyman, J. (1997). *The Stone Skeleton: Structural Engineering of Masonry Architecture*. Cambridge: Cambridge University Press. ISBN: 0521629632
- Isler, H. (1994). Concrete Shells Derived From Experimental Shapes. *Structural Engineering International*, 4(3), 142-147.
- Işıklar Yapı Ürünleri (2020). Genel Ürün Kataloğu. <https://isiklartugla.com.tr/e-katalog/#flipbook-genel-urun-katalogu/101/>. Erişim tarihi 28 Ocak, 2025.
- Kâmi, İ. (2014). *Mefûh: İnceleme, Transkripsiyon, Sözlük* (Haz.: L. Kurgun). İzmir: Nokta Yayınları. ISBN: 9786058485105
- Karakoç, N. (2018). Tuğlayı Keşfet Öğrenci Yarışması. *Arkitera*. <https://www.arkitera.com/yarisma/tuglayi-kesfet-ogrenci-yarismasi/>. Erişim tarihi 04 Eylül, 2024.
- Laal, M. ve Salamatı, P. (2012). Lifelong Learning: Why Do We Need It?. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 31, 399-403. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.12.073>
- Liddell, I. (2015). Frei Otto and the development of gridshells. Case Studies in Structural Engineering, *Case Studies in Structural Engineering*, 4, 39-49. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.csse.2015.08.001>
- Mata-Falcon, J., Bischof, P., Huber, T., Anton, A., Burger, J., Ranaudo, F., Jipa, A., Gebhard, L., Reiter, L., Lloret-Fritsch, E., Mele, T. V., Block, P., Gramazio, F., Kohler, M., Dillenburger, B., Wangler, T. ve Kaufmann, W. (2022). Digitally Fabricated Ribbed Concrete Floor Slabs: a Sustainable Solution for Construction. *RILEM Technical Letters*, 7, 68-78. <https://doi.org/10.21809/rilemtechlett.2022.161>
- Meirelles, C.R.M.; Beraldo, P.N. ve Nazareth, B.M. (2019). Geometric Shape, Structure and Material in Antoni Gaudí's Work: The Colònia Güell Crypt and the Templo Expiatorio de la Sagrada Família. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 13, 608-621. Doi: <https://doi.org/10.17265/1934-7359/2019.10.002>
- Nervi, P. L. (1956). *Structures* (Çev. G. Salvadori ve M. Salvadori). New York: F.W. Dodge Corporation.
- Özyalvaç, A. N. 2013. "El-Kâşî'nin 'Miftâh El-hisâb' Adlı Eseri ve 16. Yüzyıl Osmanlı Yapılarında Kemer Biçimlenişleri Üzerine Bir İnceleme." *II. Türkiye Lisansüstü Çalışmaları Kongresi-Bildiriler Kitabı V*, Edited by Ü. Güneş. Bursa, Türkiye: Bursa Kültür A.Ş.
- Slavin, R. E. (2010). Cooperative Learning. *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences* (Third Edition, 177-183). <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-044894-7.00494-2>
- Tanyeli, G. (2017). "Hiçbir Üstâd Böyle Kâr Etmemiştir": Osmanlı İnşaat Teknolojisi Tarihi. İstanbul: Akın Nalça. ISBN: 9786058294219
- Tekeli, İ. ve İlkin, S. (1997). *Mimar Kemalettin'in Yazdıkları*. Ankara: Şevki Vanlı Mimarlık Vakfı Yayınları. ISBN: 9757722138
- Viollet-le-Duc, E. E., Thiersch, A. ve Wölflinn, H. (2021). *Mimarlıkta Orantı*. İstanbul: Janus Yayıncılık. ISBN: 9786257035095
- Weinstein, C. E., Krause, J. M., Stano, N., Acee, T. W. ve Jaimie, M. K. (2015). Learning to Learn. *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences* (Second Edition, 712-719). <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097086-8.92037-3>
- Wiseman, C. (2007). *Louis I. Kahn: Beyond Time and Style: a Life in Architecture*. New York: W. W. Norton & Company, Inc. ISBN: 9780393731651