

Digitalization of Craft Knowledge in Architecture: Translations and Transfers

Hülya Oral-Karakoç¹

ORCID NO: 0000-0003-2598-8169

¹ TOBB University of Economics and Technology, Faculty of Architecture and Design, Industrial Design, Ankara, Türkiye

Ongoing discussions about the circular economy and the rise of maker culture, driven by the widespread use of computer-aided design and manufacturing technologies, have sparked increased interest in crafts among designers and architects. The craft ethos, which includes designing, making, transforming, and repairing using existing and locally available resources, fosters innovative and sustainable design practices. However, there is a recognized need for new methods to adapt the labor-intensive, manual, and iterative processes of traditional crafts for building and industrial applications. In response, efforts are underway to document and record both tangible and intangible cultural assets and to integrate craft knowledge into contemporary design processes. These efforts are transforming design by incorporating insights and techniques from traditional crafts into new design domains.

In architecture, new methods are suggested to preserve and transfer the personal and local knowledge that has developed over many years. Data sets to train generative artificial intelligence poses various challenges for intuitive processes such as crafts, where tacit knowledge is produced and transferred through the master-apprentice relationship. Thus, to implement craft knowledge to architectural design, this knowledge must be codified and formalized, that is, defined with parameters and rules. Craft processes are parameterized and digitalized through translations and transfers of knowledge such as embedded, explicit, implicit and tacit. In this emerging field of digital craft, the goal is to create a hybrid design and production process that integrates the human factors into computational design processes through a learning-by-doing approach. Therefore, all types of data, algorithms, tools and techniques acquired and simulated are within the digital craftsman's toolset along with the physical tools and techniques. The parametrization and digitalization of craft knowledge allow open-source materials to be distributed and preserved through digital platforms known as virtual guilds.

Creating new digital techniques and therefore mediums for digital craft processes is a new research area that needs to be explored by architects and designers. It has been observed that literature studies on the translations and transfer of knowledge types between digital and physical mediums in architecture are overlooked in terms of categorization of digital craft studies. This article aims to reveal the possibilities of using these knowledge cycles in the digital craft processes within architectural design. The literature review shows that digital craft studies in architecture were carried out under three categories. These are the digitalization of craft knowledge in digital heritage studies, decodifying traditional craft processes to generate digital models and hybridizing the making process by integrating the human factors into the fabrication processes. The potentials and limitations encountered in digital craft processes will be discussed as final remarks.

Keywords: Digital Craft, Digitalization, Knowledge Types, Parametrization, Tacit Knowledge.

163

Received: 27.06.2024

Accepted: 07.08.2024

Corresponding Author:

hkarakoc@etu.edu.tr

Oral-Karakoç, H. (2024). Digitalization of Craft Knowledge in Architecture: Translations and Transfers. *JCoDe: Journal of Computational Design*, 5(2), 163-182. <https://doi.org/10.53710/jcode.1505957>

Mimarlıkta Zanaat Bilgisinin Dijitalleştirilmesi: Çevrimler ve Aktarımlar

Hülya Oral-Karakoç¹

ORCID NO: 0000-0003-2598-8169

¹ TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Endüstriyel Tasarım, Ankara, Türkiye

Bilgisayar destekli tasarım ve üretim araçlarına olan erişimin artmasıyla birlikte sonuç ürünün deneysel ve yinelenmeli yapım süreçleri sonunda ortaya çıktığı zanaat üretimi, mimarların ve tasarımcıların ilgisini çekmiştir. Tasarım ve yapım ortamının potansiyelini yaratıcı şekilde kullanma olarak tanımlanan dijital zanaatta ise, sadece fiziksel değil dijital nesne, veri ve algoritmalar da dijital zanaatkarın geliştirip kolektif şekilde paylaştığı ürünler haline gelmiştir. Bu güncel zeminde, yeni dijital ortamlar kurgulamak, araştırılması gereken yeni bir alan olarak karşımıza çıkmaktadır. Mimarlığın zanaatla etkileşimde olduğu noktalarda, dijital ve fiziksel ortamlar arasındaki bilgi türlerinin çevrimi ve aktarımına ilişkin literatür çalışmalarının, ilgili çalışmaların sınıflandırılması açısından sınırlı olduğu izlenmiştir. Bu makale kapsamında, mimarlıktaki yapım süreçlerinde işlenen bilgi türleri arasındaki çevrimlerin dijital zanaat bağlamında kullanım olanaklarının ortaya konulması amaçlanmaktadır. Bu makalenin özgün katkısı olarak; dijital miras çalışmaları, geleneksel zanaat yapım süreçlerinin çözümlenmesi ve hibrit yapım ortamları geliştirilmesi mimarlığın zanaat ile temasta olduğu noktalar olarak belirlenmiş ve bu noktalar örnekler üzerinden açıklanmıştır. Makalenin sonuç bölümünde ise mimarlıkta yapım bilgisinin parametrik hale getirilmesi ve dijitalleştirilmesi konusundaki potansiyeller ve kısıtlar tartışılmıştır.

Teslim Tarihi: 27.06.2024

Kabul Tarihi: 07.08.2024

Sorumlu Yazar:

hkarakoc@etu.edu.tr

Oral-Karakoç, H. (2024) Mimarlıkta Zanaat Bilgisinin Dijitalleştirilmesi: Çevrimler ve Aktarımlar. *JCoDe: Journal of Computational Design*, 5(2), 163-182. <https://doi.org/10.53710/jcode.1505957>

Anahtar Kelimeler: Bilgi Türleri, Dijital Zanaat, Dijitalleştirme, Örtük Bilgi, Parametrelendirme

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Süregelen döngüsel ekonomi tartışmaları, bilgisayar destekli tasarım ve üretim (BDT-BDÜ) teknolojilerinin ortaya çıkardığı üretici kültürü (maker culture), tasarımcıların zanaata olan ilgisini arttırmıştır (Adamson, 2007; McCullough, 1996; Sennett, 2008). Zanaat geleneğine (craft ethos) özgü; mevcut ve yerelde bulunan kaynakları kullanarak tasarlama, yapma, dönüştürme ve onarım süreçlerinin kurgulanması yenilikçi ve sürdürülebilir tasarım süreçlerinin gerçekleşmesini sağlamaktadır. Zanaattaki el ile tekrarlı yapıma ve deneye dayanan emek-yoğun süreçlerin, etkin bir şekilde endüstriye transfer edilebilmesi için yöntem açığı olduğu Birleşik Krallık Zanaat Konseyi'nin (UK Craft Council) 2016 tarihli raporunda ortaya konulmuştur (Warburton, 2016). Türkiye'de de yaratıcı ekonominin desteklenmesi amacıyla yereldeki güçlü yönlerin ortaya çıkarılarak katma değer üretilmesine yönelik çalışmalar gerçekleştirilmeye başlamıştır (INSPIRE, 2024). Bu doğrultuda, somut ve somut olmayan kültür varlıklarının belgelenmesi ve kayıt altına alınması çalışmalarının yanı sıra (Schinagl ve Schnider, 2020; Zabulis ve diğ., 2022), zanaat bilgisinin yeni tasarım süreçlerinde kullanılmasına yönelik araştırmalar da gerçekleştirilmektedir (Chittenden, 2021; Muslimin, 2010). Bu araştırmalar günümüz tasarım ve yapım süreçlerinde üretilen ve kullanılan bilgi türlerinin dönüşümüne neden olmuştur.

Mimarlıkta uzun yıllar içerisinde kişiye ve yerele özgü olarak ortaya çıkan yapım bilgisinin (know-how) korunması ve aktarılması için yeni yöntem arayışları bulunmaktadır (Gerger ve Unal, 2022; Karakul, 2011; Kim ve diğ., 2019). Özellikle üretken yapay zekanın eğitilmesi için gerekli veri setlerinin oluşturulması, zanaat gibi örtük bilginin (tacit knowledge) üretildiği ve usta-çırak ilişkisiyle aktarıldığı sezgisel tasarım ve yapım süreçleri için çeşitli zorluklar barındırmaktadır. Bu açılardan baktığımızda, zanaat bilgisinin mimari tasarımda kullanılabilmesi için bu bilginin açığa çıkarılarak çözümlenmesi yani parametre ve kurullarla tanımlanması gerekmektedir. Dijital zanaat olarak adlandırılan bu yeni araştırma alanında, hesaplamalı tasarım yöntemleri insan faktörüyle birleştirilerek deneme-yanılma süreçlerine dayanan hibrit bir tasarım ve üretim süreci kurgulamak amaçlanmaktadır (Niedderer, 2009; Woolley, 2011). McCullough'a göre dijital zanaat çalışmalarının doğrudan malzeme ile ilişkili olması beklenmez; önemli olan belirli bir sonuç ürünü hedeflemeden mevcut ortamın tüm potansiyelini yaratıcı şekilde

kullanarak tasarlamaktır (1996). Dolayısıyla, dijital ortam ve bu ortamda kullanılan ve simüle edilen her türlü veri, algoritma, araç ve teknik de dijital zanaatkarın yapım sürecinin parçaları olarak tanımlanır. Zanaat bilgisinin dijitalleştirilmesi, kitlesel olarak üretilen açık kaynaklı tasarım ve yapım (making) bilgisinin, sanal loncalar (virtual guilds) olarak adlandırılan Thingiverse, Instructables, Rhinoceros forumları gibi dijital platformlar aracılığıyla dağıtılmasını ve dolayısıyla korunmasını sağlamaktadır (Bonanni ve Parkes, 2010).

Zaman içerisinde gelişen ve değişen tasarım ve yapım süreçleri için yeni dijital teknikler ve dolayısıyla ortamlar kurgulamak araştırılması gereken yeni bir alan olarak karşımıza çıkmaktadır. Mimarlığın zanaatla etkileşimde olduğu noktalarda, dijital ve fiziksel ortamlar arasındaki bilgi türlerinin çevrimi ve aktarımına ilişkin literatür çalışmalarının, ilgili çalışmaların sınıflandırılması açısından sınırlı olduğu izlenmiştir. Bu makale kapsamında, mimarlıktaki yapım süreçlerinde işlenen bilgi türleri arasındaki çevrimlerin dijital zanaat bağlamında kullanım olanaklarının ortaya konulması amaçlanmaktadır. Bu kapsamda, dijital miras çalışmalarında zanaat bilgisinin dijitalleştirilmesi, dijital modeller oluşturmak için geleneksel zanaat süreçlerinin çözümlenmesi ve insan faktörünün fabrikasyon süreçlerine entegre edilerek yapım sürecinin hibritleştirilmesi başlıkları altında zanaat bilgisinin çevrimleri ile ortaya çıkan çalışmalar incelenecektir. Bu makalenin sonuç bölümünde ise, bu alandaki gelecek çalışmaları için dijital zanaatta karşılaşılan potansiyeller ve kısıtlar tartışılacaktır.

2. DİJİTAL ZANAAT: ZANAATIN DÖNÜŞÜMÜ (DIGITAL CRAFT: THE TRANSFORMATION OF CRAFTS)

Geleneksel anlamda zanaat, sonuç ürünün önceden tanımlı olmadığı deneme-yanılmaya dayanan yapım süreçlerini içerir. Zanaatta üretilen bilgi nesilden nesile usta-çırak ilişkisi ile ve lonca adı verilen zanaat teşkilatlanması aracılığıyla aktarılır. McCullough (1996) aynı nesnenin, belirli sayıda mekanik operasyonun el ile tekrarlı şekilde uygulanmasıyla üretildiği her türlü işin zanaat olduğunu belirtir. Pye (1968) kesinliğe dayanan makine işçiliğini, zanaat işçiliğinden ayırır ve sonuç ürünün önceden belirli olmamasından dolayı zanaat üretimini risk-işçiliği olarak tanımlar. Dolayısıyla, zanaat süreçleri, görerek öğrenilen yapım bilgisinin, belirli bir biçimi tekrar ve tekrar üretmek için kullanılmasını içerir. Beceri gelişimiyle birlikte belirli bir tecrübe kazanıldıktan sonra

zanaatkar, doğaçlama ile yeni yöntem ve tasarım süreçleri kurgulayabilmektedir.

Bilgisayar destekli tasarım ve üretim araçlarının ortaya çıkışıyla zanaatın tanımı da değişime uğramıştır. Bu tanıma göre, zanaat üretiminden bahsedebilmemiz için malzeme ile doğrudan temasta bulunmak zorunlu değildir. Dijital üretimde zanaat, insanların standart teknolojik araçları öngörülemeyen süreçlere, yaratıcı şekilde uygulaması durumunu ifade eder (McCullough, 1996). Bu açıdan bakıldığında, dijital zanaatkar, fiziksel ortama göre farklı dinamikleri olan dijital ortamda da arayüzler aracılığıyla mevcut süreçlerin taklidi, yorumlanması veya dönüştürülmesi yoluyla yeni araçlar ve süreçler geliştirebilir veya mevcut tasarım ve yapım süreçlerinden tamamen bağımsız yenilikçi ürünler de ortaya çıkarabilir. Dolayısıyla, dijital zanaat farklı bilgi türlerindeki çevrimleri ve aktarımları içeren hem fiziksel hem dijital ortamda kurgulanabilecek mevcut ortamı yaratıcı şekilde kullanarak gerçekleştirilen deneysel tasarım ve üretim süreçlerini kapsamaktadır.

Tasarım ve yapım süreçlerinde üretilen, dönüştürülen veya aktarılan üç farklı bilgi türü vardır. Bunlar, açık (explicit), ima edilen (implicit) ve örtük (tacit) bilgi olarak tanımlanır (Gribbin ve diğ., 2016). Bunların yanı sıra, tasarım nesnelerinde veya mimari yapılarda donmuş halde bulunan gömülü bilgi, o nesneye veya yapıya ait tasarım ve yapım süreciyle ilgili verileri içermektedir (Thoring ve Mueller, 2012). Açık bilgi, genellikle dil aracılığıyla aktarılan ve sistematik şekilde tanımlanabilen bilgiyi ifade eder (Eraut, 2004). Tanımlar ve formüller gibi sözel veya sayısal kesinlik içeren bu bilgi türünün kullanılması ve aktarılması diğer bilgi türlerine göre oldukça hızlıdır. İma edilen bilgi ise, açık bilginin içselleştirilerek beceriye dönüşmesiyle birlikte problemlerin yenilikçi çözümünde kullanımı ile ortaya çıkmaktadır. Öte yandan örtük bilgi, bedenin kendisine kaydedilmiş olduğu için sözel olarak değil, eylemler aracılığıyla aktarılabilen bilgi türüdür. Polanyi bedensel deneyim yoluyla kazanılan bu bilginin, başlangıçta açık bir şekilde ifadesinin güç olduğundan ve ancak tarifler (recipe) yoluyla ifade edilebileceğinden bahseder. Örtük bilgi tek başına elde edilebilirken, açık bilgi ise örtük olanın anlaşılması ve tanımlanması yoluyla elde edilir (1966). Sennett'e göre, zanaatkarın ustalaşması ile yapım esnasında örtük ve açık bilgi birbiriyle sürekli etkileşim halinde kalarak yapım sürecinin analiz edilmesini ve süreçte ortaya çıkan hataların düzeltilmesini sağlar (2008). Dolayısıyla, zanaat özelinde örtük bilgi,

usta-çırak ilişkisi aracılığıyla, gözlemleyerek öğrenilen ve taklit edilerek geliştirilen sezgisel bilgidir. Sezgisel olan bilginin tamamen içselleştirilerek farklı tasarım ve yapım süreçlerine aktarımı ima edilen bilgiyi oluşturur. Bu alandaki açık bilgi ise, parametre ve kurallara dayanan hesaplamalı tasarım ve üretim süreçlerinde, veri tabanlarının oluşturulmasında kullanılacak zanaat süreçlerinin sistematize edilmiş ve açık şekilde kodlanmış bir halini veya çevrimini ifade eder.

McCullough'a (1996) göre zanaatta el iki yönlü olarak çalışır; bunlardan ilki, elin teşhis edici (probe), ikincisi ise belirli mekanik operasyonları tekrarlı şekilde uygulayan etki edici (effector) olarak işlev görmesidir. Usta bir zanaatkar, eli ile doğrudan veya araç kullanarak belirli işlemleri malzemeye uygular. Bu sayede tasarım, malzeme ve biçim arasında bir uzlaşmaya çalışır. Tüm bu süreç boyunca eller aynı zamanda üründeki kusurları analiz ederek düzeltmeler yapar. Üründeki kusurların tespiti belirli bir uzmanlık gerektirir ve bu durum ürünün kalitesiyle doğrudan ilişkilidir.

Zanaatta kullanılan araçlar da el gibi iki yönlü çalışır. Kil ile yapımdan örnek verecek olursak; oyma, şekillendirme, kesme, kazıma, yontma, fırçalama, düzleştirme için kullanılan birçok farklı araç vardır. Bunların yanı sıra, kumpaslar, açılı ölçüm cetvelleri, profil tarağı gibi ölçme araçlarından da faydalanılır. Dijital zanaatta ise, uygulayıcı ve teşhis edici olarak çalışan elin yerini çeşitli araçlar almıştır. Uygulayıcı olarak çalışan robot kol ile, farklı uç efektörleri kullanarak eklemeli, eksiltmeli, biçimlendirici fabrikasyon uygulamaları yapılabilirken bunlara ek olarak kavrayıp yerleştirme (pick-and-place) işlemi de gerçekleştirilebilir. Teşhis edici olarak ise üç boyutlu (3B) tarama teknolojileri ve sensörler kullanılmaktadır. Bu sayede, fiziksel olarak üretilen bir nesne, dijital aktarılabilen ve üretime dair sapmalar ve tolerans değerleri ölçülebilmektedir. Öte yandan, geliştirilen çeşitli yazılım ve algoritmalar da mevcut araçların kullanım olanaklarının genişletilmesine ve kimi zaman beklenmedik ve beliren (emergence) sonuçlar elde edilmesine aracı oldukları için dijital zanaat ürünü olarak kabul edilmektedir. Yapma-analiz etme-yeniden yapma şeklindeki döngüsel yapım süreçlerini içeren dijital zanaatta, seri üretimden farklı olarak ortaya çıkan insan kaynaklı kusurlar veya hatalar, yaratıcı ve yenilikçi yaklaşımların geliştirilmesine yol açabilmektedir.

Yapım süreçlerindeki bu değişim, bilgisayar destekli tasarım ve üretim araçlarını kullanarak kişiselleştirilebilir ürünler geliştiren üretici (maker) adı verilen aktörün ortaya çıkmasına neden olmuştur. Sanal loncalar olarak tanımlanan dijital platformlar aracılığıyla, teorik ve uygulamalı her türlü bilgi, üreticiler arasında açık kaynaklı olarak paylaşılabilmekte, gerekli durumlarda uzman görüşü almak amacıyla kullanılabilir (Sabiescu ve diğ., 2015). Ortaya çıkarılan ürünün kalite kontrolü ise, bu dağıtılmış ve merkezi olmayan çevrimiçi platformlar aracılığıyla kurulan kolektif bir akıl ile sağlanır (Bonanni ve Parkes, 2010). Ortaya çıkan kolektif bilgi birikimleri ve deneyimler bu platformlarda; metin, fotoğraf, video, algoritma, eklenti, 3B model veya veri seti halinde saklanmakta; bu dijital ürünlerin çalışan ve çalışmayan yönleri deneme yanılma yoluyla belirlenmektedir.

Sanal loncaların ve işbirlikçi tasarım platformlarının yaygınlaşmasıyla birlikte, sezgisel yapım süreçlerinin açık bir şekilde ifade edilmesi, örtük bilginin paylaşılmasının yeni bir yolu olarak önem kazanmıştır. Mimarlar, açık kaynaklı betikler ve yazılımlar sayesinde, el sanatlarında araçların kullanılmasına benzer şekilde dijital araçlar geliştirerek bu araçları farklı problemlere uyarlayabilmektedir (Loh ve diğ., 2016). Bu çalışmalara dayanarak, parametrik modeller, simülasyonlar ve dijital ikizler gibi ürünlerin, mimarların zihninin bir uzantısı olarak işlev görerek beceri gelişimlerine katkı sağlaması söz konusudur. Bu durumun, yaratıcı tasarım ve üretim süreçlerini hızlandıracağı açıktır.

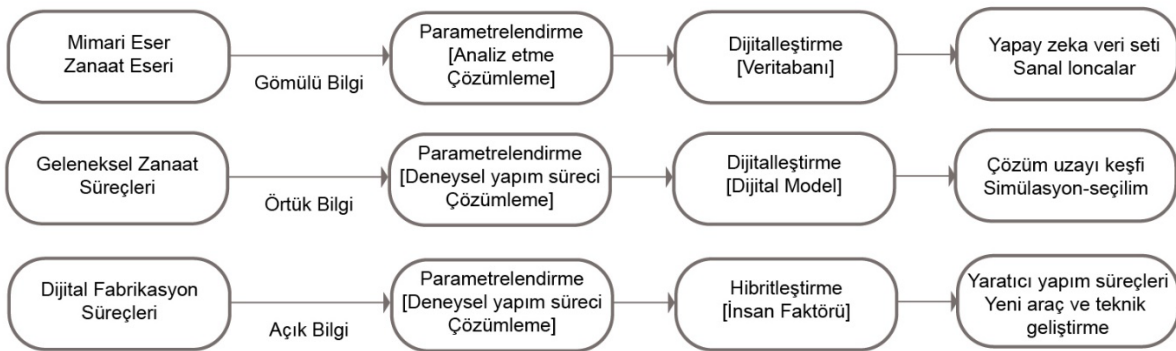
Üreticiler arasındaki iletişimin anlaşılır ve akıcı bir şekilde sağlanabilmesi için nesnenin ölçülebilir olması ve bu sayede dijital ortamda simüle edilebilmesi için yapım sürecinin belirli kurullarla yürütülmesi gerekmektedir. El veya aletlerle gerçekleştirilen performansın parametrelendirilmesi veya parametrik hale getirilmesi (parameterization) olarak tarif edilen bu süreç, el sanatlarının dijitalleştirilmesi (digitalization) için gerekli ilk aşamayı temsil eder (Oral, 2023). Parametrik hale getirme yöntemleri, sırasıyla sıfırdan bir model geliştirmeyi veya mevcut bir geometriyi değiştirmeyi içeren yapıcı ve manipüle edici yöntemler olarak kategorize edilebilir (Agromayor ve diğ., 2021). Parametrik hale getirme, çıktının kendisini doğrudan modellemek yerine, çıktının oluşumunu etkileyen koşulları, yani dijital zanaat kapsamında yapım sürecinin kendisini, değişkenlere ve fonksiyonlara dönüştürmek olarak tanımlanabilir (Oral, 2023). Mühendislikte parametrik hale getirme çalışmaları, formun

sayısallaştırılmasına odaklandığından, sezgisel karar vermeyi içeren manuel yapım süreçleri için daha kapsayıcı yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle, farklı bilgi türlerinin nasıl çözümleneceği, parametrik hale getirileceği ve sonrasında dijital ortama aktarımı ile ilgili süreçlerin tanımlanması gerekmektedir.

3. MİMARLIKTA ZANAAT BİLGİSİ (CRAFT KNOWLEDGE IN ARCHITECTURE)

Zanaatın mimarlıkla olan ilişkisi, yapının ölçeği gereği diğer tasarım alanlarından farklı şekilde kurulmuştur. Örneğin, seramik objeler, tamamen el ile şekillendirilebildiği halde mimari ölçekte bu durum söz konusu değildir. Dolayısıyla, mimari ölçekte yapı üretimi bireysel süreçlerden çok, işbirlikçi süreçler ile gerçekleştirilir. Geleneksel yapı ustalarının görerek öğrendiği ve yaparak geliştirdiği örtük bilgi üzerine kurulu olan ve günümüzde yerel veya geleneksel mimarlık olarak tanımlanan ekosistemde, yereldeki yapım bilgisinin ve malzeme repertuarının kullanılması söz konusudur. Yerinde yapım (in-situ) olarak tanımlanan bu deneysel süreçte malzeme, belirli araçlar ile şekillendirilerek yapı elemanları oluşturulur ve bunların bir araya getirilmesiyle de yapının kendisi inşa edilir. İyi bir yapı ustası, hesaplama yapmadan malzemeyi el ile analiz eder ve sadece örtük bilgiyi kullanarak standart olmayan strüktürler inşa edebilir (Carpo ve Kohler, 2017). Bu sebeple geleneksel mimarlıkta şantiyenin kendisi, zanaatkarın atölyesinde olduğu gibi malzeme ile birebir ilişki kurulan bir deney sahası olarak çalışmaktadır. Seri üretim sonrası dönemde şantiyenin yapısı da değişime uğramış; ön üretimli elemanların montajına dayanan ve kalitenin önceden belirlendiği bir sürece evrilmiştir. Bilgisayar destekli tasarım ve üretim araçlarının ve üretici kültürünün yaygınlaşması ile deneme yanılmaya dayanan yerinde yapım süreçleri tekrar ön plana çıkmıştır.

Şekil 1: Dijital zanaatta bilgi çevrim ve aktarım süreçleri (Yazar).



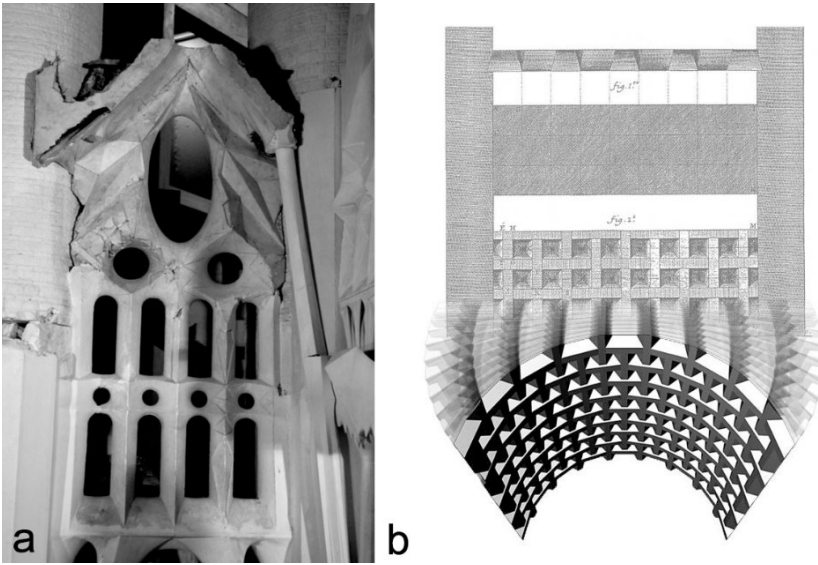
Mimarlıkta dijital zanaat çalışmalarının gerçekleştirilmesi esnasında ortaya çıkan bilgi çevrimlerine baktığımızda çözümlenme, parametrik hale getirme ve dijitalleştirme süreçleriyle karşılaşmaktayız. Bu makale kapsamında, bu süreçlerdeki bilgi çevrimleri ve çevrilen bilginin farklı kullanımlara hizmet edecek şekilde genişletildiği alanlar araştırılmıştır. Gerçekleştiren literatür taraması sonucu, mimarlıkta dijital zanaat çalışmalarındaki bilgi türleri arasındaki çevrim ve aktarım süreçleri göz önüne alındığında bu çalışmaların üç kategori altında gerçekleştirildiği tespit edilmiştir (**Şekil 1**). Bunlardan ilki, dijital miras çalışmaları kapsamında zanaat bilgisinin açığa çıkarılması ve kaydedilmesidir. İkinci kategoride ise, geleneksel zanaat süreçlerinin çözümlenmesi ve dijital modellere dönüştürülmesi ile ilgili çalışmalar ele alınmıştır. Son olarak, bir tasarımın insan faktörünün olduğu deneysel bir süreçle, fabrikasyon araçlarını kullanarak hibrit bir ortamda üretilmesini içeren çalışmalar incelenmiştir. Zanaat bilgisinin çevrimleri ile kullanım olanaklarının genişletilmesi sonucu, mimarlıkta birçok farklı akademik çalışma gerçekleştirilmektedir.

3.1 Dijital Miras Çalışmaları Kapsamında Dijital Zanaat (Digital Craft in Digital Heritage Studies)

Dijital miras çalışmalarında bilgi türleri arasındaki çevrimler, başka bir çağa, mimara, ustalığa ve yapım türüne ait mimari eserlerin belgelenmesi, eksik parçalarının tamamlanması, strüktürel veya yapısal açıdan güçlendirilmesi gibi amaçlarla gerçekleştirilir. Bu çevrim süreci; ustanın, malzemenin, kullanılan araçların ve tekniklerin veya yapının kendisinde depolanmış gömülü bilginin açığa çıkarılmasıdır. Özellikle arkeoloji çalışmalarında da kullanılan bu bilgi türü ile buluntu nesnelerin ne şekilde üretildiği ve buna bağlı olarak hangi döneme ait olduğu tespit edilebilmektedir. Mimarlıkta ise tarihi yapılar üzerinden biçimsel bir analiz gerçekleştirilerek parametrelere ve kurallara bağlı bir biçim kütüphanesi oluşturulabilir. Bu şekilde, yapının veya yapı bileşenlerinin kendisinde bulunan donmuş bilgi açığa çıkarılarak çeşitli biçimsel, boyutsal ve tekniğe ait parametreleri içeren bir veri tabanı oluşturulabilir. Yapay zekanın eğitilmesi için kullanılabilen bu veri tabanından farklı coğrafyalardaki zanaatkarlara ve müzelerde ise ziyaretçilere bilgi aktarılmasında da faydalanılabilir (**Şekil 1**).

Gaudi'nin Sagrada Familia yapısında bulunan gül pencerenin, önceden üretilmiş fiziksel modellerinden yola çıkarak geliştirilen parametrik tasarım yazılımı ile üretilmesi bu alandaki çalışmaların ilk örneklerinden

biri olarak kabul edilir (Burry ve diğ., 2001) (**Şekil 2a**). Farklı bir döneme ve mimara ait bu yapının tamamlanmamış bölümleriyle ilgili inşa süreci mimarlar ve taş ustaları arasındaki iş birliği ile gerçekleştirilmektedir. Stereotomi adı verilen, doğal taşın aletler yardımıyla uygulanan ardışık eksiltme operasyonlarıyla şekillendirilmesine dayanan bu alanda farklı dijital zanaat çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Abeille ve Truchet örüntülerinin kullanıldığı tonozların dijital araçlarla yeniden üretildiği dijital stereotomi çalışmaları, taş işçiliğinin yeniden canlandırılması ve dijital araçlarla üretilmesine örnek olarak verilebilir (Fallacara, 2006; Fallacara ve diğ., 2019) (**Şekil 2b**).



Şekil 2: Sagrada Familia gül pencere detayı (a) (Burry ve diğ., 2001), Joseph Abeilles'in kesme taştan beşik tonozunun dönüşümü (b) (Fallacara, 2006).

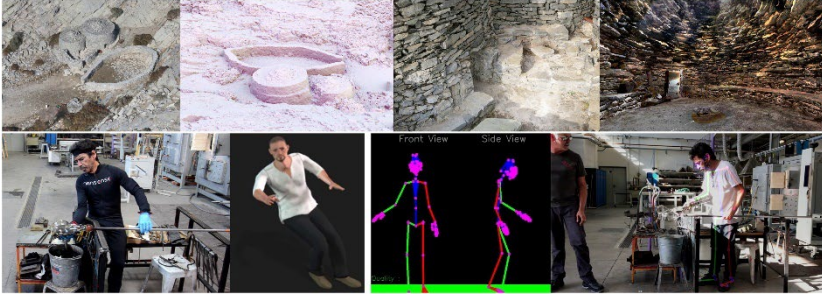
Literatürde, geleneksel yapılarda bulunan yapı bileşenlerinin analizine ve üretilmesine dayanan birçok çalışma bulunmaktadır. Selçuklu dönemine ait mezarda bulunan on iki yüzlü sütun başlığındaki mozaik bezemenin geometrik analizi (Özgan ve Özkar, 2017), mukarnasın geometrik analizi ve parametrik tasarım araçlarıyla yeniden üretimi (Alaçam ve diğ., 2017) ile Anadolu'daki tarihi bir taş oymanın dijitalleştirilmesi ve fabrikasyon araçlarıyla üretilmesi (Hamzaoglu ve Özkar, 2023) bu çalışmalara örnek olarak verilebilir. Öte yandan, tarihi veya yapıları çevrenin dijitalleştirilmesi; üretilen dijital modelin farklı dijital platformlarda (arttırılmış ve sanal gerçeklik uygulamalarında) ve dijital oyunlarda kullanılmasını da sağlamaktadır (Porreca ve diğ., 2020; Sancak ve diğ., 2023). Bahsi geçen çalışmaların ortak özelliği, başka bir çağa ait yapısal bileşenlerin incelenerek geometrik ve matematiksel olarak çözümlenmesi ile parametrik hale getirilmesi ve dijitalleştirilmesi

süreçlerini içermeleridir. Bu süreci takiben biçimsel çeşitliliğin artırılması, mevcut üretim biçimine bağlı çözüm uzayının araştırılması, istenen strüktürel veya çevresel performansa uygun elemanın seçilmesi, geliştirilen dijital platformların oyunlaştırma ve eğitim süreçleri için kullanılması mümkün hale gelmektedir.

3.2 Geleneksel Zanaat Süreçlerinin Çözümlemesi Kapsamında Dijital Zanaat (Digital Craft for Analyzing Traditional Craft Processes)

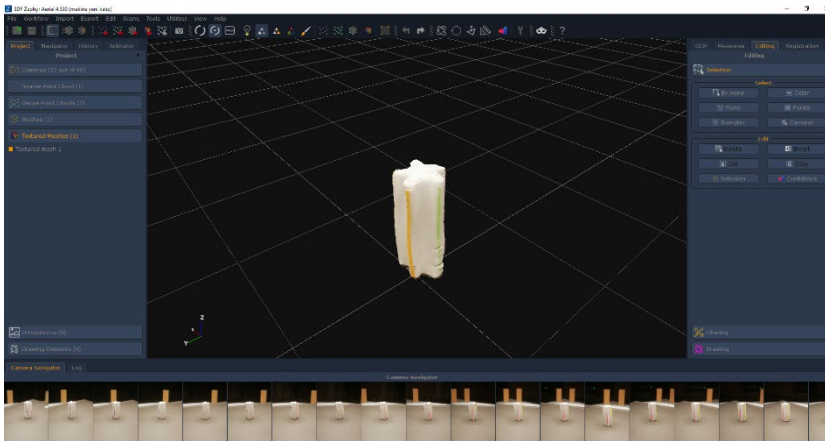
Zanaat süreçlerinin dijital ortama çevriminde kullanılan diğer bilgi türü, yapı ustasının yapım esnasında malzeme ve araçlarla kurduğu bedensel ilişki ile tanımlanan örtük bilgidir. Bu bilgi usta-çırak ilişkisiyle aktarılan dolayısıyla, belirli bir ortamdaki sözlü veya sözsüz iletişim öğelerini içerir. Farklı malzemelerin işlenmesi, farklı araçların ve tekniklerin kullanımını gerektirdiğinden ortamın belirleyici olduğu bir olanaklılık (affordance) söz konusudur. Örneğin, stereotomide yontma araçları ile ardışık eksiltme operasyonlarının uygulanması sonucu istenilen biçime ulaşılır. Kil ise katı formda el, torna veya kil biçimlendirme araçlarıyla şekillendirilebilirken slip adı verilen sıvı formunda kalıba dökülerek istenilen biçime getirilmektedir. Bu bilgi türünün dijitalleştirilebilmesi için mevcut yapı elemanının ne şekilde üretildiğinin belirli parametrelere ve kurallara dayalı olarak çözümlenmesi gereklidir.

Biçim ve yapım grameri oluşturma gibi kurala dayalı yöntemlerle, mevcut tasarım süreçleri çözümlenebilmekte (Colakoğlu, 2005; Stiny ve Mitchell, 1978) ve mevcut tasarımlardan türetilen bir kural seti aracılığıyla yeni stiller oluşturulabilmektedir (Duarte, 2005; Stiny, 1980). Yapım grameri çalışmaları, tasarımların bir dizi komut aracılığıyla hayata geçirilmesine odaklanmıştır (Stiny, 2015). Bu bağlamda, malzemeyi açıkça işleyerek ortaya çıkan biçimleri keşfetmeye (Gürsoy ve Özkar, 2015; Knight ve diğ., 2008; MacLachlan ve Jowers, 2016), malzeme ve bağlantı detayına ilişkin yapı bileşenlerinin montaj sürecini sistematize etmeye dayanan (Knight ve diğ., 2008; Sass, 2006, 2008) çeşitli uygulamalı yapım süreçleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3: MoCap ile beden hareketlerinin dijitalleştirilmesi (Zabulis ve diğ., 2022)

Zanaatkarlarla röportajlar gerçekleştirilerek ve yapım süreçleri video veya fotoğraf yoluyla belgelenerek bu örtük bilgi kaydedilebilir (Kendir B., 2015). Aynı zamanda, MoCap gibi beden hareketlerini dijitalleştiren araçlar kullanılarak zanaatkarın el ve vücut hareketleri kayıt altına alınırken fotogrametri ile mevcut yapısal bileşenler dijital ortama aktarılabilir (Zabulis ve diğ., 2022) (**Şekil 3**). Örneğin, kil ve ekstrüzyon aracı ile üretilen zanaat ürününün, 360° etrafında dönülerek çekilmiş fotoğraflarının fotogrametri yazılımında birleştirilmesiyle dijital bir temsili veya ikizi oluşturulabilir (Oral, 2023) (**Şekil 4**).



Şekil 4: Fiziksel ürünün 360° fotoğraflarıyla oluşturulmuş dijital temsili (Yazar)

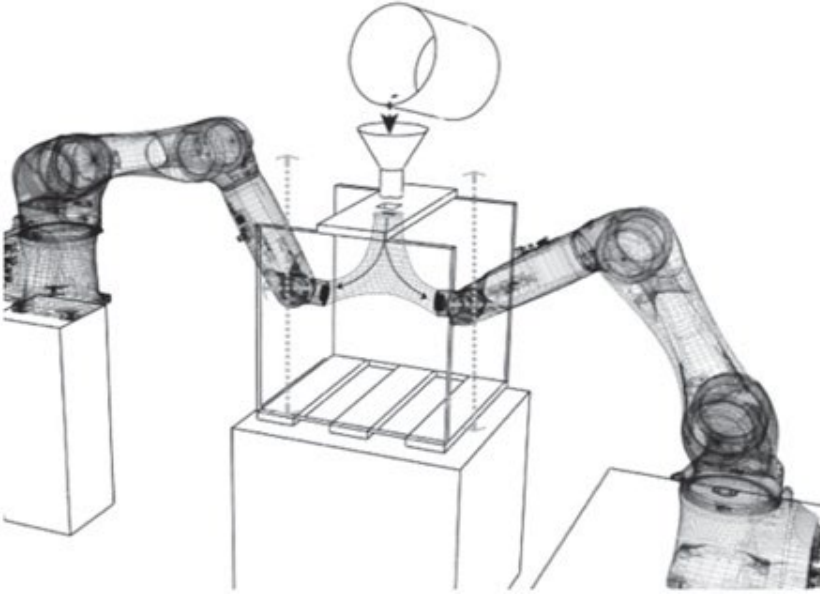
Farklı şekillerde toplanıp kaydedilen bu yapım bilgisi, çırakların yetiştirilmesi için geliştirilen artırılmış ve sanal gerçeklik ortamlarında kullanılabilirken, aynı zamanda, robot kolların programlanmasında faydalanılan alt yapıyı sağlayabilmektedir. Robotik fabrikasyonda yeni uç efektörlerin geliştirilmesi ve bu yeni araçlara dayanan yeni biçim ve yapım süreçlerinin kurgulanmasına dair birçok çalışma bulunmaktadır. Bunlar; geleneksel tuğla duvar inşa sürecinin parametrik hale getirilerek standart olmayan yüzeylerin örülmesi (Gramazio ve diğ., 2014) ve 3B kil baskı teknikleriyle standart olmayan dolgulara sahip tuğlalar geliştirilmesi (Sangiorgio ve diğ., 2022) gibi çalışmalardır. Bu

çalışmaların ortak özelliği, mimar olarak geleneksel yapım süreçlerine büyüteç tutmak ve bu deneysel ortamın potansiyellerini keşfedecek şekilde yapım sürecinin içerisinde kimi zaman taş ustaları gibi farklı aktörlerle birlikte doğrudan yer alabilmektir.

3.3 Hibrit Yapım Süreçleri Kurgulanması Kapsamında Dijital Zanaat (Digital Craft in Hybrid Making Processes)

Seri üretimin ortaya çıkışına kadar tam bir deney sahası olarak görev yapan şantiyenin ve dolayısıyla malzeme ile doğrudan ilişki kurarak yenilikçi yapılar inşa eden ustaların yapım süreçleri içerisinde tekrar dahil edilmesi yönündeki çalışmalar, kısmen otomatize edilmiş bina yapım süreçlerinin yeniden ele alınmasına neden olmuştur. Öte yandan, bilgisayar destekli tasarım ve üretim araçlarının yaygınlaşmasıyla birlikte dosyadan fabrikaya (file-to-factory) olarak isimlendirilen yapım süreçleri sorgulanmaya başlanmıştır. Dijital fabrikasyon araçlarının pahalı, tek fonksiyonlu, tasarımcının doğrudan müdahalesine kapalı ve dolayısıyla özelleştirilmelerinin güç olması (Oxman, 2007; Peek ve Moyer, 2017) ve dijital fabrikasyon araçlarının kullanımının belirli bir dijital okuryazarlık gerektirmesi (Katterfeldt, 2014) gibi sebeplerle dijital fabrikasyon araçları ve insanın birlikteliğinden oluşan bir hibrit zemin arayışı ortaya çıkmıştır. Bu bağlamda hem şantiye hem de fabrikasyon laboratuvarları, yeni biçimlerin ve süreçlerin deneme-yanılma yoluyla keşfedildiği bir deney sahası olarak kullanılmaya başlanmıştır. Buna ek olarak, tasarımcının yapım süreçlerinin doğrudan içerisinde yer alarak yaparak öğrenmesi (learning-by-doing) de bu alanın gelişmesinde önemli rol oynamıştır. Bu sayede, yeni bilgilerin aktarımı ve çevrimi sağlanmış ve bu bilgiler farklı ortamlarda test edilebilmiştir.

Bu bilgi çevrim sürecinde, fiziksel yapım süreçlerini destekleyen dijital araçların kullanımıyla uzman olmayan üreticiler dahi yeni araçlar geliştirebilmektedir (Jorgensen, 2019; McCullough, 1996; Pye, 1968). Esnek ve yeniden yapılandırılabilir olarak tanımlanan araçlar, yapım süreçlerini hibrit hale getirmek amacıyla mevcut üretim süreçlerinin yorumlanması yoluyla geliştirilmektedirler. Bu alandaki çalışmalar, tek bir hareketli kalıp sistemiyle farklı biçimlerin üretilmesi (Bechthold, 2016; Khabazi ve Budig, 2016), kil ekstrüzyon aracı gibi manuel zanaat araçlarının hareketli parçalarla özelleştirilmesi (Oral, 2023) veya robotik kollar aracılığıyla esnek kumaş kalıpların döküm imalatında kullanılmak üzere numerik kontrollerinin sağlanması (Culver ve diğ., 2016) konularına odaklanmaktadır (**Şekil 5**).



Şekil 5: Robotik döküm kurulumu (Culver ve diğ., 2016)

Bu alandaki diğ er ç alışmalar, yeni araçların ve tekniklerin potansiyelini keş federek standart olmayan biçimlerin üretilmesinin yanı sıra, insana ve yapıma ö zğ ü hata oranlarının belirlenerek dijital modellere geribildirim sağ lamaya yöneliktir. Bunlar, insanın yapım esnasındaki hata değerlerinin tasarım sürecine entegre edildiğ i 3B kalem ile üretilen enstalasyon (Clement ve diğ ., 2018) ile poliüretan kö pük kullanılarak inş a edilen strüktür (Lopez ve diğ ., 2016) ç alışmalarıdır. Deneysel yapım sürecinde ortaya ç ıkan beklenmedik durumlar hedeflenen biçimden sapılmasına neden olarak yaratıcı süreçleri tetiklerken ö te yandan, bu sapma oranlarının tespiti, dijital veya parametrik modele geribildirim sağ layabilmektedir.

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu makale kapsamında, mimarlıkta ve tasarımın diğ er alanlarında zanaat süreçlerinin ç özümlenmesi, parametrik hale getirilmesi ve dijitalleştirilmesi ç alışmalarında kullanılmak üzere, bu süreçlerde üretilen bilgi türleri ve bunlar arasındaki çevrimlere dayanarak literatürdeki ç alışmalar analiz edilmiştir. Bu doğ rultuda, yapılardaki ve yapısal bileş enlerdeki gö mülü bilgi, yapım esnasında ortaya ç ıkan örtük bilgi ve dijital fabrikasyon süreçlerinde parametrelere ve kurallara dayanan açık bilgi, dijital zanaat ç alışmalarında çevrimler yoluyla kullanılan bilgi türleri olarak karş ımıza ç ıkmaktadır. Bu bilgi türleri arasındaki çevrimler dö ngüsel, doğ rusal ve hibrit şekilde gerç ekleş erek

zanaata ait bilginin farklı tasarım ve yapım alanlarına aktarılmalari yoluyla kullanım olanaklarının genişlemesine katkı sağlamaktadır. Bu nedenle, mevcut eserlerin yapım yöntemlerinin analizi ve çözümlenmesi hem yeni süreçlerin geliştirilmesini hem de mevcut yöntemlerin kaydedilmesini ve saklanmasını sağlamaktadır. Dijital zanaat çalışmaları, farklı bilgi türlerindeki çevrimleri ve aktarımları içeren ve farklı tasarım ortamlarını (dijital, fiziksel veya hibrit) yaratıcı şekilde kullanarak gerçekleştirilen deneysel tasarım ve üretim süreçlerini kapsamaktadır.

Dijital zanaatkar olarak mimar, bilgisayar destekli tasarım ve üretim araçları sayesinde belirli bir uzmanlığa sahip zanaatkarın yıllar içerisinde geliştirdiği yapım bilgisini simüle etme, yorumlama ve uygulama imkanına kavuşmuştur. Bu sayede, malzeme ve araçlarla doğrudan etkileşim içerisine giren mimar, el ile detaylandırılması ustalık ve maliyet gerektiren üretimleri dahi gerçekleştirebilmektedir. Bu açıdan baktığımızda mimarın güncel rolünün, bazen bir tuğlanın tasarımından başlayabilen, alternatif çözümlerin dijital veya fiziksel ortamda deneme yanılma yoluyla keşfedildiği süreçlerin içerisinde bulunmak olduğunu söyleyebiliriz. Ancak, fabrikasyon araçlarıyla üretilen ürünlerin son rötuşlarının hala el ile yapılması, mimarların zanaatkarlarla olan ortak çalışmalara ihtiyaç duyduğunun da önemli bir göstergesidir. Bu tür iş birlikçi çalışmalarda ise, tasarım ve üretim süreçlerine ait bilgi türleri arasındaki çevrimlerin ve aktarımların iyi bir şekilde analiz edilmesi, farklı aktörler arasında doğru iletişim kanallarının kurulmasını sağlamaktadır.

Dijital zanaat alanındaki çalışmaların artışına rağmen mimarlıkta zanaat bilgisinin dijitalleştirilmesine yönelik birçok endişenin varlığı söz konusudur. Genel olarak bu endişeler; zanaat bilgisinin toplanması, kaydedilmesi ve açık kaynaklı hale getirilmesi ile ilgilidir. Yerel veya kişisel yapım süreçlerine dair bilginin toplanması ve kaydedilmesi zanaatkara veya ustaya özgü yapım bilgisinin kopyalanmasının önünü açmaktadır. Bu durum, telif haklarıyla ilgili birtakım sorunlara sebep olabilmektedir. Zanaatta üretilen bilginin ortama ve kişiye bağlı olması, mühendislikteki parametrik hale getirme ve dijitalleştirme çalışmalarından farklı olarak genellenebilir bir sayısal modelin oluşturulmasını zorlaştırmaktadır. Deneysel süreçlerin kurgulanmasına ve uygulanmasına harcanan zaman, maliyet ve emek göz önüne alındığında dijital zanaat çalışmaları, hızlı çözüm gerektiren problem

alanları için tercih edilmeyebilmektedir. Bu nedenle harcanan çaba ve maliyet ölçümünde dengeyi yakalamak dijital zanaatkarın tecrübesiyle doğru orantılıdır.

Tüm bu endişelere rağmen, halihazırda 'MadeEu', 'INSPIRE', 'Digitalization and innovation in skilled crafts and trades' gibi projeler kapsamında geleneksel zanaat çalışmalarının kayıt altına alınması, dijital zanaat projelerinin geliştirilmesi ve zanaatkarların yetiştirilmesi için Türkiye'de ve dünyada birçok farklı proje yürütülmektedir (*INSPIRE*, 2024; *Made@Eu*, n.d.; *Projects - IAGF*, n.d.). Bu projeler, dijital zanaat yöntemlerinin tasarımın tüm alanlarında uygulanabilmesi için büyük potansiyel taşımaktadır. Dijitalleşme ve bunun sebep olduğu bilgi çevrimlerinin, gelecek sektörel ve akademik çalışmalar açısından da farklı paradigma kaymalarına sebep olabileceği öngörülebilmektedir. Bu açıdan bakıldığında, mimarlıkta zanaat bilgisinin dijitalleştirilmesi; Mimarlık, Mühendislik ve İnşaat (AEC) endüstrisinin aşamalı ve anlık bir biçimde geliştirilmesinde öncül bir yaklaşım olarak değerlendirilme potansiyeline sahiptir. Mimarlık alanında da bu tür çalışmaların geliştirilmesi için gerekli adımların atılması; yerel ve sürdürülebilir mimari yaklaşımların geliştirilmesi ve tekrar yaygınlaştırılması açısından büyük önem taşımaktadır.

Çıkar Çatışması Beyanı (Conflict of Interest Statement)

Yazar, bu çalışmada sonuçları veya yorumları etkileyebilecek herhangi bir maddi veya diğer asli çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Referanslar (References)

- Adamson, G. (2007). *Thinking through craft*. Berg.
- Agromayor, R., Anand, N., Müller, J.-D., Pini, M., & Nord, L. O. (2021). A Unified Geometry Parametrization Method for Turbomachinery Blades. *Computer-Aided Design*, 133, 102987. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2020.102987>
- Alaçam, S., Güzelci, O. Z., Gürer, E., & Bacinoğlu, S. Z. (2017). Reconnoitring computational potentials of the vault-like forms: Thinking aloud on muqarnas tectonics. *International Journal of Architectural Computing*, 15(4), 285–303. <https://doi.org/10.1177/1478077117735019>
- Bechthold, M. (2016). Ceramic prototypes-design, computation, and digital fabrication. *Informes de La Construcción*, 68(544), e167.

- Bonanni, L., & Parkes, A. (2010). Virtual Guilds: Collective Intelligence and the Future of Craft. *The Journal of Modern Craft*, 3(2), 179–190. <https://doi.org/10.2752/174967810X12774789403564>
- Burry, M. C., Burry, J., & Faulí, J. (2001). *Sagrada Família Rosassa: Global Computeraided Dialogue between Designer and Craftsperson (Overcoming Differences in Age, Time and Distance)*. 76–86. <https://doi.org/10.52842/conf.acadia.2001.076>
- Carpo, M., & Kohler, M. (2017). Mario Carpo in Conversation with Matthias Kohler. In F. Gramazio, M. Kohler, & S. Langenberg (Eds.), *Fabricate 2014: Negotiating Design & Making* (Vol. 2). UCL Press.
- Chittenden, T. (2021). A digital distraction? The role of digital tools and distributed intelligence in woodblock printmaking practice. *Digital Creativity*, 32(3), 165–187.
- Clement, K., Lai, J., Obuchi, Y., Sato, J., Lopez, D., & Charbel, H. (2018). Emancipating Architecture: From Fixed Systems of Control to Participatory Structures. In H. Bier (Ed.), *Robotic Building* (pp. 53–78). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-70866-9_3
- Colakoğlu, M. B. (2005). Design by Grammar: An Interpretation and Generation of Vernacular Hayat Houses in Contemporary Context. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 32(1), 141–149. <https://doi.org/10.1068/b3096>
- Culver, R., Koerner, J., & Sarafian, J. (2016). Fabric Forms: The Robotic Positioning of Fabric Formwork. In D. Reinhardt, R. Saunders, & J. Burry (Eds.), *Robotic Fabrication in Architecture, Art and Design 2016* (pp. 106–121). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-26378-6_8
- Duarte, J. P. (2005). Towards the mass customization of housing: The grammar of Siza's houses at Malagueira. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 32(3), 347–380.
- Eraut, M. (2004). Transfer of knowledge between education and workplace settings. In *Workplace Learning in Context*. Routledge.
- Fallacara, G. (2006). Digital stereotomy and topological transformations: Reasoning about shape building. *Proceedings of the Second International Congress on Construction History*, 1, 1075–1092.
- Fallacara, G., Barberio, M., & Colella, M. (2019). Topological interlocking blocks for architecture: From flat to curved morphologies. In *Architected Materials in Nature and Engineering* (pp. 423–445). Springer.
- Gerger, M. & Unal, F. (2022). Enformasyon Teknolojileri Aracılığı ile Mimarlıkla İlişkili Zanaatların Korunması. 3. *Turizmde Mimarlık ve Kültürel Miras Kongresi* (pp. 8-9). 978-605-9554-70-1.
- Gramazio, F., Kohler, M., & Willmann, J. (2014). *The Robotic Touch: How Robots Change Architecture*. Park Books.

- Gribbin, J., Aftab, M., Young, R., & Park, S. (2016). Double-loop reflective practice as an approach to understanding knowledge and experience. *DRS 2016 International Conference: Future-Focused Thinking, 8*, 3181–3198.
- Gürsoy, B., & Özkar, M. (2015). Visualizing making: Shapes, materials, and actions. *Design Studies, 41*, 29–50. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2015.08.007>
- Hamzaoglu, B., & Özkar, M. (2023). Rule-based Milling of Medieval Stone Patterns. *Nexus Network Journal, 25*(4), 945–960. <https://doi.org/10.1007/s00004-023-00726-z>
- INSPIRE. (2024). <https://inspireturkiye.com/tr/anasayfa/>
- Jorgensen, T. (2019). Tools for tooling: Digital fabrication technology as the innovation enabler. *Arts, 8*(1), 9.
- Karakul, Ö. (2011). An Integrated Approach to Conservation Based on the Interrelations of Tangible and Intangible Cultural Properties. *METU JOURNAL OF THE FACULTY OF ARCHITECTURE, 105–125*. <https://doi.org/10.4305/METU.JFA.2011.2.5>
- Katterfeldt, E. (2014). Maker culture, digital tools and exploration support for FabLabs. *FabLab: Of Machines, Makers and Inventors*, 139–147.
- Kendir B., E. (2015). *Learning from the Construction Site: An Epistemological Investigation of Stonemasons and Architects in Action*. [Doctoral dissertation]. RMIT University.
- Khabazi, Z., & Budig, M. (2016). Cellular Concrete Casting Using Digital Moulds. *Proceedings of the 34th eCAADe Conference, 1*, 83–92.
- Kim, S., Im, D., Lee, J., & Choi, H. (2019). Utility of Digital Technologies for the Sustainability of Intangible Cultural Heritage (ICH) in Korea. *Sustainability, 11*(21), Article 21. <https://doi.org/10.3390/su11216117>
- Knight, T., Sass, L., Griffith, K., & Kamath, A. V. (2008). Visual-Physical Grammars. *SIGraDi 2008-Proceedings of the 12th Iberoamerican Congress of Digital Graphics*.
- Loh, P., Burry, J., & Wagenfeld, M. (2016). Reconsidering Pye's theory of making through digital craft practice: A theoretical framework towards continuous designing. *Craft Research, 7*(2), 187–206. https://doi.org/10.1386/crre.7.2.187_1
- Lopez, D., Charbel, H., Obuchi, Y., Sato, J., Igarashi, T., Takami, Y., & Kiuchi, T. (2016). Human Touch in Digital Fabrication. *Proceedings of The 36th Annual Conference of the Association for Computer-Aided Design in Architecture*, 383–393.
- MacLachlan, L., & Jowers, I. (2016). Exploration of multi-material surfaces as weighted shapes. *Graphical Models, 83*, 28–36. <https://doi.org/10.1016/j.gmod.2015.07.002>

- Made@Eu. (n.d.). Retrieved 4 October 2021, from <http://madeat.eu/>
- McCullough, M. (1996). *Abstracting craft: The practiced digital hand*. MIT Press.
- Muslimin, R. (2010). *Parametric Fabrication for Traditional Ceramics Proceedings of SIGRADI 2010*, 222-228.
- Niedderer, D. K. (2009). Sustainability of the Crafts as a Discipline? *Making Futures. The Crafts in the Context of Emerging Global Sustainability Agendas (Proceedings)*, 1, 165–174.
- Oxman, N. (2007). Digital Craft Fabrication Based Design in the Age of Digital Production. *Workshop Proceedings for Ubicomp 2007: International Conference on Ubiquitous Computing*, 534–538.
- Oral, H. (2023). The digital tool development by formalizing the making with manual clay extruder. *Computer-Aided Design and Applications*, 20(2), 213-224.
- Özgan, S. Y., & Özkar, M. (2017). A Thirteenth-Century Dodecahedron in Central Anatolia: Geometric Patterns and Polyhedral Geometry. *Nexus Network Journal*, 19(2), 455–471. <https://doi.org/10.1007/s00004-017-0341-0>
- Peek, N., & Moyer, I. (2017). Popfab: A Case for Portable Digital Fabrication. *Proceedings of the Tenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction - TEI '17*, 325–329. <https://doi.org/10.1145/3024969.3025009>
- Polanyi, M. (1966). The logic of tacit inference. *Philosophy*, 41(155), 1–18.
- Porreca, R., Geropanta, V., Abril, K., & Giordanelli, D. (2020). *GAMING AS A DISEMBODIED EXPERIENCE OF THE CITY: FROM ASSASSIN'S CREED TO 'SMART LEARNER'*. 117–130. <https://doi.org/10.2423/i22394303v10n2p117>
- Projects—IAGF. (n.d.). Retrieved 24 June 2024, from <https://iagf.at/en/projekte/>
- Pye, D. (1968). *The nature and art of workmanship*. University Press Cambridge.
- Sabiescu, A., Woolley, M., Cummings, C., & Prins, J. (2015). Online maker communities: Craft and engagement with cultural heritage. *Conference Communities and Technologies, Limerick, 27-30 June*.
- Sancak, N., Uzun, F., Turhan, K., Saraoğlu Yumni, H. K., & Özer, D. G. (2023). Photogrammetric Model Optimization in Digitalization of Architectural Heritage: Yedikule Fortress. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVIII-M-2–2023, 1403–1410. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-2-2023-1403-2023>

- Sangiorgio, V., Parisi, F., Fieni, F., & Parisi, N. (2022). The New Boundaries of 3D-Printed Clay Bricks Design: Printability of Complex Internal Geometries. *Sustainability (Switzerland)*, 14(2). Scopus. <https://doi.org/10.3390/su14020598>
- Sass, L. (2006). A Wood Frame Grammar: A Generative System for Digital Fabrication. *International Journal of Architectural Computing*, 4(1), 51–67. <https://doi.org/10.1260/147807706777008920>
- Sass, L. (2008). A physical design grammar: A production system for layered manufacturing machines. *Automation in Construction*, 17(6), 691–704. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2007.12.003>
- Schinagl, W., & Schnider, A. (2020). Artificial Intelligence and Digital Repository of Crafts Knowledge for Robotic Creation of 3d-Objects. In H. Bichler-Ripfel, F. Kragulj, & Institut für angewandte Gewerbeforschung (Eds.), *Building future competences. Vol. 2/2* (Vol. 2, pp. 163–173). Facultas.
- Sennett, R. (2008). *The craftsman*. Yale University Press.
- Stiny, G. (1980). Kindergarten grammars: Designing with Froebel's building gifts. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 7(4), 409–462. <https://doi.org/10.1068/b070409>
- Stiny, G. (2015). The Critic as Artist: Oscar Wilde's Prolegomena to Shape Grammars. *Nexus Network Journal*, 17(3), 723–758. <https://doi.org/10.1007/s00004-015-0274-4>
- Stiny, G., & Mitchell, W. J. (1978). The Palladian grammar. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 5(1), 5–18. <https://doi.org/10.1068/b050005>
- Thoring, K., & Mueller, R. M. (2012). Knowledge Transfer in Design Education: A Framework of Criteria for Design Exercises. *International Conference On Engineering And Product Design Education.20*
- Warburton, A. (2016). *Innovation through craft: Opportunities for growth*. 49.
- Woolley, M. (2011). Beyond control: Rethinking industry and craft dynamics. *Craft Research*, 2(1), 11–36. https://doi.org/10.1386/crre.2.11_1
- Zabulis, X., Meghini, C., Dubois, A., Doulgieraki, P., Partarakis, N., Adami, I., Karuzaki, E., Carre, A.-L., Patsiouras, N., Kaplanidi, D., Metilli, D., Bartalesi, V., Ringas, C., Tasiopoulou, E., & Stefanidi, Z. (2022). Digitisation of Traditional Craft Processes. *Journal on Computing and Cultural Heritage*, 15(3), 53:1-53:24. <https://doi.org/10.1145/3494675>