

Digital Integration of Cultural Heritage Objects Using Voronoi-Based Generative Design Methods

İpek Akbaylar Hayreter¹

ORCID NO: 0000-0001-8976-0951 ¹

¹ Istanbul Technical University, Graduate School, Department of Informatics, Architectural Design Computing, Istanbul, Turkey

Integrating the missing parts of damaged cultural heritage objects with original or contemporary materials is an important restoration technique that directly effects the perception of the artifacts. In the conservation of cultural heritage, when an integration is to be made to the original object, the new material to be added should have a different surface texture so that it can be distinguished from the original. Within the scope of this study, it is aimed to digitally integrate the missing parts of the damaged cultural heritage objects with a generative design method. Developing technologies support the digital documentation and effective presentation of cultural heritage. The artifact can be integrated digitally without the risk of damaging its original state, and in the following stages, it can be experienced by people in museums through different ways of representation when supported by tools such as augmented reality. Such current practices can contribute to the increase of interest in cultural heritage by strengthening people's interaction with the historical artifacts. In this study, the Cellular Automata approach is taken as a basis, in which Voronoi diagrams are used as a generative design method, considering that the new formation, which will take in charge as a representative binder in the missing parts of the objects, will adapt to the organic form of the space to be filled. In the selection of this method, which is based on more irregular neighborhood relations of cells in different sizes and shapes, it is taken into account that it allows the type of production aimed in the study. The missing parts of the objects are modeled in three dimensions, and the gaps are digitally integrated with Voronoi diagrams with different cell sizes. It is among the aims of this study to draw attention to the disappearing cultural heritage values with different representations of cultural heritage objects integrated with generative design-based digital methods and to contribute to the field of cultural heritage conservation. When the related leading studies in the literature are evaluated, it is considered that experiencing the outcomes of this study through different current technologies such as augmented and virtual reality will increase the interaction of people with cultural heritage.

Received: 22.01.2022

Accepted: 27.03.2022

Corresponding Author:

ipekabaylar@gmail.com

Akbaylar Hayreter, İpek (2022). Digital Integration of Cultural Heritage Objects Using Voronoi-Based Generative Design Methods. JCoDe: Journal of Computational Design, 3(1), 39-52. <https://doi.org/10.53710/jcode.1061733>

Keywords: Computer Aided 3D Modeling, Digital Presentation of Cultural Heritage, Digital Integration, Delaunay Triangulation, Voronoi Based Generative Design

Kültürel Miras Objelerinin Voronoi Tabanlı Üretken Tasarım Yöntemleri Kullanılarak Dijital Bütünlenmesi

İpek Akbaylar Hayreter¹

ORCID NO: 0000-0001-8976-0951 ¹

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim, İstanbul, Türkiye

Hasar görmüş kültürel miras objelerinin parçalanıp yok olmuş olan eksik kısımlarının özgün veya çağdaş malzemelerle bütünlenmesi eserlerin algılanmasını birebir etkileyen önemli bir restorasyon müdahale tekniğidir. Kültürel mirasın korunması alanında, özgün esere bütünleme yapılacağı zaman, yeni eklenecek malzemenin özgün olandan ayrılabilmesi için farklı yüzey dokusunda bir malzeme ile müdahalenin belirgin kılınması gözetilir. Bu çalışma kapsamında, hasar görmüş kültürel miras objelerinin günümüze ulaşamamış olan eksik kısımlarının bir üretken tasarım yöntemiyle dijital olarak bütünlenmesi amaçlanmıştır. Gelişen teknolojiler, kültürel mirasın dijital olarak belgelenmesini ve etkin bir şekilde sunulmasını desteklemektedir. Eser, özgün haline zarar verme riski olmadan dijital olarak bütünlenebilmekte ve sonraki aşamalarda ise artırılmış gerçeklik gibi araçlarla desteklendiğinde müzelerde ziyaretçiler tarafından farklı temsil yollarıyla deneyimlenebilmektedir. Böyle güncel uygulamalar, insanların tarihi eserlerle etkileşimini güçlendirerek kültürel mirasa olan ilginin artmasına katkı sunabilmektedir. Bu çalışmada, objelerin eksik kısımlarında temsili olarak bağlayıcı görev üstlenecek olan yeni oluşumda, doldurulacak olan boşluğun organik formuna uyum sağlayacağı gözetilerek üretken tasarım yöntemlerinden Voronoi diyagramlarının kullanıldığı Hücresel Özdevinim yaklaşımı esas alınmıştır. Farklı boyutlarda ve biçimlerde hücrelerin daha düzensiz komşuluk ilişkilerine dayanan bu sistemin seçiminde çalışmada amaçlanan üretime olanak tanınması göz önünde bulundurulmuştur. Objelerin eksik kısımları üç boyutlu olarak modellenmiş olup, boşluklar farklı hücre boyutlarına sahip Voronoi diyagramlarıyla dijital olarak tamamlanmıştır. Üretken tasarım temelli dijital yöntemlerle bütünlenmiş kültürel miras objelerinin farklı temsilleriyle yok olan kültürel değerlere dikkat çekmek ve mirasın korunması alanına katkı sağlayabilmek bu çalışmanın amaçlarındandır. Literatürde konuyla ilgili önde gelen çalışmalar değerlendirilince, bu çalışmanın sonuçlarının artırılmış ve sanal gerçeklik gibi farklı güncel teknolojilerle deneyimlenmesinin insanların kültürel mirasla etkileşimini arttıracığı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bilgisayar Destekli 3B Modelleme, Kültürel Mirasın Dijital Sunumu, Dijital Bütünleme, Delaunay Üçgenlemesi, Voronoi Tabanlı Üretken Tasarım

Received: 24.01.2022

Accepted: 18.03.2022

Corresponding Author:
ipekabaylar@gmail.com

Akbaylar Hayreter, İpek (2022). Kültürel Miras Objelerinin Voronoi Tabanlı Üretken Tasarım Yöntemleri Kullanılarak Dijital Bütünlenmesi. JCoDe: Journal of Computational Design, 3(1), 39-52. <https://doi.org/0.53710/jcode.1061733>

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kültürel miras alanlarında ve müzelerde karşılaştığımız çeşitli eserlerin ve objelerin hasar görme, parçalanma veya bazı bölümlerinin yok olmasına sebep olan etken çoğunlukla uzun yıllar içinde maruz kaldıkları doğal aşınmalardır. Buna ek olarak, tarih içinde savaş ve vandalizm gibi insanların sebep olduğu etkenlerden dolayı da tahrip olabilmektedirler (Vesna et al., 2017). 1980’de UNESCO Dünya Mirası Listesi’ne dâhil edilmiş olan Palmira Antik Kenti’ndeki pek çok heykel ve anıtsal yapı saldırılar sonucu neredeyse yerle bir olmuştur (Çakırca, 2015). Yok olan kültürel miras değerlerini yerine getirmek mümkün olamasa da, benzer olayların tekrarlanmaması amacıyla önlemlerin artırılmasının yanı sıra en temel ve öncelikli olarak kültürel miras bilincini inşa etmeye ve yaygınlaştırmaya yönelik etkinliklerin küçük yaşlardan itibaren eğitim sistemine dâhil edilmesi, insanların arkeolojik alanlar, müzeler gibi yerleri ziyaret etmelerini teşvik eden daha dikkat çekici çalışmaların yapılması önem kazanmaktadır.

Kültürel miras algısı, insanın yer ve aidiyet duygusunu şekillendiren önemli kavramların arasında yer alır. Gelişen dijital teknolojiler, bu algıyı besleme ve güçlendirme yolunda güçlü katkılar sunmakta olup kültürel mirası belgelemenin ötesinde artık onu tecrübe etme yollarımızı dönüştürmektedir (Economou, 2015). Kültürel mirasın daha görünür ve bilinir kılınması amacıyla konuya duyarlı farklı disiplinlerce çalışmalar artmakta olup; çevrimiçi oyunlar, animasyon, artırılmış gerçeklik gibi hızla geliştirilen dijital uygulamalar bu çalışmaları destekleyen araçlara dönüşmüştür. Kültürel miras eserlerini sanal müze gibi dijital ortamlarda deneyimleme imkanı, bu değerleri ve mekanları algılayış şeklimizi de dönüştürerek güçlendirir (Margetis et al., 2020). Çevrimiçi mirasın evrensel boyutta ulaşılabilirliği özgünlük, aidiyet, kimlik gibi mimariyi şekillendiren kavramların yeniden yorumlanmasına sebep olmuştur. Dijital özgünlük, artırılmış özgünlük gibi ilginç yeni yaklaşımlar ortaya atılırken, dijital replikaların orijinalini ne kadar temsil edebildiği de bir soru olarak karşımıza çıkar (Hermon & Niccolucci, 2018). Artırılmış ve sanal gerçeklik uygulamaları, özgün eserlere bir zarar gelmeden algılanma düzeyini arttırmaya yönelik fırsatlar sunmaktadır.

Antik kentlerden çıkarılan yapı, heykel ve buluntular, detaylı olarak belgelendikten sonra çeşitli restorasyon teknikleriyle temizlenip

sağlamlaştırılmaktadır. Antik yapılar gibi taşınmaz kültürel miras öğeleri yerinde korunurken, heykel gibi taşınabilir kültürel miras objeleri uygun atmosfer koşullarında sergilenmeleri için genellikle müzelerde veya yine buldukları yerde korunmaktadırlar. Arkeolojik alandan taşınıp müzelerde daha uygun şartlarda sergilenen heykellerin bazen replikaları üretilerek orijinal konumunda da sergilenmesi sağlanmaktadır. Tarihi eserin mevcut durumunun detaylı modelinin üretilerek belgelenmesi korumada önemli bir aşamayken eserin etkili yöntemlerle temsil edilerek toplumla buluşturulduğu yaratıcı çalışmalara ilginin artmakta olması alanın gelişimi konusunda umut vericidir.

2. RESTORASYONDA BÜTÜNLEME TEKNİĞİ (COMPLETION METHOD IN RESTORATION)

Hasar görmüş olan tarihi yapı, heykel ve objelerin parçalanmış veya günümüze ulaşmamış bölümlerinin özgün veya çağdaş malzemelerle tamamlanması, bütünleme olarak tanımlanan ve eserlerin algılanmasını doğrudan etkileyen önemli restorasyon tekniklerindedir. Koruma yasalarına göre fiziksel bütünleme yapılabilmesi için ilk tasarıma dair yeterli ve güvenilir veri olması gerekir. Bütünlemede öncelikle tekrar eden öğelerin varlığından veya geometri uygunsuz simetriden yararlanır. Bütünleme için eserin özgün malzemesiyle aynı veya içeriğiyle örtüşen benzer bir malzeme kullanılabilirdiği gibi sonradan yapılan müdahalenin fark edilebilir olması amacıyla özgününden farklı bir malzeme kullanımı da tercih edilmektedir. Yeni eklenen malzemenin orijinalinden farklılaşması olumlu bir yaklaşım olarak görülmeyle birlikte fiziksel olarak özgün malzemeyle uyum sağlamazsa uzun vadede kalıcı olmayabilir (Duran & Kaya, 2020).

Mimari eserlerin veya heykellerin statik olarak ayakta durabilmesi için bütünleme aşamasında taşıyıcı elemanlarla desteklenmesi gerekebilmekte olup, eksik kısımlar analizler sonucu belirlenen uygun malzemeyle doldurulmakta veya kısmi bir tamamlama tercih edilerek bilinçli olarak boş bırakılabilmektedir. Tamamlama aşamasında cam gibi şeffaf malzemelerden yararlanan güncel örnekler dikkat çekicidir. Gelişen dijital teknolojiler, kültürel mirasın dijital olarak daha etkili sunumunu desteklemekte olup özgün esere hasar verme riski olmadan eserin dijital olarak belgelenip bütünlenebilmesine, gerektiğinde

artırılmış ve sanal gerçeklik gibi teknolojilerle farklı ortamlarda deneyimlenmesine olanak verir.

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI (LITERATURE SURVEY)

Kültürel mirasın korunması alanında, tarihi eserlere sonradan yapılan müdahalelerde son dönemlerde kullanılan malzeme ve tekniklerdeki çeşitlilik farklı bakış açıları ortaya çıkarmıştır. Strüktürel ve malzeme özelinde fiziksel olarak yapılan ve çoğunlukla şeffaflık gibi özgün malzemeyle zıt yaklaşımların benimsendiği alternatif uygulamalar tarihi esere olan ilgiyi arttırabilmektedir. Örneğin, yok olmuş olan antik Siponto bazilikasının geometrisinin tel örgülerle yeniden canlandırıldığı sanatsal uygulama alandaki kalıntılara olan ilgiyi yoğunlaştırmıştır (Tresoldi, 2016). Fiziksel müdahalelerin sakınıldığı kültürel miras eserleri söz konusu olduğunda ise eserlerin dijitalleştirilerek farklı araçlarla temsil edildiği çalışmaların arttığı görülmektedir. Bu dijital uygulamaların başlıca motivasyonları arasında özgün esere hasar verme riskinin olmaması, sanal müzelere dijital veri sağlayarak kültürel miras değerlerine ilginin arttırılması, eserlerin replikalarının üretilebilmesi ve orijinal eserden elde edilmesi zor olan geometrik ve doku bilgilerinin tamamlanması yer alır. Eserlerin üç boyutlu lazer ölçümü gibi yöntemlerle elde edilen modellerinde teknik aksaklıklardan dolayı çalışmalarda sayısallaştırılamamış sorunlu alanlar çıkabilmektedir. Modeldeki sorunların giderilmesinde Delaunay üçgenleme, parametrik yüzey oluşturma ve deliklerin doldurulması gibi çeşitli yöntemler kullanılabilmektedir (Gomes et al., 2014).

Hasar görmüş tarihi eserlerin dijital bütünleme aşamalarının adım adım temsil edildiği çalışmalarda eserlerin geometrik olarak daha kolay algılanabildiği ve gerçek bütünleme aşamasına ciddi bir altlık oluşturduğu görülür. Yapılan bir çalışmada seçilen objeler üç boyutlu olarak modellendikten sonra simetri kurallarına göre bütünlenerek eksik parçaların geometrileri imalata yönelik olarak modelden parça çıkarma yoluyla ayrıştırılmıştır. Objenin eksik kısımlarının özgününden ayrışacak bir renkte tamamlandığı modelinin, objenin bütünlenmemiş orijinal modelinin ve ayrıca eksik parçanın modelinin yanyana sunulduğu temsiller, objenin algılanmasına katkı sağlamaktadır (Papaioannou et al., 2017).

Arkeolojik objelerin onarımı ve korunmasına yardımcı olmak için 3b taranmış arkeolojik miras objelerinin veriye dayalı iterasyon yöntemiyle dijital tamamlamasının yapıldığı bir başka çalışmada, kırıklara sahip hasarlı objeleri 3b olarak analiz ederek eksik geometriyi tahmin edebilecek derin öğrenmeyi esas alan bir algoritma kullanılmıştır. Simetrik olan objelerde çok daha doğru çıktılar elde edilirken, objelerin daha hasarlı olup simetrinin kaybolduğu durumlarda derin öğrenme tekniklerinin 3b vokselleştirilmiş girdileri işleme özelliğinden yararlanılmıştır (Hermoza & Sipiran, 2018).

Bütünleme yönteminin dijital olarak farklı bir formatta ele alındığı güncel bir çalışmada ise, 'The Trace' ve 'Missing Duppa' isimleriyle geliştirilen dijital oyunlarda tarihi bir bölge canlandırılmıştır. Sanal oyunların ilkinde oyunculardan dijital modeldeki eksik parçaları tamamlaması istenirken diğerinde oyuncular bir gizemi bulmaya yönelik mümkün olduğunca mimari elemanı yıkmaya yönlendirilir (Aydın, et al., 2017). Birbirine etkileşimli olarak oynanan oyunlarda yaratılan dijital miras ortamlarında oyuncuların yıkılan veya yeniden oluşturulmuş eksik dokuları fark etmeye başladığı bilişsel süreçler takip edilmektedir. Kültürel mirasla farklı etkileşim yollarının arandığı yenilikçi çalışmalar teknoloji ile iç içe büyüyen yeni neslin alana ilgisini artırmak açısından da kıymetlidir.

4. YÖNTEM (METHOD)

Matematikte, iki boyutlu düzlemde veya üç boyutlu uzayda yer alan sonlu sayıda dağılmış noktaları merkez alan farklı boyutlardaki çemberler büyüüp çemberlerin kesişim noktaları birleştirildiğinde oluşan çokgen hücreler bir Voronoi diyagramı oluşturur. Bir noktalar kümesinin Voronoi diyagramıyla bu noktaları merkez alan çemberlerin kesişim noktalarının birleştirilmesiyle oluşan Delaunay üçgenlemesi birbirinin grafiksel eşleniği olarak tanımlanır. Bu çalışmada, dijital olarak bütünlenmesi amaçlanan miras objesindeki sınırları belirli olan boşluğun organik formuna uyum sağlayabilecek ve gerektiğinde belli kurallara bağlanabilecek bir örüntüde doldurulması hedeflenmiş olup, üretken tasarım yöntemi olarak Voronoi diyagramlarının kullanıldığı Hüresel Özdevinim yaklaşımı esas alınmıştır. Aynı şekil ve büyüklükte hücrelere sahip olan düzenli bir Hüresel Özdevinim modelinin aksine farklı boyutlarda ve biçimlerde hücrelerin daha düzensiz komşuluk

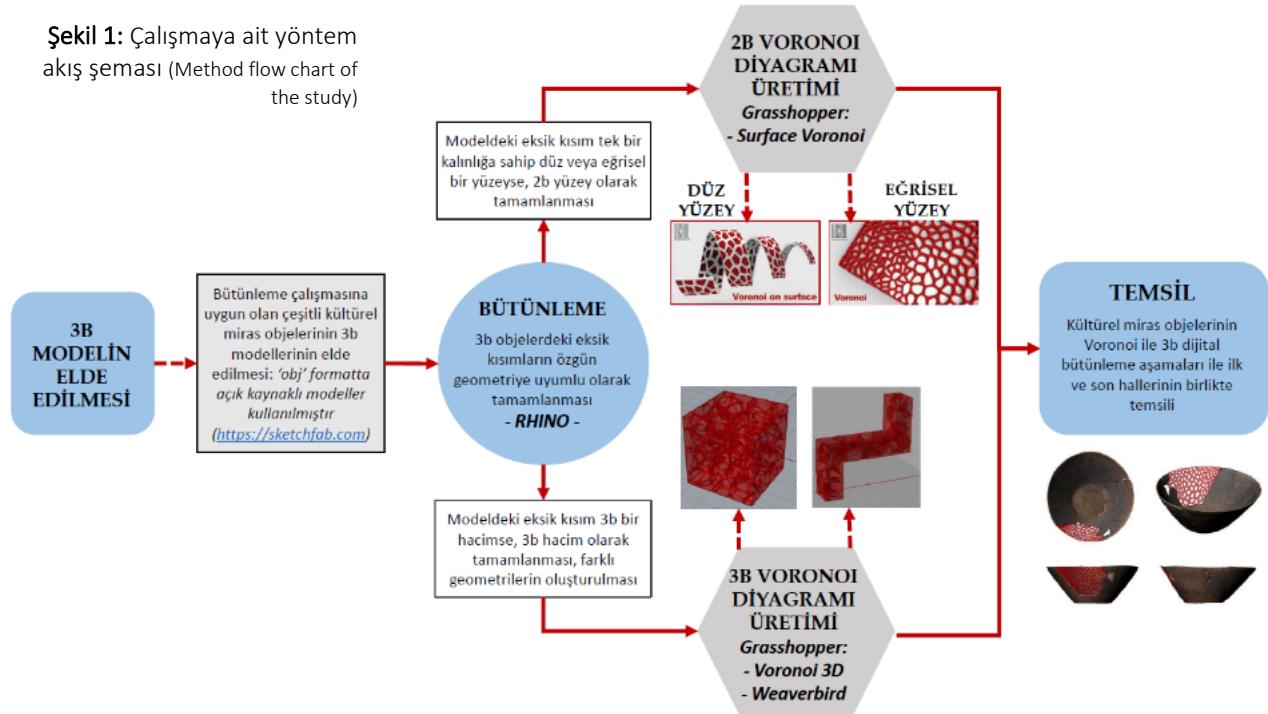
ilişkilerine dayandığı Voronoi diyagramları (Navid & Akhababa, 2013) doğadaki tasarımlarda da sıkça karşımıza çıkmaktadır.

5. YÖNTEMİN UYGULANMASI (IMPLEMENTATION OF THE METHOD)

Bu çalışmada yöntem olarak belirlenmiş olan Voronoi diyagramlarının örüntü algoritmasının çift kavisli yüzeyler, katı kütleler, paraboloid ve tonozlar gibi çok çeşitli geometrilere uygulanabiliyor olması (Aghkathidis, 2015), çalışmada hedeflenen boşluğun doldurulmasını esas alan üretime olanak tanımaktadır. Voronoi diyagramı örüntüsünden yararlanarak geliştirilecek bütünleme çalışmalarına yönelik objeler seçilirken, öncelikle koruma yasalarına göre bütünleme yapılabilmesi için ilk tasarıma dair yeterli geometrik bilginin olması şartı göz önünde bulundurulmuştur.

Araştırma süresince devam eden pandemi koşulları sebebiyle çalışmanın uygulama aşamasında çevrimiçi materyaller değerlendirilmiştir. Seçilen üç boyutlu obje modellerinin eksik kısımlarında temsili olarak bağlayıcı görev üstlenecek olan yeni dijital oluşumlar için, öncelikle doldurulacak olan boşluğu çevreleyen sağlam kısımların sınırları ve onu tanımlayan noktalar belirlenmiştir. Boşluğu tanımlayan yeterli sayıda nokta belirlendikten sonra, organik formuna

Şekil 1: Çalışmaya ait yöntem akış şeması (Method flow chart of the study)



uyum sağlayacağı gözetilerek boşluğun belli kurallara bağlı olan bir Voronoi diyagramı örüntüsüyle doldurulması esas alınmıştır.

Çalışmaya ait yöntem akış şemasında takip edilebileceği gibi, öncelikle obje modellerinin eksik kısımları Rhino uygulamasında orijinal geometriye uygun üç boyutlu hacim olarak modellenerek tamamlanmıştır. Ardından eksik kısımlarda oluşturulan modeller üretken tasarımı destekleyen Grasshopper uygulamasıyla Voronoi diyagramlarına dönüştürülmüştür (Şekil 1).

5.1 Prototip Çalışma (Prototyping Study)

1. Koruma yasalarına göre bütünlemede simetriden yararlanılabileceği ilkesi bütünlemeyi geçerli kılacak güçlü bir gerekçe sağladığı için, eksik kısım modellenirken simetriden yararlanılabilecek bir obje seçilerek ilk deneme çalışması yapılmıştır. Stilize edilmiş antik kemerli bir girişi temsil eden örnek objenin 'obj' formatta modeli Sketchfab açık kaynaklı web sayfasından elde edilmiştir (Şekil 2).



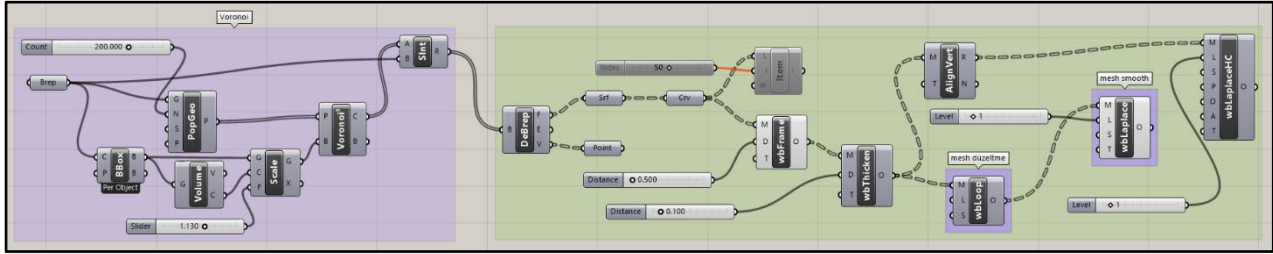
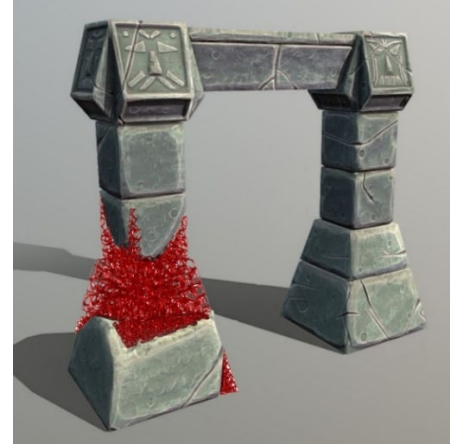
Şekil 2: Stylized Ancient Archway (Yakovenko, V., n.d.)

Deneme çalışmasını hızlandırmak için öncelikle modeldeki poligon sayısı belli oranda azaltılarak model hafifletilmiştir. Eksik olan kısımların tam simetriği olan kısımlar modelde var olduğu için, Rhino uygulamasındaki 'Boolean Difference' aracı kullanılarak tam olan hacimden hasarlı olan simetrik parçanın çıkarılmasıyla eksik hacimler elde edilmiştir. Aracın düzgün çalışmadığı bazı noktalarda, eksik hacim mevcut geometriyle uyumlu formda üç boyutlu kapalı hacim olarak modellenerek tamamlanmıştır. Tamamlanan kapalı hacimler ikinci aşama olarak Grasshopper uygulamasında '3d Voronoi' eklentisi kullanılarak 3b

Şekil 3: Voronoi Bütünleme
Prototip Çalışma: Stilizе edilmiş antik kemerli giriş modeli (Voronoi Completion Prototype Work: Stylized antique arched entrance model)

Şekil 4: Voronoi 3d eklentisinin çalışmaya uyarlanması (Adaptation of Voronoi 3D plugin to the study) (Voronoi 3d in Brep | Grasshopper3d, n.d.)

hacimsel Voronoi'ye dönüştürülmüştür ve Voronoi geometrisinin yoğunluğu modelin ölçeğine uyum sağlayacak şekilde ayarlanmıştır (Şekil 3) (Şekil 4).



5.2 Kültürel Miras Objelerinin Dijital Bütünleme Çalışmaları (Digital Completion Studies of Cultural Heritage Objects)

Uygulamanın ikinci aşamasında, gerçek kültürel miras objelerine odaklanılmış olup, pandemi koşulları devam ettiğinden çevrimiçi olarak ulaşılabilen ve bütünleme çalışmasına uygun olabilecek objeler belirlenmiştir. Grasshopper Voronoi eklentilerinin farklı geometrilere uygulanabilirliğinin de test edilmesi için ilki 3b hacimsel tamamlama, ikincisi ise 2b eğrisel yüzey tamamlama olmak üzere iki farklı geometri üzerinde çalışılmıştır. Suriye'nin UNESCO Kültür Mirası listesinde yer alan Palmira Antik Kenti'ndeki Zafer Kemer'i'nin üç boyutlu taratılmış modeli (Şekil 5.a) ile Amerika'nın Güney Karolayna eyaletinde çıkarılmış olan antik bir seramik yassı kabın üç boyutlu taratılmış modeli (Şekil 5.b) Sketchfab açık kaynaklı web sayfasından elde edilmiştir.



a.



b.

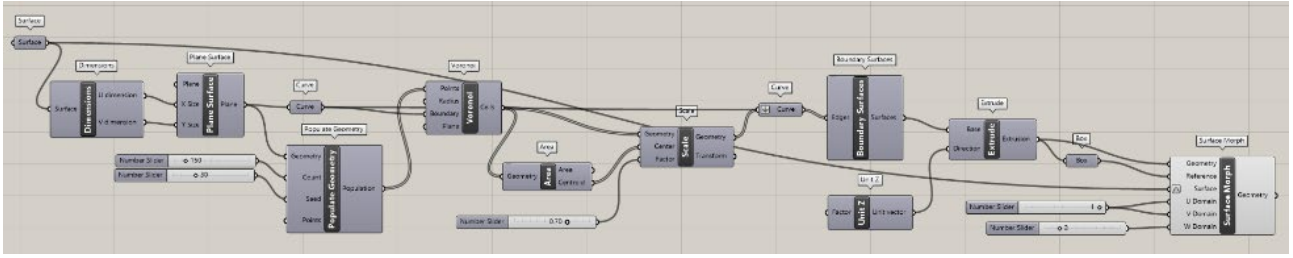
Şekil 5: a. 'Palmyra's Arch of Triumph' (Flynn, T., n.d.). b. 'Catawba Earthenware Pan' (RLA Archaeology, n.d.).

Palmira Antik Kenti'ne ait Zafer Kemerinin yıkılmadan önceki durumunu yansıtan 3b modeldeki eksik kısım modelde mevcut olan taşların sınırlarından yararlanarak Rhino'da yüzey oluşturma ve 'Extrude' aracıyla modellenmiştir. Elde edilen kapalı hacim 'Voronoi 3d in Brep' Grasshopper eklentisiyle hacimsel Voronoi'ye dönüştürülmüştür (Şekil 3) (Şekil 6).

Şekil 6: : Voronoi Bütünleme No.1: Suriye'nin Palmira Antik Kenti'ndeki Zafer Kemerini (Voronoi Completion No.1: The Arch of Triumph in Palmyra Ancient City, Syria)



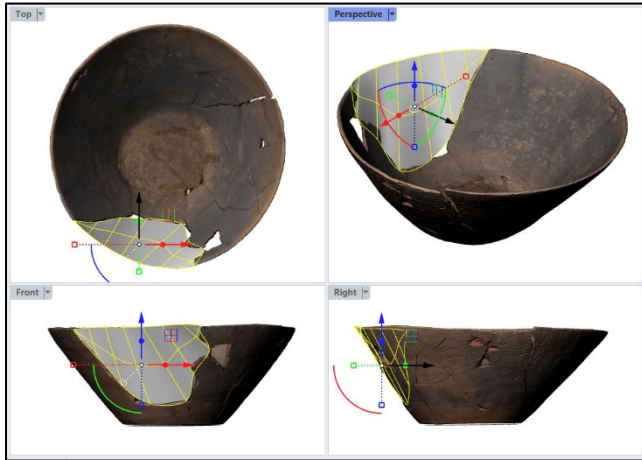
İkinci bütünleme kullanılan antik seramik yassı kap modelinde ise eksik olan eğrisel yüzey, Rhino'da iki eğri arası yüzeye dönüştüren 'Loft' aracıyla iki boyutlu yüzey olarak tamamlanmıştır. Farklı boyutlarda hücrelere sahip Voronoi hücreleri 'Surface Voronoi' Grasshopper eklentisiyle eğri yüzey üzerinde oluşturulmuştur (Şekil 7).



Şekil 7: Voronoi on Surface eklentisinin çalışmaya uyarlanması (Adaptation of Voronoi on Surface Grasshopper plugin to the study) (Voronoi on Surface | Parametric House, n.d.).

Şekil 8: Voronoi Bütünleme No.2: Catawba seramik kap, Güney Karolayna, ABD. (Voronoi Completion No.2: Catawba earthenware pan, South Carolina, USA)

Bütünlenen seramik kaptaki yeni üretimin daha iyi algılanması için Rhino'da elde edilen farklı görünüşleri düzenlenerek bir arada sunulmuştur (**Şekil 8**). Fizikten kentsel planlamaya kadar çok çeşitli disiplinlerde kullanılan Voronoi diyagramlarının bilgisayar destekli üç boyutlu modelleme alanında geliştirilen eklentilerle farklı geometrilere istenilen hacim ve yoğunlukta uygulanabilme olanağı bu çalışmada tercih edilme sebebi olmuştur. Kültürel miras objelerinin bütünlenmesi konusunu inceleyen bu ve benzeri çalışmalar için hem dijital uygulama hem de olası fiziksel uygulamalara katkı sağlayabilecek bir üretken tasarım yöntemi olarak kabul edilebilir.



6. SONUÇLAR (RESULTS)

Bu çalışma kapsamında, kültürel miras objelerindeki eksik kısımların alternatif dijital bir üretken tasarım yöntemiyle tamamlanması, elde edilen iki ve üç boyutlu görselleştirmeler ile objenin algılanma düzeyinin artırılması hedeflenmiştir. Objenin bütünleme aşamasında kullanılan Voronoi örüntü algoritmasının farklı geometrilere uygulanabilir olması hem iki boyutlu yüzeylerde hem de üç boyutlu hacimlerde

uygulamalara olanak tanır. Koruma yasalarının işaret ettiği bütünlemede yeterli veriye sahip olma gerekliliğine dikkat edilerek seçilmiş olan objelerde eksik kısımların geometrisinin mevcut geometriyle uyum sağlayacak şekilde modellenmesine dikkat edilmiştir.

Dijital bütünleme uygulamalarının özgün esere zarar vermeden yapılması, evrensel koruma ilkeleriyle ters düşmeden farklı malzemelerle deneysel çalışmalar yapabilmeyi olanaklı kılar. Çalışılan miras objelerinin eksik kısımlarının kapalı hacim olarak modellenip Voronoi hücrelerine dönüştürüldüğü bu dijital bütünleme çalışmasında elde edilen modeller bir sonraki aşamada üç boyutlu yazıcılar aracılığıyla üretilebilir. Bu aşamada eksik kısımları dolduran Voronoi hücrelerini strüktürle uyumlu olacak şekilde farklı noktalarda farklı yoğunluklarda ayarlamak ve çeşitli malzemeler deneyerek üretimi çeşitlendirmek, miras objesinin değişik ölçeklerdeki temsillerine olanak sağlayacaktır.

Bu çalışmada gerçekleştirilen Voronoi diyagramlarıyla bütünleme pratikleri gibi başka üretken tasarım temelli dijital bütünleme yöntemleriyle geliştirilecek çalışmalar kültürel miras objelerinin farklı temsil yollarıyla algılanabilmesine olanak verecektir. Eserlerin dijital olarak bütünlenen kısımlarının net olarak ayırt edilebildiği ve eserin yok olmuş parçalarıyla birlikte bir bütün olarak algılanabildiği benzer çalışmaların yaratıcı temsillerle insanlara ulaştırılması, ortak kültürel mirasın savaş ve vandalizm gibi çeşitli sebeplerden yaşadığı kayıplara dikkat çeken bir yol olabilir. Üretken tasarım yöntemleriyle geliştirilen dijital bütünlemeler, kültürel mirasın sanal olarak deneyimlendiği dijital oyun ortamlarına dâhil edilebileceği gibi artırılmış gerçeklik gibi araçlarla yerinde ve müzelerde deneyimlenebilir. Kültürel miras eserlerinin güncel teknolojiler aracılığıyla toplumla etkileşime geçirildiği böyle çalışmalar koruma alanındaki bilincin gelişimine katkı sağlayacaktır.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimari Tasarımda Bilişim Doktora Programı, 2021 Bahar dönemi Mimari Tasarımda Evrimsel Yaklaşımlar dersi kapsamında tamamlanmıştır. Dersin yürütücüleri Prof. Dr. Gülen Çağdaş ile Dr. Öğr. Üyesi Ethem Gürer'e, dersin asistanı Araş. Gör. Özlem Çavuş'a ve sınıf arkadaşlarım Araş. Gör. Sena Kaynarkaya ile

Araş. Gör. Nur Sipahiođlu'na çalışmayı geliştirme sürecimdeki değerli katkılarından dolayı çok teşekkür ederim.

Referanslar (References)

- Agkathidis, A. (2015). *Generative Design*. Laurence King Publishing. ISBN: 978-1780676913.
- Aydin, S., Schnabel, M. A. & Sayah, I. (2017). Association Rule Mining to Assess User-Generated Content in Digital Heritage: Participatory Content Making in 'The Museum of Gamers'. In ađdař, G., Gl, L. F., zkar, M. & Grer, E. (Eds.), *Computer-Aided Architectural Design, Future Trajectories, CAADFutures 2017, Communications in Computer and Information Science, Vol 724* (231-251), Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-5197-5_13.
- akırca, D. (2015). Savaşın Savunmasız Dşmanı-Kültürel Miras. *Munzur Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi (MSBİD)*, 4(6), 16-35. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tusbd/issue/40551/486659>.
- Duran, E. K., & Kaya, N. K. (2020). Arkeolojik Alanlarda Uygulanan Bütünleme (Tamamlama) Müdahalelerinin Deđerlendirilmesi: Metropolis rneđi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (50), 255-274. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/sufesosbil/issue/56641/679685>.
- Economou, M. (2015). Heritage in the Digital Age. In Logan, W., Nic Craith, M. & Kockel, U. (Eds.), *A Companion to Heritage Studies* (215-228), Series: Blackwell companions to anthropology (28), Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781118486634.ch15>.
- Flynn, T. (n.d.). Palmyra's Arch of Triumph, Trafalgar Sq, London. Retrieved March 22, 2022, from <https://sketchfab.com/3d-models/palmyras-arch-of-triumph-trafalgar-sq-london-573c9943d0bd467a98422829ccd8863b#download>
- Gomes, L., Bellon, O. R. P. B., Silva, L. (2014). 3D Reconstruction Methods for Digital Preservation of Cultural Heritage: A Survey. *Pattern Recognition Letters* 50, 3-14. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2014.03.023>.
- Hermon, S. & Niccolucci, F. (2018). Digital Authenticity and the London Charter. In Franco, P. D. G. D., Galeazzi, F., Vassalo, V. & Miltiadous, N. (Eds), *Authenticity and Cultural Heritage in the Age of 3D Digital Reproductions* (37-47), McDonald Institute for Archaeological Research, Cambridge, UK. <https://doi.org/10.17863/CAM.27036>.

- Hermoza, R., & Sipiran, I. (2018). 3D Reconstruction of Incomplete Archaeological Objects Using a Generative Adversarial Network. Arxiv: 1711.06363.
- Margetis, G., Apostolakis, K. C., Ntoa, S., Papagiannakis, G., & Stephanidis, C. (2020). X-Reality Museums: Unifying the Virtual and Real World Towards Realistic Virtual Museums. *Applied Sciences*, 11(1), 338.
- Navid, A. H. F., & Aghababa, A. B. (2013). Cellular Learning Automata and Its Applications. In Salcido, A. (Ed.), *Emerging Applications of Cellular Automata* (85-111), INTECH.
- Papaioannou, G., Schreck, T., Andreadis, A., Mavridis, P., Gregor, R., & Sipiran, I., Vardis, K. (2017). From Reassembly to Object Completion: A Complete Systems Pipeline. *Journal on Computing and Cultural Heritage*, 10(2), 1-22. <https://doi.org/10.1145/3009905>.
- RLA Archaeology (n.d.). Catawba Earthenware Pan, Old Town, Lancaster County, South Carolina- Period: Historic (1780-1800). Retrieved March 22, 2022, from <https://sketchfab.com/3d-models/catawba-earthenware-pan-2499p14041-f9c267feeaf34309941db34ae90e054a>
- Tresoldi, E. (2016, March). Permanent Installation of Basilica di Siponto. Retrieved March 22, 2022, from <https://www.edoardotresoldi.com/works/basilica-di-siponto/#&gid=1&pid=1>
- Vesna, S., Budak, I., Obradovic, R., Crkvenjakov, D. K., & Santosi, Z. (2017). Parametric Modeling Applied to the Virtual Reconstruction of the Damaged Sculpture of St John Nepomuk in Petrovaradin. *Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe (eCAADe) 35* (389-398), Rome, Italy. http://papers.cumincad.org/data/works/att/ecaade2017_052.pdf
- Voronoi3d in Brep | Grasshopper3d (n.d.). Retrieved March 22, 2022, from <https://www.grasshopper3d.com/forum/topics/constraining-a-voronoi-skeleton-inside-a-brep>
- Voronoi on Surface | Parametric House (n.d.). Retrieved March 22, 2022, from <https://parametrichouse.com/voronoi-on-surface/>
- Yakovenko, V. (n.d.). Stylized Ancient Archway by Vladyslav Yakovenko. Retrieved March 22, 2022, from <https://sketchfab.com/3d-models/stylized-ancient-archway-c0ce836f20054484850866c7385b750c>