

Anıtsal yapıların farklı 3D modelleme programları ve ağaç türleri ile uygulanabilirliği

Applicability of monumental buildings with different 3D modeling programs and tree types

Evren Osman ÇAKIROĞLU^{1*} 

¹Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin Meslek Yüksekokulu, Tasarım Bölümü, İç Mekân Tasarımı Programı, Artvin

Eser Bilgisi / Article Info

Araştırma makalesi / Research article

DOI: 10.17474/artvinofd.1465523

Sorumlu yazar / Corresponding author

Evren Osman ÇAKIROĞLU

e-mail: 61evrenosman@artvin.edu.tr

Geliş tarihi / Received

05.04.2024

Düzeltilme tarihi / Received in revised form

04.05.2024

Kabul Tarihi / Accepted

04.05.2024

Elektronik erişim / Online available

15.05.2024

Anahtar kelimeler:

Anıt

3D modelleme

CNC makinası

Zbrush

Alphacam

Yüzey pürüzlülüğü

Keywords:

Monument

3D modeling

CNC machine

Zbrush

Alphacam

Surface roughness

Özet

Tarihte önemli olayların ve kahramanlıkların yaşandığı dönemi vurgulamak ve gelecek nesillere hatırlatmak adına anıtsal eserler bulunmaktadır. Bu olayları ve figürleri taş, mozaik, metal, mermer ve ahşap gibi malzemeler ile uygulayarak görsel bir yapı oluşturulmaktadır. Bu çalışmada Kastamonu'nun kahramanlık sembolü olan Şerife Bacı anıtsal heykelinin 3D modelleme ile rölyef analizinin yapılması ve pürüzsüz ahşap tabloların oluşturulması amaçlanmıştır. Çalışmanın başlangıcında Kastamonu'da fotoğraf makinesi ile 20 farklı açıdan fotoğraflama yapılmıştır. Zbrush ve Alphacam modelleme programları kullanılarak CNC makinası ile ahşaba uygulanmıştır. Çalışma kapsamında 2 çeşit 3D modelleme programı ve 3 farklı ağaç türünden yararlanılmıştır. CNC makinası için tüm ağaç türlerinde devir hızı 18000 devir/dk, dalma hızı 4000 mm/dk, kesme hızı 8000 mm/dk olarak belirlenmiştir. Kesici takım çapı 3D işleme için 2mm, kaba işlemler için 10 mm ve 20 mm olarak seçilmiştir. Kestane, sapelli ve kayın ağaç malzemelerden 50x55 cm tablolar ve sadece kayın ağaç malzemeden 150x200 cm boyutlu ana tablo üretilmeye çalışılmıştır. Sonuçlar, Zbrush ve Alphacam modelleme programlarının birbiri ile uyumlu çalıştığını, büyük boyutlu üretimlerde de kayın türünün bazı çatlama ve yapısal bozukluklara neden olabileceğini göstermiştir. Ağaç malzeme kullanılarak büyük boyutlu 3D model üretilirken, bir bütün halinde değil de parça parça tasarlanıp uygulanabileceği gözlemlenmiştir.

Abstract

There are monumental works to highlight the period in which important events and heroism took place in history and to remind future generations. A visual structure is created by applying these events and figures with materials such as stone, mosaic, metal, marble and wood. In this study, it was aimed to analyze the relief of the Şerife Bacı monumental statue, the heroic symbol of Kastamonu, with 3D modeling and to create smooth wooden tables. At the beginning of the study, photographs were taken from 20 different angles with a camera in Kastamonu. It was applied to wood with a CNC machine using Zbrush and Alphacam modeling programs. Within the scope of the study, 2 types of 3D modeling programs and 3 different tree species were used. For the CNC machine, the rotation speed for all wood types is determined as 18000 rpm, plunge speed is 4000 mm/min, and cutting speed is 8000 mm/min. The cutting tool diameter was chosen as 2 mm for 3D machining, and 10 mm and 20 mm for rough machining. An attempt was made to produce 50x55 cm paintings from chestnut, sapele and beech wood materials, and a 150x200 cm main painting from only beech wood materials. The results showed that Zbrush and Alphacam modeling programs worked in harmony with each other, and that the beech type may cause some cracking and structural defects in large-sized productions. While producing a large-sized 3D model using wood material, it has been observed that it can be designed and implemented piece by piece rather than as a whole.

GİRİŞ

Geçmiş dönemlerde önemli olayların tasvir edildiği, iz bırakmış ve sembolleşen karakterlerin görselleri bulundukları mekânda görünmeleri, hatırlanmaları için anıtsal heykeller şeklinde yapılar oluşturmaktadır. Anıt, oluşturulduğu yerin anlamı veya kullanımı hususunda simgesel bir duruşla, çoğunlukla dikey yönde temsil ve konumlandırma yapan figüratif heykel olarak tanımlanmaktadır (Krauss 2002). Ayrıca "anıt" kelimesi bir olayın veya şahsın anılması için uygulanan yapıt olarak ifade edilmektedir (Sözen ve Tanyeli 1994). Anma görevi

gören temsil niteliğindeki heykel anıtlar, oluşturulduğu mekânı tanıtmak, birçok kültürü bir arada toplamak, bulunduğu yere sahiplenme ögesi kazandırmak gibi işlevsel duruma sahiptirler (Tekiner 2010). Medeniyetler, tarihsel süreçte birçok amaç için anıt heykel oluşturmuşlardır. Dönemin ve mekânın şartlarına göre o dönemi yansıtacak Türk heykel sanatına da örnek anıt türü heykeller yapılmıştır. Bunlara kahramanlık hikâyeleri ile dolu Atatürk ve İstiklal harbi dönemini konu alan anıt heykeller, Mimar Sinan, Nasrettin Hoca gibi karakterlerin heykelleri örnek verilebilir (Oral 2017).

Türk kadınlarının vatanına hizmetleri ve kahramanlık öyküleri sanat eserlerine de yansımaktadır. Heykel ve birçok malzeme ile yapılmış rölyef çalışmaları üzerinde oluşturulan eserlerde Türk kadınlarının savaşçı-asker kimlikleri betimlenmiştir. Nene Hatun, Kara Fatma, Şerife Bacı gibi isimler gurur sembolü ve onlara karşı bir vefa olarak eserlerde yaşatılmaya çalışılmıştır. Zencirkıran ve Berkli (2022) yaptıkları bir çalışmada Erzurum'da ki anıt eserlerdeki kadın imgesini araştırmış ve birçok anıt ve rölyef eseri tanımlamışlardır. Nene Hatun heykelleri ve rölyefleri, Gaziler ve Şehitler Anıtı ve rölyefleri, Erzurum'un Kahraman Çocukları Rölyefi, Osmanlı-Rus Harbi, Ermeni mezalimi ve Kurtuluş Savaşı'nı konu alan isimli rölyef, Şehit Öğretmen Anıtı bunlara birer örnektir. Bu anıtsal heykeller çeşitli malzemeler kullanılarak tamamlanmaktadır. Bu malzemelere taş, mermer, seramik, ahşap, kompozit ve cam örnek gösterilebilir. Bu malzemelerden ahşap malzeme sıcak görüntüsü, işlenebilme özelliklerinin kolay oluşu, renk ve doğallığı gibi özelliklerinden dolayı çok kullanılmaktadır. Kahramanlık öykülerinin tasvir edildiği bir örnek de Şerife Bacı Anıtsal Heykelidir ve kahramanlık sembolü olarak Kastamonu ilinde oluşturulmuştur.

Günümüzde tarihi önemi ve değeri olan heykel, tablo, yapı konstrüksiyonları, kapılar, eşyalar gibi unsurların yaşatılması için bunlar ile ilgili farklı ürün tasarımları ve üretimleri yapılmaktadır. Bu tasarımlar ve üretimler yapılırken günümüz teknolojisindeki modelleme programları ve makineleri kullanılmaktadır. Bununla birlikte geleneksel yöntemlerden el oyması ve süsleme teknikleri de kullanılmaktadır. Barboutis ve ark. (2023) yaptıkları bir çalışmada, 17. Yüzyıl çift kanat Berna kapısının tarihi mekânında 3 boyutlu dijital tarama yöntemiyle model oluşturulup Bilgisayarlı Sayısal Kontrol (CNC) işlemleri ile birebir kapının bir eşi oluşturulmuştur. Buna ek olarak geleneksel yöntemlerde kullanılarak kültürel mirasın çoğaltılması adına kalifiye ustalara el oyması ile yaptırılmıştır. Yine benzer bir çalışmada 16. yüzyıl ihlamur ağacı üzerine yapılmış kabartmalı 3D rölyef çalışmasında eserin yüzeyini fotogrametrik olarak oluşturarak dijital 3 boyutlu modellemesi elde edilmiştir. İlk olarak bazı parçalarda oluşan ayrılmaları belirleyerek orijinali gibi bağlantısı yapılmaya çalışılmıştır. Bu işlemi yaparken bağlantı noktasını köprülemek ve parçalar arasındaki büyük boşlukları doldurmak için CNC ile yönlendirilmiş bir ahşap dolgu üretilmiştir (Hochuli ve Soppa 2022).

Medeniyetlerin ve ülkelerin kendilerine özgü motifleri bulunmaktadır. Bu motifleri yaşatmak ve bu motiflerden 3 boyutlu modeller üretmek için çalışmalar yapılmıştır. Kültürel miras kapsamındaki eserlerin fotogrametrik yöntemle 3D modellenmesi ile ilgili yapılan çalışmada (Kum 2022) "Drama" motifli yazma kalıbı belirli açılardan fotoğraflanarak düzenlenmiştir. Daha sonra restorasyon ve dökümantasyon çalışmalarında kullanılması için Agisoft Photoscan yazılımı ile 3D model kalıplar oluşturulmuştur. Yapılan farklı bir çalışmada Uslu ve Uysal (2022) tarihi önemi bulunan ahşap eserleri korumak ve onları daha sonraki nesillere taşımak adına insansız hava aracı (İHA) verileri ve hareket ile nesne oluşturma (SfM) tekniği kullanılarak Truva Atı'nın 3B modellenmesi yapılmaya çalışılmıştır. Bununla birlikte mimari süslemelerde kullanılan geleneksel Türk motiflerinin bilgisayar destekli üretim ve modelleme ile uyumculuk ve takı tasarımında kullanılmasına yönelik çalışmada Sivas Divriği Ulu Cami taç kapısının bazı süsleme programlarının takılara entegrasyonu sağlanmıştır (Saraçoğlu 2015). Süsleme programı açısından yapılan benzer bir çalışmada Çakıroğlu ve ark. (2023) Geleneksel Türk mimari motiflerinin yaşatılması ve ahşaba uygulanması adına tarihi değeri olan bir kongre merkezine 3D modelleme ve Alphacam programı kullanılarak CNC makinası ile uygulamalar yapılmıştır.

Başka bir çalışmada (Remic ve Merhar 2020) 3 eksenli CNC makinası kullanılarak 2 boyutlu bir çizimin STL olarak hazırlanıp rölyef şeklinde kıvrımlı hatlara sahip sanatsal bir tablo çerçevesi oluşturulmuştur. Daha düzgün yüzeyler oluşturulabilmesi için bazı parametre düzenlemeleri ve denemeleri yapılmıştır. Bahsedilen çalışmada 3D işlemlerin fazla süre aldığı ve bu işlem sürelerini farklı bıçak çapları ve adımlamalarıyla birlikte düzenlenebileceği belirtilmiştir. Ayrıca, Photoshop programı ile temel bir resim üzerinde işlem yapılarak gri tonlama filtresi uygulanmıştır. ArtCam programı kullanılarak STL model oluşturulmuş ve SolidCam ile işlem devam ettirilmiştir. Freze işlemlerinde ilerleme hızı olarak 2500 mm/dk tolerans olarak 0.4 mm seçilmiştir. Kaba işleme ve ince işleme kullanılarak 3D sürekli adım atma yapılmıştır. En iyi sonuç kaba işlemede 28 dakika 22 saniye, ince işlemede ise 4 saat 1 dakika 31 saniye işlem süresi ile elde edilmiştir.

Yüksek teknoloji makinalar gibi son dönemde sürekli gelişim halinde olan 3D yazıcılar da mimari modellerin rekonstrüksiyon aşamalarında önem oluşturmaktadır. Bununla ilgili önemli tarihi yapılarda 3D kamera görüntüleri ve fotoğraflarıyla birlikte 3 boyutlu yazıcılar ile

mimari modelin yeniden yapılanması sağlanmaktadır. Bu yöntem ile bir modelin 3 boyutlu verileri çıkarılabilir ve daha kısa sürede yeniden inşa edilebilir olduğu gösterilmiştir (Hu ve Wang 2023). Ayrıca 3D yazıcılar farklı tasarımlar ile gelişme göstermektedirler. Ahşap 3D oyulmuş eserlerin aynısını ve üzerindeki bozulmaları tamamlamak amacıyla ahşap filament kullanımında hassas davranılmıştır. Ahşabın 3 boyutlu baskısının yapılmasında esas kullanılan malzeme ahşap lif içeren PLA'dır. Ahşap filament ile basılan modeller ahşaba benzer bir görünüm içindedir. Bu ahşap filament %70 PLA ve %30 ağaç lifinden oluşmaktadır (Kochov ve Stoleska 2022). Önceden ağaç lifi kullanımının az olması nedeniyle modelin daha çok kartona benzediği gözlemlenmekteydi. Oranın artışı ile oyma işlemi ahşaba koku, renk ve daha sıcak bir hissiyat sağladığı görülmüştür. Endüstri 4.0'ın bir parçası olan 3D yazıcıların mobilya sektöründe de birçok bağlantı elemanının tasarlanması ve uygulanmasında önemli etkisi vardır (Felek 2020). Farklı tasarım özgürlüğü sağlayan 3D yazıcılar ile karmaşık çizimlerin ve geometrilerin mobilya elamanlarında kullanımı rahatlıkla yapılabilmektedir. Bilgisayar ortamında tasarlanan modelin elde edilmesiyle kalıp maliyeti de azaltılabilmektedir. Yapılan farklı bir çalışmada 3D at motifli işlemler yapılmıştır. Bu işlemleri uygularken Alphacam programı ile birlikte bazı parametre düzenlemeleri oluşturulmuştur. Yani 7 farklı doğal taş, 13 farklı kesme derinliği, 5 farklı ilerleme hızı ve 4 mm çaplı kesici kullanılmıştır. Bu işlemler ile birlikte işleme indeksleri elde edilmiştir (Sarıışık 2021). Zbrush 3D modelleme programı kullanılarak yapılan bir çalışmada tarihi ve kültürel öneme sahip Osmanlı çeşmelerinin 3 boyutlu dijital modellerinin oluşturulması sağlanarak

yapılacak birçok restorasyon çalışmalarına da katkı sağlayacağı belirtilmiştir (İşbilir 2023).

Bilim ve teknolojinin hızla gelişmesi ve modern teknolojilerin her bilimsel alanda uygulanması sonucu ileri düzey çalışmalar ortaya çıkarılmaktadır. Bununla birlikte oluşan tersine mühendislikte, çizimi, belgeleri, modellemeleri olmayan orijinal bir yapının kopyası elde edilebilmektedir (Raja ve Ferandes 2012). Bozulmaya yüz tutmuş ve eski görüntüsünden uzak kültürel miras olan sanatsal yapılar ve ahşap oymalar da farklı yazılımlar ile depolanır, dijitalleştirilir ve veri tabanlarında saklanırlar. Ardından da CAD VE CAM programlarına aktarılarak fiziksel modeller halinde yeniden oluşturulabilirler.

Anıt eserler dünyanın her köşesine yayılmış ve bunlara ait heykeller ve rölyef çalışmaları mermer, taş, granit, ahşap gibi çeşitli malzemelere uygulanmıştır. Bu eserlerden ülkemizde bulunan "Erzurum'da Anıt Eserlerde Yansıyan Türk Kadını İmgesi" adlı çalışmada Zencirkıran ve Berkli (2022) Türk kadınlarının kahramanlıklarla dolu mücadelesine yer verilmiştir. Rölyef uygulamalarının çoğunlukta olduğu örnekler Şekil 1'de gösterilmiştir.

Zonguldak ve Karabük Kentlerindeki Anıt Heykellerde İşçi Temsili adlı çalışmada Tankut ÖKTEM'in uyguladığı eserlere yer verilmiştir. Buradaki işçi anıtlarını işleyen görseller Şekil 2'de verilmiştir (Oral 2017).

Diğer bir taraftan, 17. Yüzyıl çift kanat Berna kapısı 3D dijital tarama ile modellenip aynısı ahşaba yapılmıştır. Bu uygulamada CNC teknolojisi ve ahşap el oymacılığı kullanılmıştır. Tahminen 1615 yılında yapıldığı bilinen Berna çift kanat ahşap kapı ve yeni üretimi Şekil 3'te gösterilmektedir.



Şekil 1. Erzurum'da Anıt Eserlerde Yansıyan Türk Kadını İmgesi adlı çalışmanın heykel ve rölyefleri



Şekil 2. Zonguldak ve Karabük Kentlerindeki Anıt Heykellerde İşçi Temsili adlı çalışmanın heykelleri



Şekil 3. 17. yüzyıl çift kanat Berna kapısının 3D dijital tarama ile modellenip ahşaba yapılması (Barboutis ve ark. 2023)

Bu çalışmanın amacı, Kastamonu'nun kahramanlık sembolü olan Şerife Bacı anıtsal heykelinin 3D modelleme ile rölyef analizini yapmak ve ona ait pürüzsüz ahşap tabloların oluşturulmasını sağlamaktır. Bu anıtsal modeli oluştururken Zbrush ve Alphacam modelleme programlarında bazı düzenlemeler yaparak rölyef biçiminde ahşap tablolara aktarılmasını gerçekleştirmektedir. Bununla birlikte ahşap malzemelere uygulanmasında CNC makinası kullanılarak oluşabilecek en düzgün yüzey kaliteyi yakalamak ve bazı parametre ayarlamaları yaparak uygun ağaç türleriyle 3D dekoratif tablolar üretmektir. Bu çalışma, daha sonra yapılacak benzer nitelikteki 3D model rölyef uygulamaları için örnek oluşturabilir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma bünyesindeki bütün konstrüksiyonlar ve üretim aşamaları Artvin Çoruh Üniversitesi Endüstriyel Tasarımlar Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde yapılmıştır. Araştırma merkezinde bulunan endüstri 4.0 kapsamındaki teknolojik makine ve teçhizat tertibatlarıyla işlemler tamamlanmıştır. Çalışmanın ana makinası CNC makinası olup kullanılan modelleme programları Zbrush ve Alphacam'dır. Kesici takım olarak 10 mm ve 2 mm çaplı karbür bıçak kullanılmıştır. CNC makinası için tüm ağaç türlerinde devir

hızı 18000 devir/dk, dalma hızı 4000 mm/dk ve kesme hızı 8000 mm/dk olarak belirlenmiştir. Ağaç türü olarak kayın, kestane ve sapelliden yararlanılmıştır. Örnek alınacak ve dekoratif tablolar halinde tasarlanacak anıtsal heykel, Kastamonu ilinde bulunan Şerife Bacı anıtsal heykeli olarak belirlenmiştir. Anıtsal yapının fotoğraflama işlemi yüksek çözünürlükte işlem gören Canon EOS 750D model makine ile yapılmıştır. Burada farklı açılardan fotoğraflama yapılarak Zbrush ve Alphacam için modellenenebilir duruma getirilmeye çalışılmıştır. CNC işlemlerinde kestane, sapelli ve kayın ağaç malzemelerden 50×55 cm örnekler oluşturulmuştur. Bununla birlikte 150×200 cm büyük boyutlu kayın ağaç malzemesinden yan yana birleştirme yapılarak tablo üretilmeye çalışılmıştır. Masif malzemede yüzey kaliteyi ve pürüzsüz görünümü elde edebilmek için ağaç türünün seçimi, modelleme, kullanılan CAM programı, CNC makinası uygulama parametreleri gibi faktörler önemlidir. Çizelge 1'de kullanılan modelleme ve CNC parametreleri gösterilmiştir.

Şerife Bacı Anıtsal Heykeli

Şerife Bacı, Kurtuluş Savaşı sırasında kadınların yaptığı fedakârlık ve kahramanlıkların bir sembolüdür (URL-1). İnebolu'dan kendisiyle birlikte küçük kızının da bulunduğu

kafile ile Ankara'ya mühimmat ve cephaneye taşırken 1921 yılı kışında kötü hava koşullarında Kastamonu Askeri Kışlası yakınlarında dayanamayıp kağnısının üzerinde soğuktan donarak şehit olmuştur. Ayrıca cephaneye zarar gelmesin diye üzerini örtmüş ve bebeğini de bir yorgana sarmıştır. Kendisi de bebeğine sarılmış şekilde bulunmuştur (Karagözoğlu 2018).

Şerife Bacı Anıtı, Kastamonu Valiliği Anıt Yaptırma Komitesince, 1985-1990 yılları arasında, Cumhuriyet Meydanı'na Kastamonu Türk Kadınları Anıtı olarak da bilinen Atatürk ve Şehit Şerife Bacı Anıtı olarak yapılmıştır (URL-2). Heykeltıraş Prof. Dr. Tankut Öktem'e yaptırılan bu anıtın toplam yüksekliği 12 metredir. Bu anıtın açılışı 30 Temmuz 1990 tarihinde yapılmıştır. İlin en büyük meydanında inşa edilen anıt üç bölümden oluşmaktadır. Önde, Kurtuluş Savaşı'nda Türk kadının kahramanlığının simgesi haline gelen Şerife Bacı, ardında ise Atatürk ve Türkiye Cumhuriyeti Türk Toplumunu ifade eden figürler yer almaktadır. Son bölümde de Kuva-i Milliye güçleri ve halk temsil edilmektedir (URL-3). Kastamonu Cumhuriyet Meydanı'nda bulunan Şerife Bacı Anıtı Şekil 4'te gösterilmektedir.

Çalışmada Kullanılan Fotoğraf Makinası

Bu çalışma kapsamında Kastamonu ilinde bulunan Şerife Bacı Anıtı yüksek kalitede fotoğraflanmış ve 3D modelleme programları için de farklı açılardan fotogrametrik görüntüler elde edilmiştir. Fotoğraflama işlemi için Canon EOS 750D model fotoğraf makinası kullanılmıştır. Modelin bazı teknik özellikleri, çalışma ortamı 0°C - 40°C, % 85 veya daha az nemde, boyutlar (g x y x d) yaklaşık 131.9 x 100.7 x 77.8 mm, ağırlık yaklaşık 555 gramdır. Dahası, 24.2 Megapiksel CMOS, Odak Uzaklığı 1.6x lensin odak uzaklığına eşdeğerdir (URL-4). Şekil 5'de Canon EOS 750D model fotoğraf makinası gösterilmektedir.

Zbrush 3D Modelleme

3D programları arasında modelleme yapmak için düşünülmüş bu program, heykel, dijital heykel, sanatsal anıtların tasarlanması gibi uygulamalarda çok kullanılmaktadır. Uygulama modeli için doku kaplama, ayrıntılı görüntüler, istenilen gerçekçi renk ve gerçek görüntüsüne çok yakın modellemeler yapılmaktadır. Ayrıca diğer CAM ve modelleme programlarıyla da uyumlu biçimde çalışabilmektedir (Erzincan 2018). Zbrush ilk olarak organik heykel ve karakter tasarımında model oluşturmak için tasarlanmıştır. Son dönemde hem organik hem de inorganik modelleme geliştirmek için kullanılmaktadır. Bu yazılım, 3D modelleme programlarından farklı olarak geleneksel çizim ve heykele daha yakın bir yaklaşımda olan özel bir dijital heykel programı olarak sınıflandırılmaktadır (Elosua ve ark. 2019). Zbrush modelleme programında çok esnek olarak çalışan "brush" yani fırça kullanım aracıdır. Digital ortamda bükülebilme, eğrisel işlemler gibi şekillendirme durumlarında kolaylık sağlamakta ve istenilen talepleri en kısa sürede bitirebilmesi açısından fayda sağlamaktadır. Zbrush 2D ve 3D arasında oluşan bir anlayıştır. Koordinatsal düzenden ziyade her noktada ayrı bir derinlik ve malzeme oluşmaktadır (Yıkaroğlu 2010). Birçok 3D modelleme ve CAM programlarıyla uyumlu çalışan Zbrush, detaylandırma ve yüzeysel hatlarda gerçeğe çok yakın görünümüyle elde ettiği model ile dokusal işlemlerde önemi bulunmaktadır. 3D modelin yüzeyinde bir deri katmanı oluşturmayı içerir. Bu deri tabakası modelin üzerinde oluşur ve orijinaline benzer. Ancak yapısal olarak farklı yeni bir model ortaya çıkar. Daha sonra yazılımın alt bölümler ve haritalama işlevleri aracılığıyla bu yeni modele işlemler uygulanabilmektedir (Chang ve Shao, 2023). Zbrush modelleme programı ile birçok eser tasarlanmaktadır. Sanatkâr Umut Morkan tarafından tasarlanan ve uygulanan bazı örnekler Şekil 6'da gösterilmiştir (URL-5)

Çizelge 1. Ağaç türlerine göre uygulanan modelleme ve CNC parametreleri

Ağaç türü	Modelleme ve CNC			CNC parametreleri			
	3D modelleme programı	3D cam programı	CNC makinası	Kesme adımı (mm)	Devir hızı (devir/dk)	Dalma hızı (mm/dk)	Kesme hızı (mm/dk)
Sapelli	Zbrush	Alphacam	Megatron 4 axis	0.3	18000	4000	8000
Kayın	Zbrush	Alphacam	Megatron 4 axis	0.3	18000	4000	8000
Kestane	Zbrush	Alphacam	Megatron 4 axis	0.3	18000	4000	8000



Şekil 4. Şerife Bacı anıtı ve farklı açılardan modelleme fotoğrafları



Şekil 5. Canon EOS 750D model fotoğraf makinası

Zbrush 3D modelleme programı ile yapılan çalışmalarda yüz ifadeleri, heykel, animasyonlar, renk-doku düzenlemeleri, rölyef tablolar, büyük yapılar, anıtsal heykeller gibi eserler oluşturulmaktadır.

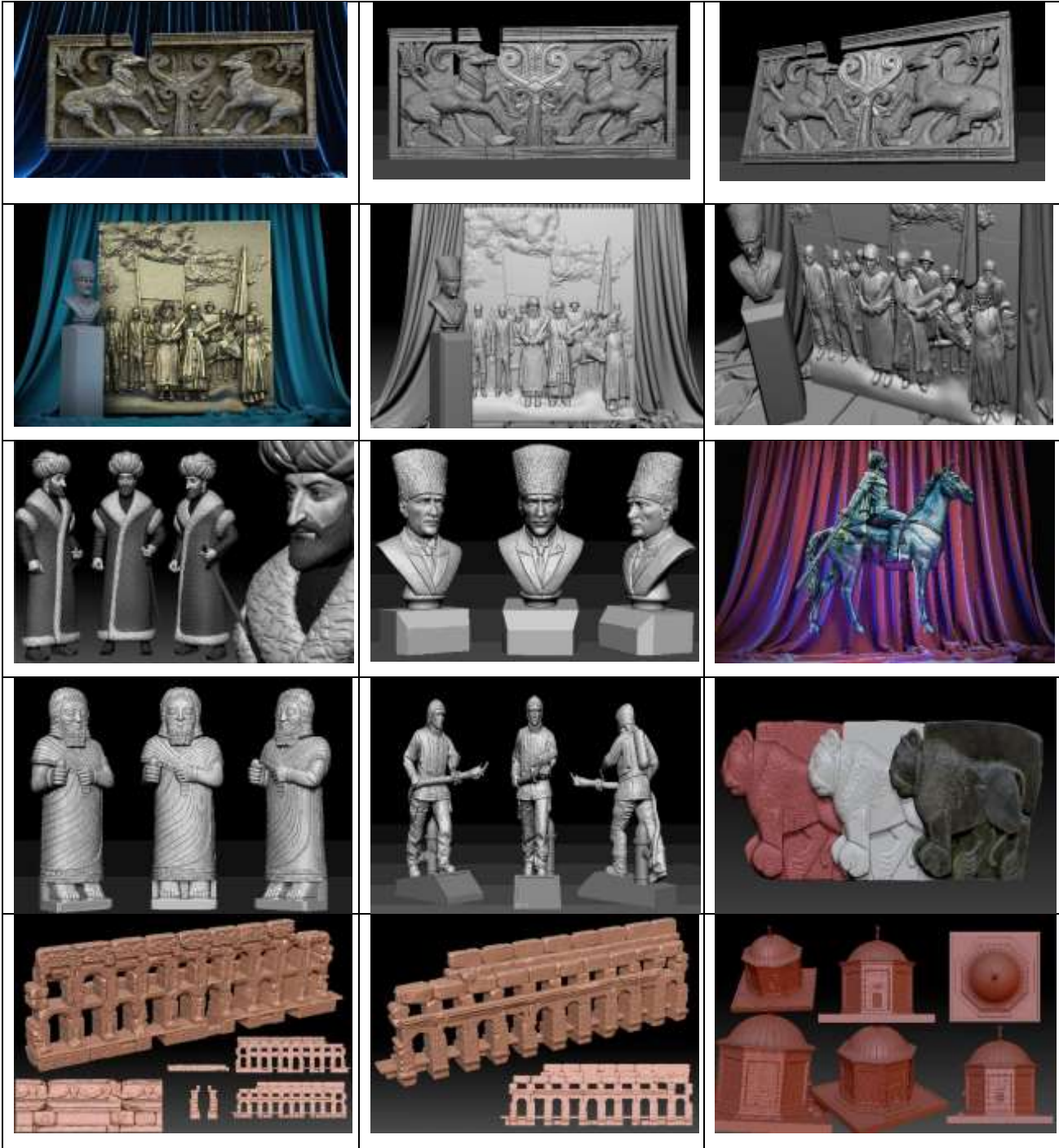
Alphacam Router 3D Modelleme ve Üretim Programı

Sürekli artan teknoloji ve modern üretim tekniklerinde CAD, CAM ve CNC yani bilgisayar destekli tasarım, bilgisayar destekli üretim ve bilgisayarlı sayısal kontrol yoğun bir şekilde uygulanmaktadır (Xiao 2000, Brecher ve ark. 2006).

Alphacam, ahşap endüstrisinde, oyma-kesme-rölyef vb. işlemler için ayrıca metal ve taş kesmeye yönelik akıllı ve sezgisel CAD CAM yazılımıdır (URL-6). Alphacam, çoğunlukla

ağaç işleme endüstrisi için tasarlanan bütün programların öncü programıdır. Basit işlemlerden 5 eksen üretimlere kadar farklı üretimler yapabilmektedir. Tasarımların geliştirme olanağı, güvenlik, esneklik ve diğer programlar ile sorunsuz bütünleşebilme, her türlü makinaya entegrasyonu, kontrollü üretim yazılımı gibi avantajları bulunmaktadır. Alphacam'de 3D oyma ile istenilen kabartma şekillerini geometrilerin dış sınırlarını belirleyerek rölyef olarak adlandırılan hatları belirgin işlemler yapılabilmektedir (URL-7).

3D Router Alphacam 'de katı cisimleri, yüzeyler ve STL öğeleri için birçok 3 boyutlu kaba ve son işleme stratejileri bulunmaktadır. Ayrıca alphacam programında yüzeysel işlemlerin yapıldığı çizgi, ölçeklendirme, simülasyon, ofset, aynalama, kopyalama, gibi çok kullanılan komutlara hemen ulaşmak ve çizimi hızlı bir şekilde bitirmek için rotary menü bulunmaktadır. Alphacam programı ile ilgili bazı örnekler Şekil 7'de gösterilmiştir.

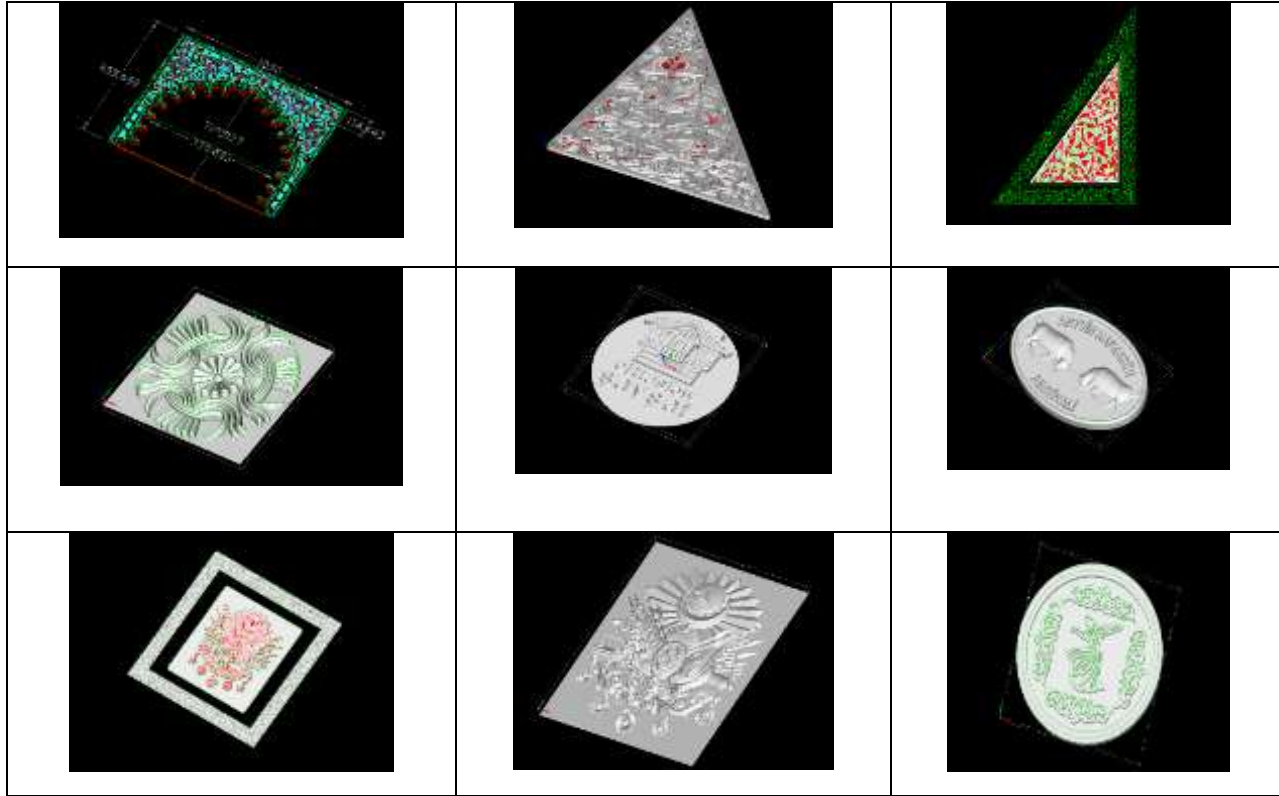


Şekil 6. Zbrush 3D modelleme ile yapılan bazı tasarımlar

Çalışmada Kullanılan Ağaç Türleri

Bu çalışmada kayın (*Fagus orientalis* Lipsky.), kestane (*Castanea sativa* Mill.) ve sapelli (*Entandrophragma cylindricum* Sprague) ağaç türleri kullanılmıştır. Kayın ağacı, 40 m boy ve 150 cm çap yapabilmektedir. Odunun rengi kırmızımsı beyaz olup sert ve oldukça ağır bir yapısı vardır. Kurutma şartlarına özen gösterilmesi gerekir. İşleme kabiliyeti yüksektir. Mantarlara ve bazı koşullara karşı dayanımı azdır. Üst yüzey işlemleri için uygundur ve vernik-boya aşamaları kalitelidir. Spor araç ve gereçlerinde, kontrplak, lif levha, bükme mobilya, süslemeli işlerde

çoğunlukla kullanılmaktadır (Bozkurt 1992). Kestane ağaç malzemesi ise dayanıklı ve orta yoğunluğa sahiptir. Özgül ağırlığı 0.400-0.750 gr/cm³ olarak bilinmektedir (Ertan ve Önat 1993). Gemi, kayık, ahşap tekneler, büyük yatlar ve ahşap ev yapımında kullanılmaktadır (Anşın 1993). Bir diğer ağaç türü de sapellidir. Afrika kökenli bu tür ülkemizde çoğunlukla mobilya endüstrisinde ve kaplama yapımında kullanılmaktadır. Görünümü kırmızı kahverengi arası olup bükülme özellikleri iyidir. Bununla birlikte parke ve kaplama endüstrisinde aranan bir malzemedir (Lemaignen 1986, Bozkurt ve Erdin 1989). Sapelli, kayın ve kestane ağaç malzemelerinin görünümleri Şekil 8’de gösterilmektedir.



Şekil 7. Alphacam Router örnekleri



Şekil 8. Sapelli (a), kayın (b), kestane (c) ağaç malzemeleri

Masif ağaç malzemeler (sapelli, kayın, kestane) kereste fabrikalarından fırınlarda kurutulmuş halde temin edilerek kereste halinde uygulama tesisine getirilmiştir.

3D Ahşap İşleme CNC Makinası

Çalışmada Alphacam programına uygun ve g kodlarının tanımlandığı Bursa’da üretimi yapılmış Megatron marka 4 eksen CNC makinası kullanılmıştır. Bu 210×280 işleme alanına sahip makinanın 9 kw, 24000 rpm olan servo motorlara sahip işleme sistemi de bulunmaktadır. Kontrol panelinde LNC ünite olup CNC ayarlamaları buradan düzenlenmektedir. G kodları ana bilgisayardan LNC ünitesine Recon ara programı ile gönderilmektedir

(URL-8 ve URL-9). Şekil 9'da 3D Ahşap İşleme CNC makinası gösterilmektedir.

Megatron CNC makinasında 8 farklı bıçak yuvası bulunmaktadır. Bu çalışmada 2mm, 10 mm ve büyük işlem tabloda (150×200 cm) kaba işlem için kullanmak üzere 20 mm dia bıçak kullanılmıştır. Kesici takımları Şekil 10'da gösterilmiştir.

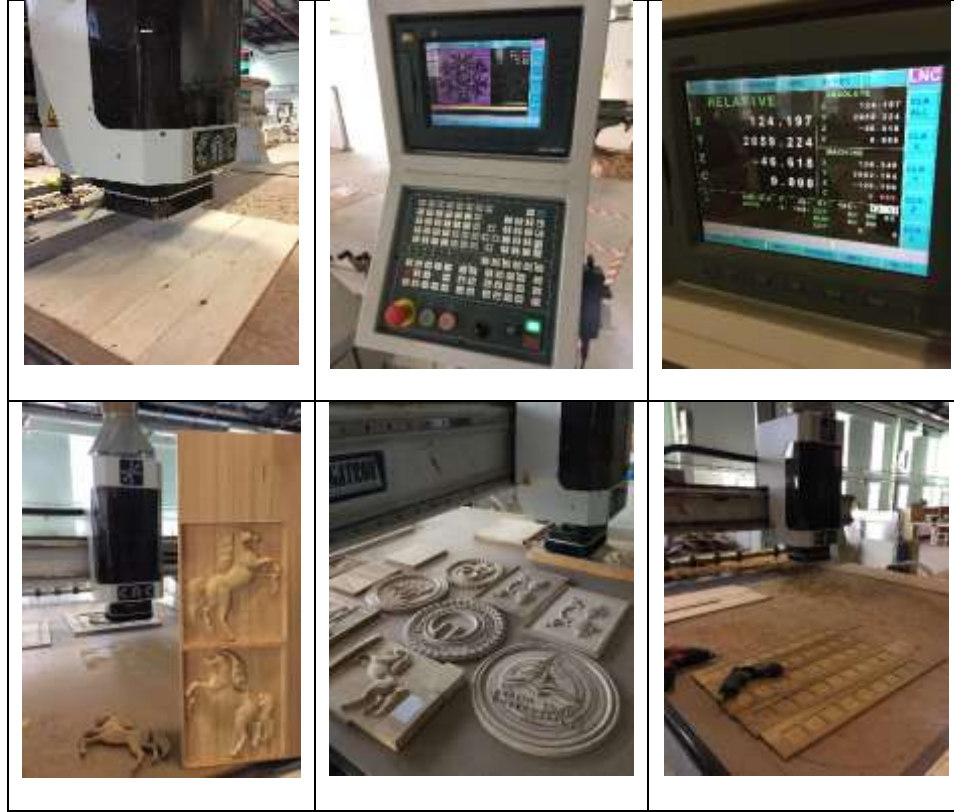
3D rölyef işlemlerinde ahşap CNC makinasının bazı işlem

süreçleri bulunmaktadır. Bu süreçler Şekil 11'de gösterilmiştir.

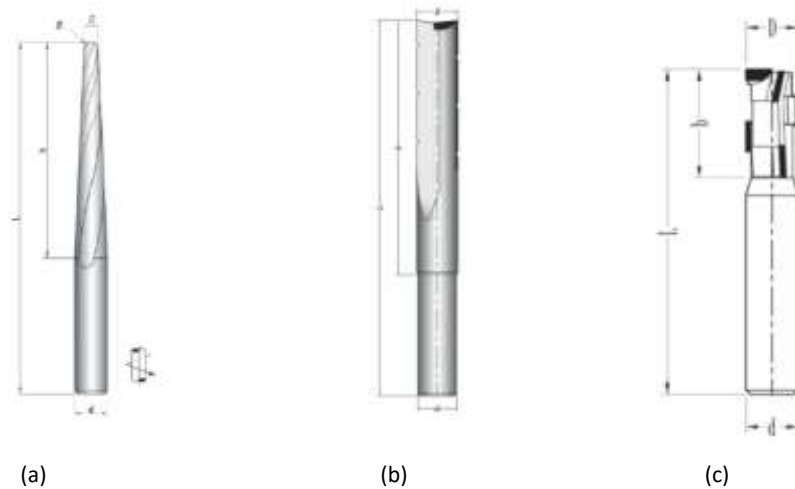
BULGULAR

Zbrush 3D Modelleme Programı Aşaması

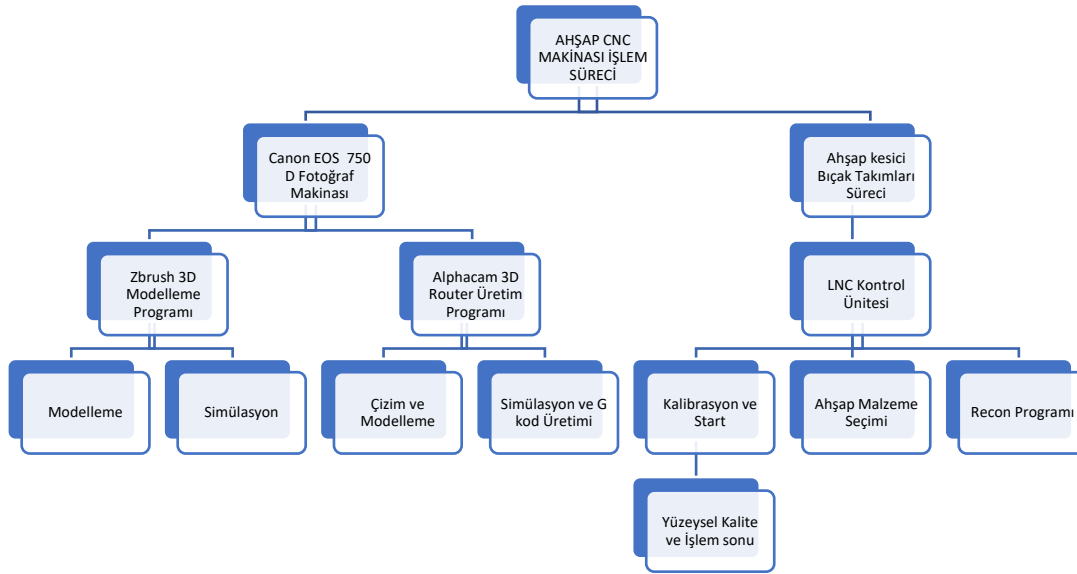
Kastamonu Şerife Bacı Anıtı'nın örnek alındığı ve bazı tasarımlarda eklenerek oluşturulmak istenilen ahşap tabloların rölyef uygulaması öncelikle fotoğraflama işlemi



Şekil 9. 3D Ahşap işleme CNC makinası



Şekil 10. CNC makinası bıçakları 2mm (a), 10mm (b), 20mm (c)



Şekil 11. 3D Rölyef uygulaması CNC işlem süreci metodolojisi

ile başlamaktadır. Daha sonra Zbrush ve alphacam programları ile entegre çalışarak 3 farklı ağaç türünde uygulanmaktadır. Ağsapa uygulanma aşamasında CNC makinası kullanılmaktadır. Bunu takiben 50×50 cm ve 150×200 cm'lik rölyef tablolar oluşturulmaktadır. Fotoğraflama işleminden sonra en önemli kısım Zbrush katı 3D modellemesidir. Şekil 12'de Zbrush 3D katı modelleme aşamaları gösterilmektedir.

Zbrush 3D modelleme programında insan yüzlerindeki en ufak ayrıntıyı dahi belirgin kılmaya yarayan komutlar bulunmaktadır. Fotoğrafın kalitesi ne kadar iyi olursa o derece gerçek görüntü elde edilmektedir. Şekil 12'de görüldüğü gibi Zbrush ile istediğimiz yönde bakış açısıyla “-Z” yönünde işlemler yapılmaktadır. Bununla birlikte yüzeysel katman oluşturularak daha pürüzsüz model oluşturulmaktadır. Render işlemlerinde kullanabileceğimiz malzeme türüne göre değişiklikler uygulanabilmektedir. Yüzlerdeki ve bakışlardaki detay ve farklı açılardan görünümleri Şekil 13'de verilmiştir.

Modelleme programlarında çizim ve tasarım ile birlikte en son aşamada gerçek görünüm ve renklendirme, malzeme durumuna göre malzeme atama gibi aşamaları bulunmaktadır. Renklendirme yaparken istenilen her bölgenin farklı ayrıntıları ön plana çıkartılabilmektedir. Şekil 14'te renklendirme ve doğal malzeme görünümlü yüzeysel işlemler gösterilmektedir.

Alphacam Modelleme ve G kodları Oluşturma

Zbrush 3D modelleme programı ile yapılan işlemlerden sonra üretim ile entegre Alphacam programıyla birlikte

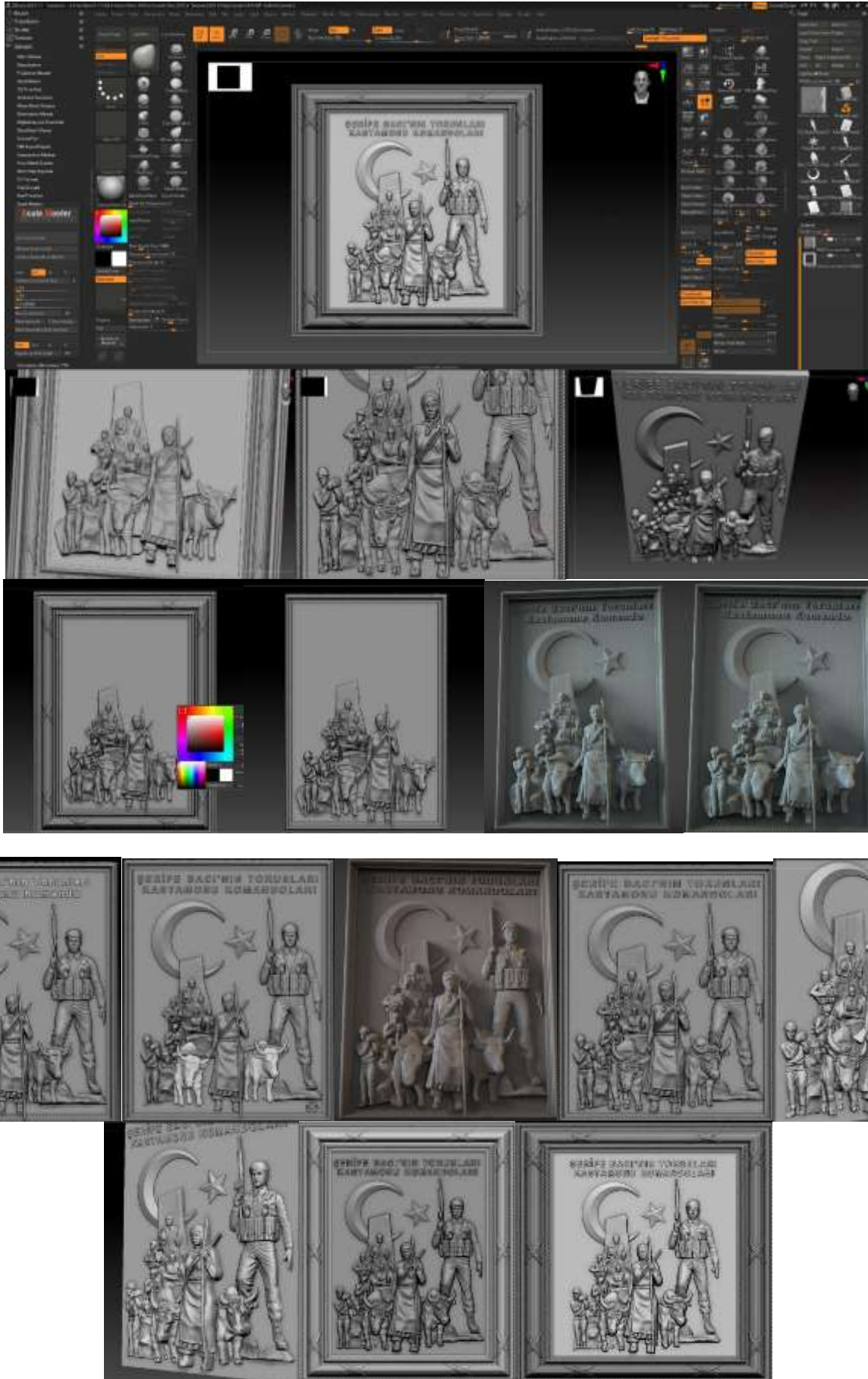
istenilen ölçülerde tabloları üretmek için “g kodları” elde edilmektedir. Bu kodlar ile megatron CNC makinasında işlemler yapılmaktadır. Şekil 15'de Alphacam programında kaba ve ince işleme kesici takım yolları verilmiştir.

Ağaç türlerinde devir hızı 18000 devir/dk, dalma hızı 4000 mm/dk, kesme hızı 8000 mm/dk olarak belirlenmiştir. Kesici takım çapı 3D işleme için 2mm, kaba işlemler için 10 mm ve 20 mm seçilmiştir. Şekil 16'da kesici takım parametreleri verilmiştir.

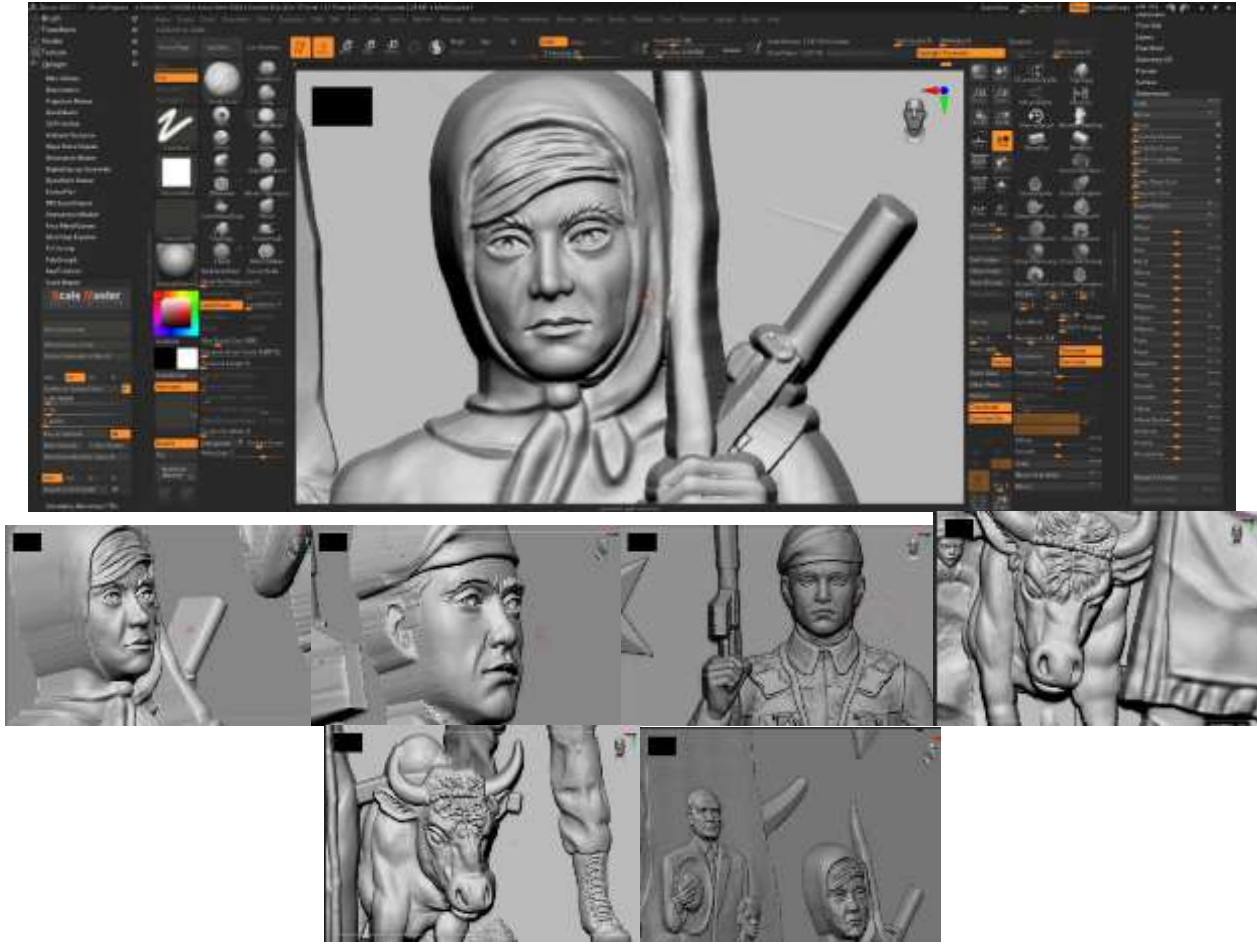
Kesim genişliğinde mesafeyi bıçak çapına göre ayarlamak daha pürüzsüz yüzeyler elde edilmesi için önemlidir. Adımlama da mesafe azaldıkça daha kaliteli yüzeyler elde edilmektedir ve işlem süresi uzamaktadır.

Ağaç Malzemelerin Birleştirilmesi ve Üretim Aşaması

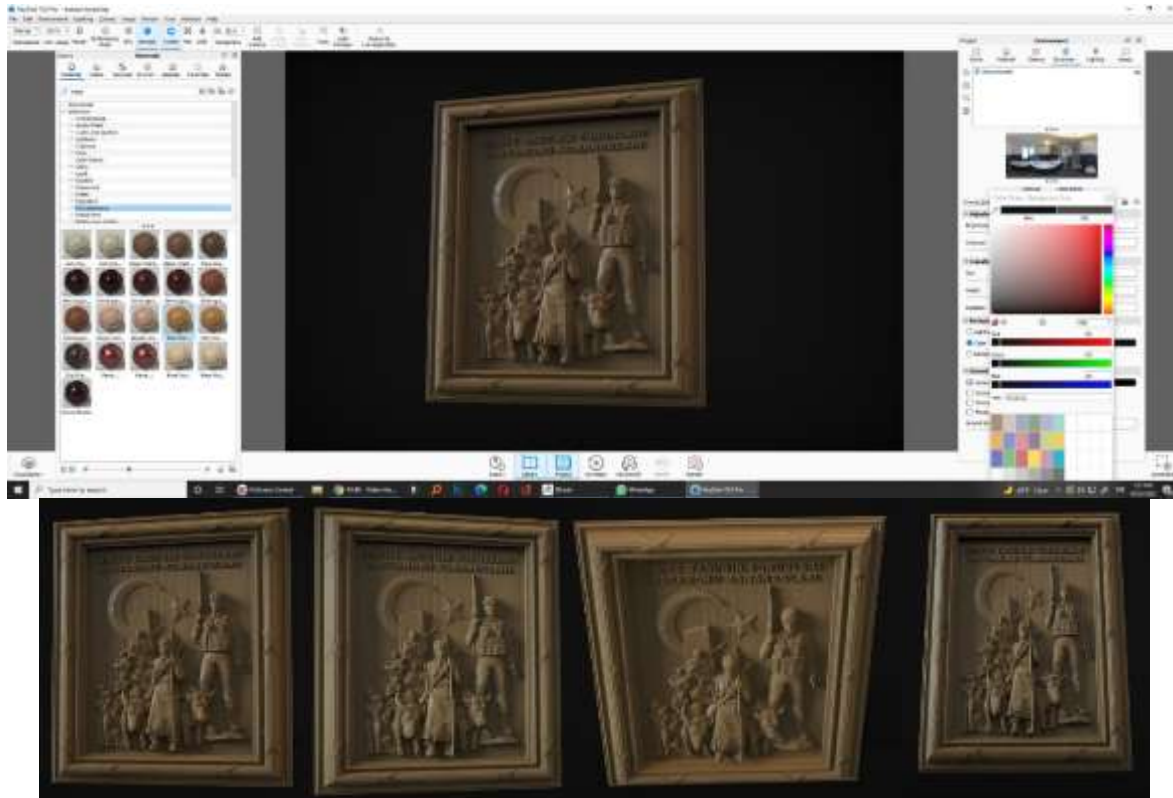
Ağaç türlerine göre kesilmiş 50×55 cm'lik ve 150×200 cm'lik toleransları hesaplanarak yan yana birleştirilmiştir. Birleştirme işlemi yaparken 3D rölyef şeklinde “-Z” yönünde işlemler oluşacağından birleştirilecek ağsapa parçaların arasına herhangi bir kanal veya çita uygulaması yapılmamaktadır. Sadece uygun Würth tutkalı kullanılmıştır. Kayın, sapelli ve kestane ağaç malzemeleri büyük sıkıştırma aparatlarıyla (işkence) basınç altında 24 saat süreyle bekletilmişlerdir. Kayın parçaların birleştirme işlemi ve CNC'de uygulanmaya hazır hale getirilmesi Şekil 12'de gösterilmektedir. Burada 65 mm kalınlığında, 210 cm uzunluğunda ve farklı genişlikte parçalar planyalanarak geniş yüzeyler elde edilmiştir. Şekil 17'de ağaç malzemenin birleştirilmesi gösterilmiştir.



Şekil 12. Şerife Bacı Anıtı çizimi ve Zbrush 3D modelleme aşamaları



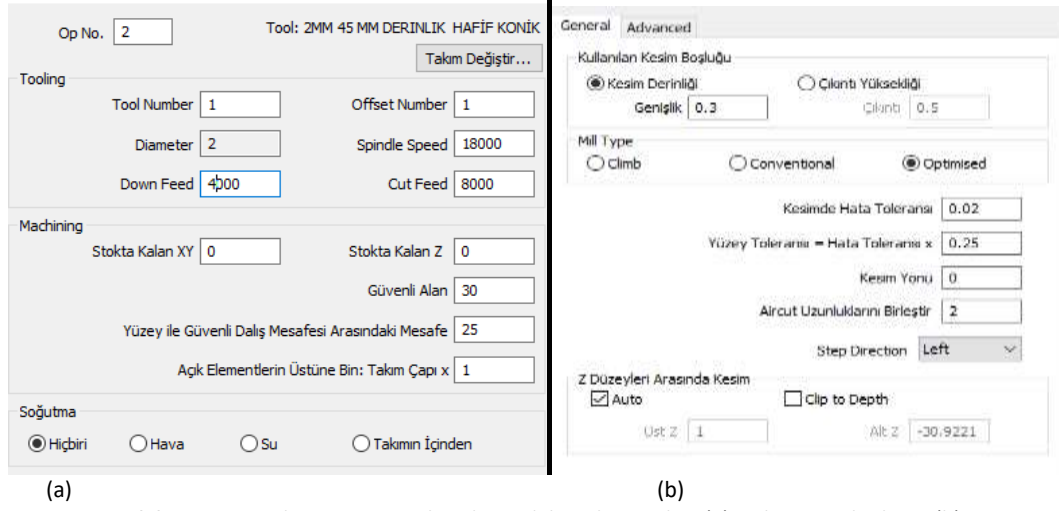
Şekil 13. Zbrush detay analizi



Şekil 14. Zbrush renklendirme ve doğal ağaç malzemeli render



Şekil 15. Alphacam ile kesici takım yolları kaba işleme (a) ve ince işleme (b) ve (c).



Şekil 16. Kesici takım parametreleri devir, dalma, kesme hızı (a) ve kesme adımlama (b)



Şekil 17. Ağaç malzemenin birleştirilmesi

Birleştirme işlemi tamamlandıktan sonra CNC makinası üzerinde sabitleme ve sıfırlama işlemi yapılmaktadır. Kalibrasyonu ve bıçak ayarlamaları tamamlanan makina üretim için hazırlanmış “g kodları” eklenerek start durumuna hazır hale getirilmektedir. Bu 210×280 cm’lik çalışma alanına sahip makina vakum ve havalandırma ünitesi bulunmaktadır. Ancak kayın, kestane ve sapelli masif malzeme işlemlerinde vakum ünitesinden verimli biçimde yararlanılmamaktadır. Lif levha, yonga levha, kontrplak, mdf lam, osb gibi endüstriyel levhaların kolaylıkla flat zemine sabitlendiği vakum ünitesi masif malzemede sorunlar oluşturmaktadır. Bu nedenle masif parçalar değişik bağlantı aparatları ve birleştirme ile zemine sabitlenmektedir. Başlangıçta en iyi yüzey kalitesini ve

pürüzsüz görünümü elde edebilmek için bazı deneme üretimleri yapılmıştır. Bunları uygularken önceki çalışmalar ve parametre düzenlemeleri (devir sayısı, bıçak türü, ağaç türü, kesme hızı, dalma derinliği, kesme adımı) ile işlemler uygulanmaktadır. Sapelli masif malzemesi ile CNC makinasında bazı uygulamalar Şekil 18’de verilmektedir.

CNC işlemlerinin sonunda üst yüzey işlemleri uygulanmaktadır. Zımparalama, dolgu verniği ve son kat vernik uygulamaları yapılmaktadır. Boyama işlemi ağaç malzemenin doğal görünümünü değiştireceğinden sadece vernik uygulaması yapılmıştır. Şekil 19’da dolgu verniği, zımparalama ve son kat vernik işlemleri hali gösterilmektedir.



Şekil 18. Sapelli ağaç malzemesi ile CNC uygulaması



Şekil 19. Sapelli ağaç malzemesi vernik uygulaması

Uygulanan ağaç türlerinden bir diğeri olan kestane için aynı işlemler yapılmıştır. Parametreler ve uygulama biçiminde değişiklik yapılmadan üretimleri gerçekleştirilmiştir. Kestane ağaç malzemesi, yapısı ve yıllık halkalarından dolayı dalgali görünüm sağlamıştır. Kestane masif malzemesi ile CNC makinasında bazı uygulamalar Şekil 20’de verilmektedir.

Kayın ağaç türünden CNC uygulamaları 50×55 cm ve 150×200 cm boyutlarında masif malzemeye uygulanmıştır. Burada aynı parametreler ve uygulama koşullarıyla birlikte CNC makinasında üretimi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, 50×55 cm’lik kayın masif malzemesi ile CNC makinasında bazı uygulamalar Şekil 21’de verilmektedir.



Şekil 20. Kestane ağaç malzemesi uygulaması



Şekil 21. Kayın ağaç malzemesi vernikli tablolar

Şerife Bacı Anıtı kapsamında tasarlanan ve uygulanan farklı ağaç türlerinden (kayın, sapelli, kestane) elde edilen sanatsal rölyef tablolar 50×55 cm boyutlarının dışında bir de 150×200 cm’lik büyük tablo halinde uygulanmasına çalışılmıştır. Bu nedenle büyük boyutta rölyef tabloya başlamadan önce; ulaşılabilirlik, maliyet, renk gibi bazı faktörleri de hesaba katarak kayın ağaç türü tercih edilmiştir. Çalışmaya aynı şekilde yan yana birleştirme ile başlanılmıştır. Kayın ağaç malzemedan 150×200 cm’lik rölyef tablonun üretim aşaması Şekil 22’de gösterilmektedir.

Diğer bir taraftan, 150×200 cm ölçülerindeki rölyef tablo parça parça üretilerek işleme alınmıştır. Alphacam de bütün halde modelleme yapılan tasarım, kademeler halinde dilimlenerek CNC makinası için kodlanmıştır. Bununla beraber, 50×55 cm’lik parçalarda kayın ağaç türünde yaşanan bazı problemlerden dolayı 150×220 cm ölçülerinde ki tablo da kademeli modelleme ile işlemler tercih edilmiş ve çatlama, bozulma vb. kusurlar ortadan kaldırılmıştır. Genelde ağaç malzeme de birleşme yerlerinde görülen bu problemler Şekil 23’de gösterilmektedir.

TARTIŞMA

Anıtsal yapıların 3D rölyef biçiminde masif tablolarda uygulanması için seçilen 3 ağaç türü (sapelli, kayın, kestane) için bazı düzenlemeler yapılarak üretim sağlanmıştır. Bu ağaç türlerini seçerken daha önceki yüzeysel pürüzlülüğü ile ilgili yapılan farklı çalışmalardan yararlanılmıştır. Çalışmalarda sapelli, kayın ve kestane masif malzemeleri için bazı sonuçlar ile rölyef tablo çalışması arasında ilişki kurulmuştur. Yapılan bir çalışma da (Çakıroğlu 2022) iroko, sapelli, ceviz, dişbudak ve ladin masif malzemesi incelenmiş en uygun işleme parametreleri belirlenmiştir. Ağaç türü ve devir hızına göre oluşan ortalama (Ra) yüzey pürüzlülüğü değeri

“sapelli” ağaç türüne göre sırasıyla 12000-15000-18000 devir/dk hızlarında; 5.75-5.72-5.72 (µm) olarak belirlenmiştir. En düzgün yüzeyler sapelli için 15000 ve 18000 devir/dk elde edilmiştir. Buna göre Anıtsal yapılarıdaki ahşap rölyef çalışmalarında devir hızı olarak uyguladığımız 18000 devir/dk yüzeysel pürüzlülük bakımından başka 3D işleme yapan çalışmalarda da uygulanabilir. Ağaç türü ve kesme hızına göre oluşan ortalama (Ra) yüzey pürüzlülüğü değeri “sapelli” ağaç türüne göre sırasıyla 3000-6000-9000 mm/dk hızlarında; 5.59-5.66-5.95 (µm) olarak belirlenmiştir. En düzgün yüzeyler sapelli için 3000 mm/dk kesme hızında elde edilmiştir. Buna göre Anıtsal yapılarıdaki ahşap rölyef çalışmalarında kesme hızı olarak uyguladığımız 8000 devir/dk daha düşük kesme hızlarına düşürülüp yüzeysel kalite iyileştirilebilir. Yüzeysel kalite ve pürüzlülüğün incelendiği bir çalışmada kayın ve ladin ağaç malzemelerinin CNC makinası uygulamalarında en iyi yüzey pürüzlülüğü değerleri yapay sinir ağlarıyla (ANN) tahmin edilerek elde edilmiştir (Demir ve ark. 2022). Rölyef çalışmamızda “kayın” ağaç malzemesi tercih ettiğimizden Demir ve ark. (2022)’ye göre optimum sonuçlara bakıldığında kayın için en pürüzsüz yüzey 4 mm çaplı bıçak, 12500 devir/dk devir hızında ve 5000 mm/dk kesme hızında pürüzlülük değeri 6.24 µm olarak elde edilmiştir. Anıtsal yapılarıdaki ahşap rölyef çalışmasında 18000 devir/dk devir hızı ve 8000 mm/dk kesme hızı kullanmıştır. Yapılacak diğer çalışmalarda kayın ağacı türüne göre devir hızı ve kesme hızı düşürülerek daha kaliteli yüzeyler elde edilebilir. Kaliteli yüzeyler için CNC parametrelerini belirlemek için yapmış olduğumuz başka bir çalışmada ise “kestane” ağaç türünün de içinde olduğu 4 farklı ağaç türü incelenmiştir (Çakıroğlu ve ark. 2019). Kestane ağaç türü için en iyi yüzey pürüzlülüğü değeri 10000 devir/dk devir hızında ve 5000 mm/dk kesme hızında elde edilmiştir. Rölyef çalışmasında devir sayıları ve kesme hızları düşürülerek daha kaliteli yüzeyler elde edilebilir.



Şekil 22. Kayın ağaç malzemeden 150×200 cm'lik rölyef tablo

SONUÇLAR

Anıtsal yapıların çoğunda tarihte yaşanmışlıkların ve kahramanlıkların olduğu dönemi anlatan durumlar söz konusudur. Bu anlatım milletin tarihte yaşamış olan gerçek öykülerini, milli ve manevi bakışın hep taze kaldığını ve insanların akıllarının bir köşesinde saklı kaldığı şeklindedir. Dolayısıyla bu eserlerde gelecek nesillere aktarılacak kompozisyonun yakalanması gerekir. Yapılan bu çalışmada Kastamonu'nun manevi değeri olan Şerife Bacı Anıtı'nın rölyef masif tablolar halinde sunulması sağlanmıştır. Sapelli, kayın ve kestane ağacından yapılan masif tablolar oluşturulurken Zbrush 3D modelleme ve Alphacam 3D üretim programı kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda günümüz teknolojisinde Zbrush ve Alphacam programlarının böyle bir rölyef çalışmasına çok uygun olduğu görülmüştür. Zbrush programının anıtsal yapıyı

ortaya çıkarırken ne kadar esnek ve gerçekçi olduğu, pürüzsüz işleme yapabilmeyi sağlayan model oluşturduğunu, Alphacam programıyla uyum içinde çalıştığını, istenilen boyutsal stabilizeyi sağladığı, zaman ve enerji kayıplarını azalttığı söylenebilir. Bununla birlikte Alphacam programı istenilen ölçülerde ve geniş yüzeylere nasıl 3D masif rölyef yapılabileceğini bu çalışma ile bizlere göstermiştir. Geniş işlemler kademe kademe kolaylıkla uygulanmıştır. Masif malzemelerde geniş rölyef çalışmaları için öğretici bir çalışma olduğu söylenilebilir. Çatlama, yarıma, ayrılma, yapışma sorunları gibi durumlarda nasıl bir teknik uygulanacağı belirtilmiştir.

Yapılan bu çalışmada sapelli ağacından üretilen tabloların kayın ağaç türünden daha pürüzsüz yüzeyler verdiği, büyük boyutlu üretimlerde kayın türünün bazı çatlama ve yapısal bozukluklara neden olabileceği görülmüştür. 3D

model üretilip uygulanırken bir bütün halinde değil de parça parça tasarlanıp uygulanabileceği gözlemlenmiştir. Kestane ağaç malzemesinden üretilen masif tablolar yıllık halkaların katmış olduğu desenli görünüm ve hareli yapı ile farklılık oluşturmıştır. 50x55 cm'lik boyutlara sahip tablolarda sapelli ve kestane malzemesinden üretilen rölyef tablolarda herhangi bir çatlama ve yarıma görülmemiştir. Ancak kayın masif malzemeden üretilen tablolarda belirli bir süre sonra ayrılmalar ve çatlamlar gözlemlenmiştir. Başlangıçta rutubeti alınmış ve uygun kurutma şartlarında kurutulan kereste seçilmesine rağmen bu durumun oluşması, ortam rutubetinden kaynaklandığı veya kurutma işlemlerinde sorunlar yaşandığı şeklinde yorumlanabilir. Kayın malzeme kullanılarak yapılan 150x200 cm'lik tablonun bütün halde

CNC işlemesine uygun olmadığı ve kademeli üretimin yapılabileceği görülmüştür.

Anıtsal yapılardaki ahşap rölyef çalışmalarının CNC uygulamalarında pürüzlülük açısından çok önemli olmayan kaba işlemlerde; 10 mm ve 20 mm bıçak çapına sahip kesiciler kullanıldığından daha kısa sürede ilgili aşama tamamlanacaktır. Bu şekilde işlem yapan diğer çalışmalara da üretimin daha kısa sürede bitirilebilmesi bakımından bahsedilen koşul önerilebilir.

TEŞEKKÜR

Çalışma kapsamında Artvin Çoruh Üniversitesi Endüstriyel Tasarımlar Araştırma ve Uygulama Merkezi bünyesindeki tekniklere ve Umut MORKAN'a teşekkür ederim.



Şekil 23. Kayın ağaç malzemesinde birleştirme yerlerindeki sorunlar

KAYNAKLAR

- Anşin R (1993) Tohumlu bitkiler. Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Yayın No: 19, K.T.Ü. Basımevi, Trabzon.
- Barbouts I, Kamperidou V, Economidis G (2023) Handcrafted reproduction of a 17th century bema door supported by 3d digitization and CNC machining. *Applied Sciences*, 13(21): 11690.
- Bozkurt AY (1992) Odun anatomisi. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Yayın No: 415, İstanbul.
- Bozkurt Y, Erdin N (1989) Ticaretle önemli yabancı ağaçlar. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınları.
- Brecher C, Vitr M, Wolf J (2006) Closedloop CAPP/CAM/CNC process chain based on STEP and STEP-NC inspection tasks. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 19 (6): 570-580.
- Chang CJ, Shao CH (2023) The application of topology in 3D modeling-using Zbrush as an example. In 2023 12th International Conference on Awareness Science and Technology (iCAST), pp: 7-10.
- Çakıroğlu EO (2022) Tarihi ve kültürel mimari yapılardaki motiflerin CNC ahşap işleme olanakları kullanılarak modern yapılarda uygulanması: Amasya Mehmet Paşa Cami Örneği. Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Doktora Tezi, Düzce.
- Çakıroğlu EO, Demir A, Aydın İ (2019) Determination of the optimum feed rate and spindle speed depending on the surface roughness of some wood species processed with CNC machine. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 4(4): 598-601.
- Çakıroğlu EO, Taşdemir T, Çakıroğlu B (2023) Geleneksel türk mimarisi motiflerinin 3D CNC teknolojisi ile ahşap kapılarda tasarımı ve uygulanması: Bafra Kongre Merkezi Örneği. Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Ormancılık Dergisi, 19(2): 143-162.
- Demir A, Cakiroglu EO, Aydın I (2022) Determination of CNC processing parameters for the best wood surface quality via artificial neural network. *Wood Material Science and Engineering*, 17(6): 685-692.
- Elosua AB, Aguirre ME, García DA (2019) Evolution of drawing and sketching with the use of zbrush and the live boolean tool= Evolución del dibujo y abocetado con el uso de zbrush y la herramienta buleana en vivo. *Building and Management*, 3(3): 34-41.
- Ertan AP, Önat S (1993) Kestane odununun teknolojik özellikleri ve kestane ağacının kullanım yerleri. *Orman Mühendisliği Dergisi*, 8: 29-32.
- Erzincan M (2018) 3D programlarının heykel sanatına etkisi bağlamında Z-Brush uygulama örnekleri. Atatürk Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Erzurum.
- Felek SÖ (2020) A new era in furniture production: 3D printer in international conference on knowledge and innovation in engineering. *Science and Technologia*.
- Hochuli A, Soppa K (2022) Wood bonds wood: the use of digital 3D technology and a cellulose-based adhesive to glue a separated joint on a medieval limewood relief.
- Hu T, Wang W (2023) 3D image reconstruction of architectural model based on 3D printing technology. *Intelligent Buildings International*, 1-13.
- İşbilir S (2023) Tarihi osmanlı çeşmelerinin 3 boyutlu dijital modellenmesi için bir yöntem önerisi. ASCAAD 2023 Conference, 90-108.
- Karagözoğlu N (2018) The use of the life stories of female heroes to be gained the value of patriotism in social studies courses. *International journal of Field Education*, 4(2): 97-110.
- Kochov A, Stoleska L (2022) Methodology of reverse engineering implemented in the process of digitalization and conservation of wooden carvings. *Tehnički glasnik*, 16(1): 121-128.
- Krauss R (2002) Alana yayılan heykel. *Sanat Dünyamız*, S: 82, İstanbul.
- Kum Ö (2022) Kültürel mirasın fotogrametrik yöntemle 3D modellenmesi: Tokat yazma kalıbı örneği. *Türkiye Bilimsel Araştırmalar Dergisi*, 7(1): 237-252.
- Lemaignan G (1986) Atlas Des Bois Tropicaux Tome I- Afrique. ATIBT (Association Internationale Technique des Bois Tropicaux): 176-177.
- Oral B (2017) Zonguldak ve Karabük kentlerindeki anıt heykellerde işçi temsili. *Erdem*, (73): 111-148.
- Raja V, Ferandes K (2012) Reverse engineering, an industrial perspective. Springer, UK.
- Remic K, Merhar M (2020) Optimizacija CNC tehnologije pri izdelavi umetniškega izdelka optimization of CNC technology in the manufacturing process of an artistic product. *Les/Wood*, 69(2): 71-81.
- Saraçoğlu A (2015) Divriği Ulu Camii ve Şifahane taç kapı süslemelerindeki motiflerin kuyumculukta kullanılan (CAD-CAM) bilgisayar teknolojileriyle takıya aktarılması. Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Sarıışık G (2021) Investigation on cutting parameter models and processability index in 3D marble products with milled tools. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(18): 1854.
- Sözen M, Tanyeli U (1994) Sanat kavram ve terimleri sözlüğü. Remzi Kitabevi Yayınları, İstanbul.
- Tekiner A (2010) Atatürk heykelleri. İstanbul: İletişim Yayınları.
- URL-1 https://tr.wikipedia.org/wiki/Şerife_Bacı, Erişim tarihi 12.01.2024.
- URL-2 https://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/kastamonu/gezilecek_yer/ataturk-ve-seht-serfe-baci-aniti, Erişim tarihi: 15.01.2024.
- URL-3 <https://www.kastamonu.bel.tr/v2/portfolio/ataturk-ve-sehit-serife-baci-aniti/>, Erişim tarihi: 21.02.2024.
- URL-4 https://www.canon.com.tr/for_home/product_finder/cameras/digital_slr/eos_750d/specifications.html, Erişim tarihi: 24.01.2024.
- URL-5 <https://www.artstation.com/umutmorkan>, Erişim tarihi: 10.03.2024.
- URL-6 <https://hexagon.com/products/product-groups/computer-aided-manufacturing-cad-cam-software/alphacam>, Erişim tarihi: 05.02.2024.
- URL-7 <https://www.alvar.com.tr/yazilim/alphacam>, Erişim tarihi: 17.03.2024.
- URL-8 <http://www.gamamekatronik.com/icerik/41/cnc-ahsap-isleme-megatron-tezga-hi.html>, Erişim tarihi: 15.01.2024.
- URL-9 <https://www.alphacam.com/ALPHACAM-router/>, Erişim tarihi: 15.01.2024.
- Uslu A, Uysal M (2022) Kitle kaynaklı insansız hava aracı verileri kullanılarak ahşap eserlerin 3B modellenmesi: Truva Atı örneği. *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 5(2): 155-166.
- Xiao D (2000) CAD/CAM of 3D sculptured surfaces, advances in manufacturing technology. Perryman R and Ellis C D (Eds), 16th National Conference on Manufacturing Research, University of East London, 5-7: 469-474.
- Yıkaroğlu N (2010) Maya Zbrush Karakter Modelleme. İstanbul: Kodlab Yayın Dağıtım Yazılım ve Eğitim Hizmetleri.
- Zencirkıran A, Berkli Y (2022) Erzurum'da anıt eserlere yansıyan türk kadını imgesi. *Ekev Akademi Dergisi*, (89): 1-24.