



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Derleme Makalesi

Ahşap Yüzeylerde Boya/Vernikleri Temizlemek İçin Kullanılan Çevreci Yöntem ve Medyalar

İzham KILINÇ^{a,*}, Mehmet BUDAKÇI^b, Mustafa KORKMAZ^b

^a Tasarım Bölümü, İç Mekan Tasarımı Programı, TBMYO, Batman Üniversitesi, Batman, TÜRKİYE

^b Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Bölümü, Orman Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: izham.kilinc@batman.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1038859

ÖZ

Doğal ve organik bir yapıya sahip olan ağaç malzeme her ne kadar dış etkilere karşı kendisini koruyacak birtakım özelliklere sahip olsa da harici etkilere karşı uzun süre dayanamaz. Bu nedenle ya empenye edilmekte ya da yüzeyleri koruyucu katmanla (boya/vernik) kaplanmaktadır. Ağaç malzeme yüzeylerine uygulanan bu koruyucu katmanlar, zamanla koruyucu özelliğini yitirebilmekte, malzemenin dayanımını, kullanım ömrünü azaltmakta ve estetik olarak kötü görüntüye neden olabilmektedir. Bu yüzden, eskimiş koruyucu katmanların ahşap yüzeylerinden kaldırılarak gerekli bakımların yapılması ve yeniden koruyucu katman uygulanması gerekmektedir. Koruyucu katmanların ağaç malzeme yüzeyine ve çevreye zarar vermeden temizlenmesi oldukça zor ve zahmetli bir işlem olmakla birlikte, günümüzde kullanılan birçok yöntem ve temizleme gereci bulunmaktadır. Bu çalışmada, ağaç malzeme yüzeylerindeki koruyucu katmanların temizliğinde sıkça tercih edilen çevreye duyarlı yöntem ve temizleme medyaları ele alınmıştır. Bu çalışmanın temel amacı, ahşap yüzey temizliği alanındaki araştırmalar ile elde edilen bilgi ve tecrübeleri topluma tek kaynak üzerinden aktarmak ve böylece araştırmacı ve uygulayıcıların literatüre ulaşmasını kolaylaştırmaktır.

Anahtar Kelimeler: Ağaç malzeme, Boya, Vernik, Yüzey temizleme yöntemleri, Kumlama medyaları

Environmental Methods and Media Used to Clean Paint/Varnish on Wooden Surfaces

ABSTRACT

Although the wood material, which has a natural and organic structure, has some properties that will protect itself against external factors, it loses these properties over time. For this reason, it must be impregnated and/or its surfaces must be covered with protective layers (paint/varnish). These protective layers can lose their protective properties over time, reducing the strength and service life of the material. In addition, this situation may cause wood material to look bad aesthetically. For this reason, it is necessary to remove the layers that have lost their protective function, to perform the necessary maintenance and to re-apply a protective layer. Although it is an exceedingly difficult and laborious process to clean the worn protective layers without damaging the wood surface and the environment, there are many methods and tools used today. In this study, environmentally friendly methods and blasting media that are frequently preferred for cleaning the protective layers on wooden material surfaces are discussed. The main purpose of this paper is to compile the knowledge and experience obtained from the studies in the field of wood surface cleaning and thus to facilitate the researchers and practitioners to reach the literature.

Keywords: Wood material, Paint, Varnish, Surface cleaning methods, Blasting media

I. GİRİŞ

Ağaç malzeme mühendislik ve yapı uygulamalarında sıklıkla kullanılan çok yönlü doğal bir malzemedir. Sahip olduğu benzersiz özellikleri nedeniyle uygulama alanlarında önemini korumakta ve hammadde olarak yaklaşık 10.000 farklı kullanıma sahiptir [1], [2]. Kullanım alanlarının çeşitliliği nedeniyle, ahşap ve ahşap esaslı ürünleri karşılaştığı etkilere karşı korunur hale getirmek bir zorunluluk olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle, ağaç malzeme yüzeylerine boya ve vernik gibi koruyucu katmanların uygulanması sıkça tercih edilen yöntemlerdendir [3]. Ancak bu koruyucu katmanlar da kullanım yerlerinde maruz kaldıkları harici etkilere bağlı olarak zamanla bozulabilmekte ve koruyucu özelliklerini kaybedebilmektedir. İşlevini kaybeden koruyucu katmanların malzeme yüzeyinden temizlenmesi ve daha sonra yeniden koruyucu katman uygulanması malzemenin kullanım ömrünü uzatmak için olmazsa olmaz bir gerekliliktir.

Ağaç malzeme yüzeylerinden koruyucu özelliğini kaybetmiş katmanların temizlenmesi için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Boya kazıyıcı aletler, tel ve zımparalar gibi mekanik temizleyiciler ile gerçekleştirilen geleneksel yöntemlerin yüksek iş gücü ve zaman gerektirmesi, alternatif yöntemlerin geliştirilmesinde önayak olmuştur. Daha sonra geliştirilen ve koruyucu katmanın kimyasal yapısını bozarak yüzeyden temizlenmesini hedefleyen kimyasal temizleme yöntemleri, çevre ve insan sağlığına olumsuz etkileri olan kimyasal bileşenler ve toksik atıklar içermeleri nedeniyle araştırmacıları çevre ve insan dostu yöntemlerin arayışlarına itmiştir [4].

Günümüzde artan çevre bilinci ile çevreye zarar vermeyen boya temizleme yöntemleri gün geçtikçe daha fazla çalışmaya konu olmaktadır. Literatürde, çevreye duyarlı yüzey temizleme işlemleri olarak; basınçlı su, kuru buz parçacıkları, sodyum bikarbonat, plastik ve bitki esaslı aşındırıcı (medya) vb. basınçlı hava yardımı ile yüzeye püskürtülerek temizleme yapabilen basınçlı sistemler ve termal ayrıştırma ile yüzey temizleme uygulamaları ana çalışma konuları olarak göze çarpmaktadır [5]–[8]. Basınçlı sistemlerde, basınçlı hava sayesinde temizlenecek yüzeyin türüne ve sertliğine göre farklı tipteki medyalar, sulu ya da susuz olarak malzeme yüzeyine tatbik edilmektedir. Bu sistemler ile uygulama basıncı, medya tipi, nozul çapı, malzeme ile nozul arasındaki mesafe, temizleme açısı gibi parametreler değiştirilerek farklı yüzeyler için uygun bir temizleme yöntemi belirlenebilmektedir. Termal ayrıştırma yöntemlerinde ise boya alt tabakasına belirli koşullar altında iletilen enerji, boyaların iç moleküler bağları ile boya – katman arasındaki bağın kopmasına olanak sağlamakta ve bu sayede temizleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Uygulanmaları nispeten kolay olan bu yöntemler, geleneksel temizleme yöntemlerine göre; çevre ve insan dostu olmaları, zaman ve işçiliği daha verimli kullanılabilmeleri, koruyucu katmanları ahşap malzeme yüzeylerinden hassas, hızlı, etkili ve zarar vermeden temizlenmesini sağlamaları gibi nedenlerle oldukça fazla tercih edilmektedir. Bu çalışmada, ağaç malzeme yüzeylerindeki koruyucu katmanların temizliğinde kullanılan çevreye duyarlı yöntem ve medyalara ait bir derleme çalışması yapılması hedeflenmiştir.

II. BASINÇLI SİSTEMLER İLE YÜZEY TEMİZLEME

1990'lı yılların başlarında genel olarak uçak yapımında kullanılan kompozit malzeme yüzeylerinden boya temizlemek için kullanılan bu yöntem, uygulama ortamındaki çeşitli olumsuzlukları (kimyasal boya sökücülerin çevreye ve insan sağlığına vermiş oldukları zararlardan dolayı) gidermek ve daha verimli bir çalışma ortamı sunmak amacıyla kimyasal boya temizleme işlemlerine alternatif olarak ortaya çıkmıştır [9], [10]. Basınçlı sistemler, basınçlı hava ile yüzeye su ve mikron boyutundaki medyaların kuru veya su ile karıştırılarak püskürtülmesi olarak tanımlanabilir. Başarılı bir yüzey temizleme işlemi gerçekleştirmek için bu yöntemlerde kullanılan medyaların çeşidi, püskürtmede kullanılan havanın basıncı ve tercih edilen nozul tipi yüzeyin aşındırılarak temizlenmesinde önemli rol oynamaktadır.

A. SU İLE YÜZEY TEMİZLEME

Su ile yüzey temizleme, farklı uygulama alanlarında temizleme işlemini gerçekleştirmek için geliştirilmiş bir yöntemidir. Bu sistemde kullanılan su tek başına basınçlı havanın yardımı ile ya da hava yardımı olmadan (havasız) yüzeye püskürtülerek (Şekil 1) temizleme işlemi gerçekleştirilir. Geleneksel (boya kazıyıcılar, tel ve zımparalar, kimyasal boya sökücüler vb.) yüzey temizleme yöntemleriyle karşılaştırıldığında, suyun tek başına kullanılması ve ortamda toza neden olabilecek medyalar kullanılmaması sebebiyle uygulama anında ve sonrasında herhangi bir toksik etki bırakmaz, toz oluşturmaz ve işlemi gerçekleştiren uygulayıcıların sağlığı açısından da bir risk teşkil etmez [11]. Yakın zamana kadar bu yöntem, işlem hızının düşük olması ve kullanılan yüksek basınçlardan dolayı çok fazla uygulama imkânı bulamamıştır. Teknolojik gelişmeler ile kullanılan makinalardaki iyileşmeler ve çalışma basınçlarındaki optimum dengenin sağlanması ile daha yaygın bir kullanım alanı bularak birçok yüzeyden boya, kir, pas vb. maddeler başarılı bir şekilde çıkarılarak malzeme yüzeyleri geleneksel yöntemlere göre daha hassas bir şekilde temizlenmektedir [5]. Yapılan bir çalışmada, ahşap bir teknenin güvertesinde bulunan eskimiş ve oksitlenmiş boya kaplaması yüksek basınçlı su kullanılarak temizlenmiş ve eskimiş katmanın başarılı bir şekilde ağaç malzeme yüzeyinden çıkarıldığı belirtilmiştir [12]. Odun-su ilişkisi göz önünde bulundurulduğunda bu işlemde kullanılan suyun ağaç malzeme ile teması sonrasında ağaç malzemede istenmeyen durumlar meydana gelebilir. Ayrıca, kullanılan basınçların çok yüksek olması sebebiyle ağaç malzemede kütle kaybı meydana gelebileceği ve yüzey profilinin olumsuz etkilenebileceği unutulmamalıdır.



Şekil 1. Basınçlı su ile ahşap yüzey temizliği [13].

B. SULU MEDYA İLE YÜZEY TEMİZLEME

Basınçlı havanın yardımı ile su ve medya karışımını malzeme yüzeyine püskürterek gerçekleştirilen bir temizleme sistemidir. Karışım haznesine konulan su ve medya karışımı vakumla kumlama tabancasına aktarılır. Kumlama tabancasında bulunan karışım odasında basınçlı hava ile birleşerek yüksek güçte akış oluşturur. Bu akış, nozül adı verilen başlıkta hızlanarak temizleme işleminde etkili bir püskürtme imkânı sağlar [14]. Kuru medya püskürtmeden ayrılan en temel farklılığı, önemli ölçüde daha az toz oluşturmasıdır. Bu yöntemde su, medyalara bağlanarak onları ağırlaştırır ve etrafa yayılmalarını önler. Genellikle açık alanlarda, havalandırmanın yeterli olmadığı yerlerde ve toksik maddeler içeren koruyucu katmanları temizlemek için tercih edilmektedir. Ancak işlem sonrasında yüzeylerde kalan medya artıklarını temizlemek için basınçlı su ile yeniden temizleme işlemi yapmak gerekmektedir [15].

C. KURU BUZ (CO₂) İLE YÜZEY TEMİZLEME

Kuru buz pelletleri ile yüzey temizleme işleminin bilinen ilk örnekleri Amerikan havacılık şirketi Loughhead Aircraft Manufacturing Company tarafından 1980'lerin başında yapılan çalışmalara dayandırılmaktadır [7]. Malzeme yüzeylerinin hassas, etkili, hızlı ve ekonomik bir şekilde nasıl temizlenebileceği, çevre ve güvenlik risklerinin en aza nasıl indirgeneceği üzerine yapılan çalışmalar bu yöntemin gelişmesine katkı sağlamıştır [16].

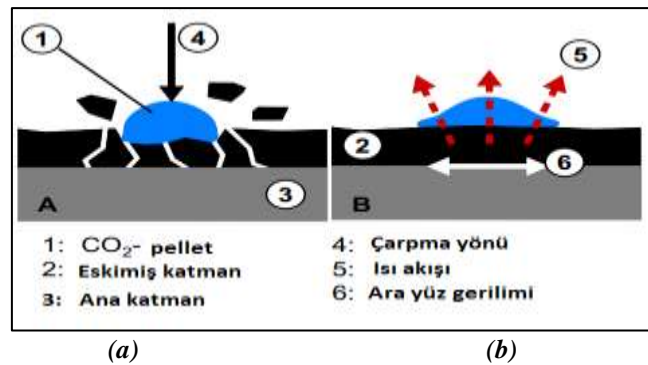
Kuru buz ile yüzey temizleme işleminde kullanılan kuru buz pelletleri uygulama sonrası süblimleşmeleri nedeniyle geri dönüştürülemez özelliindedir (Şekil 2) [17]. Bu yöntemin en belirgin özelliği, havada %0.03 oranında bulunan karbondioksit (CO_2) gazının kullanılmasıdır. Bu gaz atmosferde normal koşullarda -78.5 °C'lik bir sıcaklığa sahiptir (Tablo 1). Belirli bir sıcaklığa ulaştığında gaz formundan uzaklaşarak katı hale geçer. Gazın bu katı şekli “Kuru Buz” olarak bilinmektedir. Yüzey temizleme işlemlerinde kullanılan kuru buz pelletleri, belirli bir basınç altında preslenerek elde edilir. Bu yöntemin temizleme etkisi büyük oranda işlemin gerçekleştirildiği çevre koşulları ile mekanik ve termal süreçlerin kombinasyonuna dayanmaktadır [18]. Mekanik etkide, püskürtme işlemi sırasında kuru buz pelletleri, basınçlı hava etkisi ile 100 ila 300 m/s'lik bir hıza ulaşarak yüzeye çarparlar. Çarpma sırasında kinetik enerjilerini yüzeyde serbest bırakarak termal bir temizleme işlemi gerçekleştirirler (Şekil 3). Ayrıca kuru buz pelleti etki sırasında neredeyse anında süblimleşerek havaya karışır [6]. Temizlenmesi düşünülen yüzeye uygulandıklarında temas ettikleri yüzeyin alt ve üst katmanlarında bir sıcaklık farkı oluştururlar. Bu durum, boya katmanında iç gerilmelere sebep olarak katman yapısını bozar ve yüzey ile olan adezyon kuvvetinin bozulmasına sebep olur. Böylece boya katmanının yüzeyden ayrılması sağlanır.



Şekil 2. (a) Kuru buz pelletleri [17] ve (b) temizleme işlemi [19].

Tablo 1. Kuru buzun (CO_2) özellikleri.

| Özellikler | Birim | Değer |
|----------------------------|-------------------|-------|
| Molekül ağırlığı | g/mol | 44.1 |
| Yoğunluk (katı)- 78.5 °C | kg/m ³ | 1.562 |
| Yoğunluk (sıvı) - 18 °C | kg/m ³ | 1.022 |
| Yoğunluk (gaz) 0 °C | kg/m ³ | 1.977 |
| Erime noktası | °C | -56.5 |
| Kaynama noktası | °C | -78.5 |



Şekil 3. (a) Kuru buz ile temizleme işleminin termal ve (b) mekanik etkisi [17].

Temizleme işlemi kalıntı içermez ve tahribatsızdır. İşlem sonrası ortamda oluşan eskimiş katman birikintileri havalandırma ile veya süpürülerek ortamdan uzaklaştırılabilir. Kuru buz pelletleri üzerine yapılan son araştırmalar pelletlerin sertliğinin 1.5 Mohs olduğunu göstermektedir [17]. Kuru buz

pelletleri ile yapılan yüzey temizleme işlemlerinde kullanılan düşük basınçlar sayesinde, hızlı ve hassas temizleme işlemi gerçekleştirilir. Temizlenecek malzemelerin yerinde temizlenmesine olanak sağlar ve her türlü yüzeyden eskimiş katmanları temizlemek mümkündür [20]. Bu yöntem, solvent veya herhangi bir kimyasal içermemesi ve kuru buz pelletlerinin temizleme işlemi sırasında katı halden doğrudan gaz haline geçerek süblimleşmesi sebebiyle tamamen çevreci ve "yeşil" bir süreç olarak adlandırılmaktadır [8]. Kuru buz temizleme kokusuzdur, ahşaba nem kazandırmaz ve işçilere tehlikeli solüsyon damlatmadan temiz bir şekilde yapılabilir. Çam, köknar ve sedir dahil her türlü ağaçta kullanılabilir. Kuru buz, temizlenmesi veya soyulması en zor ahşap türlerinden biri olan tik ağacının temizliğinde de işe yarar [20].

Yapılan bir çalışmada, metal, çelik ve alüminyum malzemelerin yüzeylerine organik bileşenler içeren boyalar uygulanmış ve kuru buz pelletleri püskürtülerek temizleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Temizleme işlemi gerçekleştirilen numunelerdeki yapısal değişimleri incelemek üzere taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve X-ışını kırınımı analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda kuru buz ile yüzey temizlemenin malzemelerin yapısal diziliminde herhangi bir hasar oluşturmadığı ve organik kaplamaların üç malzeme yüzeyinden de etkili bir şekilde çıkarıldığı belirtilmiştir. Ayrıca, pelletlerin yüzeye temas ettikleri anda süblimleşmeleri nedeniyle temizlenen katmanda bulunan boşluklara nüfuz etmedikleri ve dolayısıyla malzemede renk değişimlerine neden olmadıkları belirtilmiştir [21]. Endüstriyel ölçekli yüzey temizliği işlemlerinde bu yöntemin kullanılması oldukça caziptir. Ancak uygulama sırasında ortamda CO₂ yoğunlaşmasının operatör üzerinde bazı olumsuz etkileri vardır. Bunlar donma (doğrudan cilde uygulandığında) ve ortamdaki karbondioksit miktarının artarak oksijen miktarının azalmasıdır [22]. Tüm bunlara ek olarak, özellikle büyük çaplı işlerde kuru buz pelletleri kullanmak lojistik zorluklar ortaya çıkarmakta ve uzun süre işlem görmeden bekletilmeleri durumunda kuru buz pelletlerinin verimliliği düşmektedir [23].

D. SODYUM BİKARBONAT (NaHCO₃) İLE YÜZEY TEMİZLEME

Sodyum bikarbonat 1791 yılında Fransız kimyager Nicolas Leblanc tarafından üretilmiştir. Günümüzde soda ve soda külü olarak da isimlendirilen sodyum bikarbonat dezenfektanlarda, deodorantlarda, diş macunlarında ve temizlik malzemelerinde kullanılmaktadır. Koruyucu özelliğini yitirmiş katmanların temizlenmesinde kullanılmaya başlaması ise Church and Dwight Company, Inc., (Princeton, New Jersey) ve Schmidt Manufacturing, Inc., (Houston, Texas) tarafından Amerikan Çevre Bakanlığı'nın talebi doğrultusunda uzay araçları ve bu araçlara ait diğer sistemlerinin temizlik ve bakımı için geliştirilmiştir. Sodyum bikarbonat, kristalize yapıda, farklı boyutlarda ve beyaz toz şeklinde üretilmektedir. Suda çözünebilen, kokusuz, yanmayan, alevlenmeyen, temizleme sırasında ortama ve sağlığa zararlı gaz çıkışı olmayan, açık ya da kapalı ortamlarda kullanılma imkânı olan sodyum bikarbonat sayesinde, hava basıncı ile istenilen yüzeye püskürtülerek işlem gerçekleştirilmektedir [5]. Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) onaylı olduğu için yüzey temizliği gerektiren bütün malzeme yüzeylerinde kullanılmaktadır. Ahşap malzemeler, eski eserler, taş, beton, seramik, çelik vb. malzemeler, askeri mühimmatlar ve genel amaçlı işlerde kullanılmak üzere farklı formüllerde geliştirilmiştir [5], [22]. Sodyum bikarbonat ile yüzey temizleme, plastik medyalar ile yapılan temizleme işlemine benzer şekilde çalışmaktadır [23]. Sulu olarak uygulandığında başarılı bir temizleme kabiliyetine sahip olmakla birlikte, tekrar kullanılamaması ve büyük oranda tüketimi sebebiyle yüksek işletme maliyetine neden olabilmektedir. Sodyum bikarbonat ile yapılan temizleme testleri sonucunda, özellikle işlenmiş malzeme yüzeyleri gibi zorlu yüzeylerde bulunan kir, yağ ve boya gibi katmanların temizlenmesinde çok etkili bir yöntem olduğu ortaya konulmuştur [24]. Yapılan bir çalışmada, herhangi bir koruyucu katman uygulanmamış ağaç malzeme yüzeyine sodyum bikarbonat ve plastik medyalar 65 m/s ile 110 m/s arasında değişen hızlarda püskürtülmüş ve ahşap malzeme yüzeyindeki erozif aşınma miktarı araştırılmıştır. Çalışma sonucunda, sodyum bikarbonatın plastik medyalara göre ahşap malzeme yüzeylerine daha az zarar verdiği belirtilmiştir [25]. Şekil 4'te sodyum bikarbonat ile temizlenmiş bir ahşap malzemenin yüzeyi görülmektedir.



Şekil 4. Sodyum bikarbonat ile ahşap yüzey temizliği [26].

E. BİTKİ ESASLI MEDYALAR İLE YÜZEY TEMİZLEME

Temizlenecek malzeme yüzeyine püskürtülen bitki esaslı medyaların birçoğu meyve kabuklarından elde edilen organik ürünlerdir. Bu organik medyalar, düşük sertliğe ve düşük yoğunluğa sahip olmaları sebebiyle genellikle ahşap malzeme dahil birçok endüstriyel malzeme yüzeyinde kullanılmaktadır. Genel olarak malzeme yüzeylerinde bulunan kiri, eskimiş boya katmanlarını, ahşap gemi, tekne ve motorlardan yağ birikintilerini çıkarmak için kullanılmaktadır [27].

E.1. Ceviz Çekirdeği Granülü

Ceviz çekirdeği granülü, öğütülmüş veya ezilmiş ceviz çekirdeklerinden elde edilen sert ve lifli bir üründür. Ceviz içi çıkarıldıktan sonra elde edilen ceviz çekirdekleri ezilip elenerek çeşitli büyüklükte granül (Şekil 5.a) haline getirilerek yüzey temizleme işlemleri için kullanılmaktadır. 7.5 pH derecesine sahip olan ceviz çekirdeği granülü, Mohs skalasında 2.5-3 Mohs sertliğine sahip olması sebebiyle yumuşak medya olarak adlandırılmaktadır. Köşeli geometrik şekli, 1.3 g/cm³ özgül ağırlığa sahip olması ve potansiyel enerjisinin yüksekliği sebebiyle basınç altında etkili bir temizleme imkânı sağlar. Tüm bu özelliklerinin yanı sıra, toksik olmayan, biyolojik olarak parçalanabilen yapısı ve yumuşak aşındırma özelliği sebebiyle iç mekân kullanımları için de güvenli ve hassas bir yüzey temizleme işlemi sağlamaktadır [28]. Ayrıca, kum veya silika ürünleri ile yapılan kuşlama işlemlerinde meydana gelebilecek silikoz hastalığına da neden olmadığı yapılan araştırmalar sonucunda ortaya konulmuştur. Ceviz çekirdeği granülü, metal, ahşap, alüminyum, pirinç, taş, plastik ve fayans dahil hemen hemen her yüzeyden boya, kir, küf ve is kalıntılarını temizlemek için kullanılabilen bir medya olarak tercih edilmektedir. Bunlara ek olarak, binalardan grafitilerin temizlenmesi, yangın sonrası restorasyon ve metal yüzeylerindeki karbon birikintilerinin temizlenmesinde de kullanılan oldukça başarılı bir medyadır [29]. Yapılan bir çalışmada, herhangi bir koruyucu katman uygulanmamış dört farklı ağaç türü (beyaz meşe, beyaz çam, siyah kiraz, akçaağaç) üzerine, 5 farklı medya (ceviz çekirdeği, plastik tip II, plastik tip IV, alüminyum oksit ve silisyum karbür) çeşidi aynı koşullar altında püskürtülmüş ve ağaç malzeme yüzeylerindeki erozif aşınma miktarı araştırılmıştır. Çalışma sonucunda, ceviz çekirdeği granüllerinin kullanılan diğer medya çeşitlerine göre tüm ağaç malzeme yüzeylerinde daha az erozif aşınma o belirtilmiştir [25]. Şekil 5.b' de bir gemi gövdesi yüzeyinde ceviz çekirdeği granülü kullanılarak yapılan temizleme işlemi görülmektedir.



Şekil 5. (a) Ceviz kabuğu granülleri [30] ve (b) Temizleme işlemi.

E.2. Buğday Nişastası

Buğday nişastası toksik olmayan ve biyolojik olarak parçalanabilir özelliğe sahip bir medyadır. Püskürtülerek yapılan boya temizleme işlemi çevre dostudur. Buğday nişastası Mohs skalasında 2.5-3.5 aralığında, 6.5 pH derecesine sahip, özgül ağırlığı 1.6 g/cm^3 olan toz şeklinde bir aşındırıcıdır [30]. Plastik medyalara çok benzeyen kristal medya parçacıklar olarak bilinmektedir. Buğday nişastası medyalar, plastik medyalar için tasarlanmış basınçlı kuru boya temizleme sistemleri ile kullanılabilir. Buğday nişastası ile yüzey temizleme işlemi, ahşap, kompozit, aramid, grafit, cam elyafı gibi malzemelerin hassas yüzeylerinden boyanın çıkarılması gibi özel uygulamalar için de kullanılmaktadır [31]. Buğday nişastası ile tek seferde bir boya tabakasını kaldırmak, diğer plastik medyalara kıyasla çok daha kolay ve çevrecidir [32]. Yapılan bir çalışmada, karbon, cam ve aramid elyaf kompozitleri ile beraber alüminyum malzemelerin yüzeylerine ilk olarak epoksi astar ve ardından üretan son kat boya uygulaması gerçekleştirilmiştir. Daha sonra bu boyalı malzemeler buğday nişastası püskürtülerek temizlenmiştir. Sonuç olarak, doğru temizleme açısı, basınç, kütle akış hızı ve parçacı boyutu ile buğday nişastasının yüzeylere uygulanan üretan son kat boyayı etkili ve hızlı bir şekilde temizlediği ve ayrıca alt katmanda bulunan epoksi astara herhangi bir zarar vermediği bildirilmiştir [33].

E.3. Fındık Kabuğu Granülü

Fındık kabuğu granülü, fındık kabuklarının farklı malzeme türleri üzerinde kullanımı için çeşitli boyutlarda (Şekil 6) öğütülmesi ile elde edilir. Mohs skalasında 2.5-3.5 aralığında bulunan fındık kabuğu granülü, 7.5 pH, 1 g/cm^3 özgül ağırlığa sahiptir [34]. Yapı malzemelerinin yüzeylerinde bulunan eskimiş boya vb. katmanların temizlenmesinde kullanılmaktadır. Temizleme işlemi tehlikeli atık oluşturmaz, çevre dostudur ve biyolojik olarak parçalanabilir yapıya sahiptir [31]. Literatür incelendiğinde fındık kabuğu granülü ile yapılmış yüzey temizleme işlemine ait akademik bir bilgiye rastlanılmamıştır. Ancak, tarihi eser temizliği yapan restorasyon firmalarının yapmış olduğu uygulamalara bakıldığında restorasyon süreçlerinde kullanıldığı görülmektedir [35]. Fındık kabuğu granülü ile yüzey temizleme işleminde, diğer bitkisel esaslı medyalarda olduğu gibi ahşap malzeme, heykel, tarihi eserler, alüminyum, fiberglas, bina cepheleri, grafitler gibi yüzeylerin temizlenmesi gerçekleştirilebilmektedir [36].



Şekil 6. Yüzey temizleme işlemi için öğütülmüş fındıkkabuğu granülü.

E.4. Mısır Koçanı Granülü

Mısır koçanı granülü, mısır bitkisinin odunsu koçanından yapılan yumuşak, düşük yoğunluklu bir üründür. Mısır tohumu çıkarıldıktan sonra, koçanlar öğütülmek için öğütme değirmenine aktarılır ve ardından yüzey temizleme endüstrisi için çeşitli boyutlara getirilerek işleme sunulur (Şekil 7). 7 pH derecesine sahip mısır koçanı granülü, 2-2.5 aralığında Mohs değerine ve 1.2 g/cm^3 özgül ağırlığa sahiptir [37]. Mısır Koçanı granülü, toksik olmayan, biyolojik olarak parçalanabilen ve tamamen çevre dostu olan bir malzemedir. Temizleme işleminde kullanılan mısır koçanı birden fazla kullanım için geri dönüştürülebilir ve yeniden kullanım sağlanabilir [38]. Mısır Koçanı granülü ile yüzey temizleme işlemi, özellikle bina dış cephelerinde, ahşap yüzeylerde (Şekil 8), alüminyum, fiberglas ve teknelerdeki eskimiş boya katmanlarının temizlenmesinde kullanılan bir yöntemdir [39]. Yumuşak yapısı sayesinde, doğru parametrelerin uygulanması ile malzeme yüzeylerine zarar vermeden temizlik yapabilmeye imkan sağlamaktadır.



Şekil 7. Yüzey temizleme işlemi için öğütülmüş mısır koçanı granülü.



Şekil 8. Mısır koçanı granülü ile işlem görmüş ağaç malzeme [40].

E.5.Kayısı Çekirdeği Granülü

Kayısı çekirdeği kabukları büyük oranda lingoselüloz içerir ve çözülmeyen liflerden oluşur. Bu nedenle, karakteristik olarak açık kahverengi renge ve yüksek ısıl değere sahip odunsu bir hammadDEDİR. Mohs skalasında 3-4 aralığında bulunan kayısı çekirdeği granülü (Şekil 9), 5 pH derecesine ve 1.4 g/cm³ özgül ağırlığa sahiptir [28]. Kullanılan diğer bitki esaslı medyalar gibi toksik olmayan, sürdürülebilir ve çevre dostudur. Literatür incelendiğinde kayısı çekirdeği granülü ile yapılan yüzey temizleme işlemlerine ait akademik bir bilgiye rastlanılmamıştır. Ancak, tarihi eser temizliği yapan restorasyon firmalarının yapmış olduğu uygulamalara bakıldığında restorasyon süreçlerinde medya olarak kullanıldığı görülmektedir. Kayısı çekirdeği granülü ile ahşap, metal, alüminyum vb. malzeme yüzeylerinden boya, kir, yağ ve is kalıntılarını başarılı bir şekilde temizlemek mümkündür [41].



Şekil 9. Yüzey temizleme işlemi için öğütülmüş kayısı çekirdeği granülü.

E.6. Diğer Bitki Esaslı Medyalar

Günümüzde farklı bitki esaslı medyalar (şeftali çekirdeği granülü, vişne çekirdeği granülü vb.) konusunda çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Pek çok bitkisel atık medya olarak kullanılabilme potansiyeli barındırmakla beraber, yukarıda açıklanan medyalar günümüzde en çok tercih edilenler olarak karşımıza çıkmaktadır.

III. TERMAL AYRIŞTIRMA YÖNTEMLERİ İLE YÜZEY TEMİZLEME

Son yıllarda hassas ve yüksek verimlilik gibi önemli avantajları nedeniyle termal ayrıştırma yöntemleriyle yüzey temizleme işlemleri ile ilgili pek çok araştırma gerçekleştirilmiştir. Uygulanan diğer temizleme yöntemleriyle karşılaştırıldığında daha çevreci bir yöntem olan termal ayrıştırma, yüzeylerden kaplamaların çıkarılmasında fazlasıyla etkilidir. Oldukça yeni olan bu yöntem, elektronik ve otomasyonun kapsamlı kullanımını sağlayan gelişmiş teknolojilere dayanmaktadır [42]. Boya alt tabakasına belirli koşullar altında radyasyon ile iletilen ısı enerjisi, boyaların iç moleküler bağlarını zayıflatarak yapılarının bozulmasına olanak sağlar. Kullanılan radyasyon türüne göre, termal ve fotoablasyon gibi farklı temizleme işlemleri gerçekleştirilebilmektedir [43].

A. LAZER

Lazer ile yüzey temizleme, son dönemlerde kültür varlıklarının korunmasında da kullanılan temizleme yöntemleri arasında önemli yer edinmiştir. Lazer ile restorasyon işlemlerinin kullanımı 1970'li yıllarda başlamıştır. Ancak, lazer ile yüzey temizleme yönteminin üzerine yapılan bilimsel çalışmalarla etkinliğinin ortaya konulduğu 1990'lu yılların sonunda daha fazla tercih edilmiştir. Lazer emisyon parametreleri, çeşitli yüzeylerin hassas ve etkili bir şekilde temizlenmesini sağlamak amacıyla optimize edilerek tasarlanmıştır [44]. Lazer ile yüzey temizleme, çoğunlukla açık renkli mermer yüzeylerinde

bulunan siyah lekelerin temizlenmesinde kullanıldığı görülmektedir. Ancak son zamanlarda gelişen teknoloji ile ortaya çıkan yenilikler ve bilimsel çalışmalar sayesinde yaldızlı bronzlar, ahşap, seramik, kumaş, duvar resimleri gibi diğer malzeme yüzeylerinde de kullanılmaya başlanmıştır [45]. Metal yüzeyler üzerinde ise lazer ile temizleme uygulaması, ilk olarak yaldızlı bronz çalışması ile somut olarak başlamıştır [44].

Geleneksel temizleme yöntemlerine göre daha verimli olan lazer ile yüzey temizleme işlemi, alt katmana herhangi bir zarar vermeden kontrollü ve etkili bir şekilde uygulanabilmektedir [43]. Organik içerikli yüzey kaplamaları yüksek miktarda organik bileşen barındırdığından, bu bileşenlerdeki işlevsel gruplar UV ışın dalga boylarını yoğun bir şekilde absorbe ederler. Buradan yola çıkarak lazer teknolojileri uygun dalga boyu oranı, aşındırıcı ve titreşim gibi parametreler belirlenebilmektedir. Bu sayede ağaç malzeme yüzeylerinden kirli ve işlevini kaybetmiş katmanların temizlenmesinde kullanılabilir [6], [46]. Bu işlemde lazer, saniyede yaklaşık 1000 kez darbe ile yüzeyde çok etkili ve hızlı temizleme işlemi gerçekleştirir. Boya katmanlarının temizlenmesinde kalınlık ayarlanabilmekte ve vakum etkisiyle ile atıklar temizlenebilir. Ayrıca işlem sonrasında yüzeyde herhangi bir soğutma işlemine ihtiyaç yoktur [6], [47]. Lazer frekansı ve dalga uzunluğu, yüzey temizleme işlemlerinde optimizasyonu belirleyici bir rol oynamaktadır. Örneğin, 532 nm yeşil dalga boyu, biyolojik özellikteki katmanların temizlenmesinde etkilidir [45]. Lazer ile verimli bir şekilde yüzey temizleme işleminin uygulanabilmesinin temel koşulu, işlem gerçekleştirilen yüzey kaplamasının lazer enerjisini etkili bir şekilde emebilmesidir. Uygulama esnasında, lazer enerjisinin bir kısmı kaplama tarafından yansıtılır. Diğer kısmı ise kaplamanın içerisinden geçerek malzeme tarafından emilmektedir. Boyalar temelde dielektrik malzemelerdir ve metaller gibi serbest elektronlara sahip değildirler. Bu nedenle tüm dalga boylarındaki lazer radyasyonunu absorbe edemezler. Genellikle orta kızılötesi ve yakın UV radyasyonunda titreşim ve elektronik uyarımlar gibi absorbe edebilme yeteneğine sahiptirler [48]. Emilen kızılötesi lazer enerjisi, boya kaplamasının sıcaklığını yükseltmektedir. Sıcaklık belirli eşiklerin üzerine çıktığında kohezyon ve adezyon bağları kırılarak erime, süblimleşme, buharlaşma, yanma ve ayrışma gerçekleşerek etkili bir temizleme işlemi yapılabilir [49]. Ancak, kullanılan cihazların oldukça pahalı olması, uygulama işleminin profesyonellik gerektirmesi, bakım ve yazılım maliyetlerinin yüksek olması ve temizleme sırasında kaplama yüzeyinde oluşan ısı ile ortama çözücü buharı salabilmesi bu yöntemin dezavantajlarından bazılarıdır.

Son zamanlarda grafiti (Şekil 10'a) ve duvar yazılarının temizlenmesinde de lazer sistemleri kullanılmaya başlanmıştır. Bu alandaki örneklerden bir tanesi olarak, Floransa'da bulunan Ponte Vecchio'daki turistlerin taşlar üzerine yazdıkları yazıların temizlenmesi gösterilmektedir (Şekil 10'b). İnsanların bilinçsizce davranmaları sonucu, olumsuz etkilenen yüzeyler genellikle taş, tuğla, ahşap gibi malzemelerden yapılmaktadır. Bu malzemelerin çoğu, kirletici boyaların derinlemesine penetre olma ihtimaline sahip absorbe edici yüzeyleri bulunmaktadır. Bu özellik, malzemelerin alt katmanlarına zarar vermeden boyaların tamamen temizleyebilse de oldukça zahmetlidir. Bu durumlarda, yüzey için etkili, hızlı ve verimli sonuçlar ortaya koyan lazer teknolojisini kullanmak gerekmektedir. Lazer temizleme sistemi tek başına veya diğer geleneksel sistemlerle birlikte kullanılabilir [45].



Şekil 10.(a) Lazer ile bir grafitinin silinmesi ve (b) Lazer ile duvar yazılarının kaldırması [45].

B. FLAŞ LAMBA

Bu yöntem Warner Robbins Air Logistics Center (WR-ALC) ve McDonnell Douglas Aircraft Company (McAIR) tarafından darbeli flaş ışık enerjisi ve kuru buz pellet püskürtülmesi şeklinde kombine olarak geliştirilmiştir. Ksenon flaş lambası, boya katmanını temizlemek için gerekli enerjiyi boya üzerine yayarak yüzeyde oluşturulan ısı ile boya katmanını ayırır. Ayrılan boya katmanını temizlemek için kuru buz pelletleri kullanılır [50]. Bütün işlem, yüksek hacim ve hızlı vakum akışının korunduğu bir örtü içerisinde gerçekleşir. Bu akış ile kömürleşen boya kalıntıları filtreler yardımıyla temizlenir. Bu işlem sayesinde yüzey kaplamalarını hassas ve seçici bir şekilde temizleyerek astar kata kadar temizleme işlemi gerçekleştirilebilir. Aralıklı olarak saniyede 4-6 kez flaş ışık etkisi uygulanan bu teknikte, ağaç malzeme yüzeylerindeki eskimiş koruyucu katmanları temizlerken alt katmanın zarar görmemesi için, ağaç malzeme yüzey ısısının 200 °F altında tutulması gerektiği bildirilmiştir [6], [47].

IV. SONUC

Bu çalışmada, ağaç malzeme yüzeylerindeki yaşlanmış koruyucu katmanların temizliğinde sıkça tercih edilen çevreye duyarlı yöntem ve medyalar ele alınmıştır. Kullanılan yöntem ve medyalar incelendiğinde, ahşap yüzeylerde bulunan eskimiş katmanların temizlenmesinde termal ayrıştırma süreçlerinde kullanılan lazer ve flaş lamba ile temizleme yöntemlerinin, malzeme yüzeylerinde bulunan eskimiş katmanları temizlemede etkili oldukları söylenebilir. Ancak, lazer ile yüzey temizlemede kullanılan cihazların oldukça pahalı olması, uygulama işleminin profesyonellik gerektirmesi, bakım ve yazılım maliyetlerinin yüksek olması ve temizleme sırasında kaplama yüzeyinde oluşan ısı ile ortama çözücü buharı salabilmesi bu yöntemin dezavantajlarından bazılarıdır. Flaş lamba ile yüzey temizleme işleminin ise uygulama sonrasında ek bir temizleme işlemi gerektirmesi sebebiyle oldukça zahmetli bir yöntem olduğu söylenebilir.

Basınçlı sistemler ile uygulanan yüzey temizleme işlemlerinde, basınçlı su ile yüzey temizleme işleminin oldukça çevreci bir uygulama olduğu göze çarpmaktadır. Fakat kullanılan yüksek basınç sebebiyle ağaç malzemelerin morfolojisine zarar vereceği düşünülmektedir. Ayrıca odun-su ilişkisi olarak baktığımızda su ile temas ettiğinde, ağaç malzemedeki çalışma meydana gelebilir ve istenmeyen durumların ortaya çıkmasına neden olabileceği söylenebilir. Bir diğer yöntem olan kuru buz ile yüzey temizleme işleminde uygulama sırasında ortamda CO₂ yoğunlaşmasının olumsuz etkileri olduğu belirtilmiş ve özellikle büyük çaplı işlerde kuru buz pelletleri kullanmanın lojistik zorluklar ortaya çıkaracağı, uzun süre işlem görmeden bekletilmeleri durumunda kuru buz pelletlerinin verimliliğinin düşeceği ortaya konmuştur. Sodyum bikarbonat ile yapılan yüzey temizleme işleminin hem sulu hem de kuru olarak uygulama imkânı sunması, çevreye ve insan sağlığına herhangi bir tehdit oluşturmaması ve etkili bir temizleme işlemi gerçekleştirildiği yapılan çalışmalar ile de kanıtlanmıştır. Bitki esaslı medyalar, sürdürülebilir ve geri dönüştürülebilir olmaları, toksik atık oluşturmamaları, yumuşak ve etkili temizleme kabiliyetlerinin bulunmaları sebebiyle ağaç malzeme yüzeylerindeki eskimiş koruyucu katmanların temizlenmesinde uygulanabilecek yöntemlerden biri olarak göze çarpmaktadır. Kullanılmakta olan çevreye zararlı diğer medya türlerinin kullanımlarının sınırlandırılmasına ilişkin ekonomik ve çevresel endişelerin gelecekte sodyum bikarbonat ve bitki esaslı medyaların kullanımının daha yaygın hale gelebileceğinin ve yapılacak çalışmalar ile daha ciddi bir şekilde ele alınabileceğinin göstergesi olarak söylenebilir.

V. KAYNAKLAR

[1] M. Budakçı ve M. Karamanoğlu, "Açık hava koşullarının odunun bazı fiziksel özelliklerine etkileri," *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, c. 14, s. 1, ss. 37-47, 2014.

[2] Y. Örs ve H. Keskin, *Ağaç Malzeme Bilgisi*, 1. baskı, Ankara, Türkiye: Gazi Kitabevi, 2000, ss.

199.

[3] A. Sönmez ve M. Budakçı, *Ağaç işlerinde Üstyüzey İşlemleri II*, Ankara, Türkiye: Gazi Kitabevi, 2005.

[4] G. X. Chen, T. J. Kwee, K. P. Tan, Y. S. Choo, and M. H. Hong, “Laser cleaning of steel for paint removal,” *Appl. Phys. A Mater. Sci. Process.*, vol. 101, no. 2, pp. 249–253, 2010, doi: 10.1007/s00339-010-5811-0.

[5] T. Foster, O. Malavallon, and S. Visaisouk, “Environmentally safe and effective processes for paint removal,” AGARD, France, Rep. N95-32165 11-31. Apr. 7, 1993.

[6] H. İ. Kesik vd., “Ahşap malzeme restorasyonunda yüzey temizleme yöntemleri,” *Selçuk Univ. J. Eng. Sci.*, ss. 1100–1113, 2016.

[7] S. Stratford, “Dry ice blasting for paint stripping and surface preparation,” *Metal Finishing*, vol. 98, no 6, pp. 493–499, 2000.

[8] R. Sherman, “Cleaning with Carbon Dioxide Snow,” *Handbook for Critical Cleaning*, Usa: Copyright Clearance Center, 2019, pp. 431–444.

[9] Anonymous. (2022, Jan 06). Waterjet and wet abrasive blast cleaning methods explained [Online]. Available: https://sspc.org/learning_center/waterjet-and-wet-abrasive-blast-cleaning-methods-explained/

[10] K. M. Foley ve T. Weaver, “An update on soft grit blast cleaning with corncob grit,” *Abrasive Engineering Society*, ABD, Rep. 107-116, 1981.

[11] D. Herbert, “Blast finishing,” *Metal Finishing.*, vol. 97, no. 1, pp. 93–100, 1999, doi: 10.1016/s0026-0576(99)80007-5.

[12] W. G. Howells, “Increasing waterjet efficiency by use of water-soluble additives,” *Proceedings of the 10th American Waterjet Conference*, Usa 1999, pp. 70–71.

[13] Anonim. (2022, 06 Ocak). Zemin ve ahşap bakımı [Çevrimiçi]. Erişim: <https://teakdeck.tk/deck-bakimi/>

[14] Anonim. (2021, 14 Mayıs). Sulu kumlama sistemleri [Çevrimiçi]. Erişim: https://www.saykar.net/sulu_kumlama.%0A%0A.

[15] O. Malavallon, “Paint removal principles,” AGARD, France, Rep. N95-32165 11-31, 1995.

[16] S. Soncu, “Plastik parçalarda boya öncesi yüzey hazırlık prosesinin geliştirilmesi,” Yüksek lisans, Uludağ Üniversitesi, Bursa, Bursa, Türkiye 2019.

[17] E. Uhlmann and R. Hollan, “Resource efficient inline cleaning processes,” *Procedia CIRP*, pp. 102–121, 2012.

[18] E. Uhlmann and R. Hollan, “Blasting with solid carbon dioxide – investigation of thermal and mechanical removal mechanisms,” *Procedia CIRP*, vol. 26, pp. 544–547, 2015.

[19] Anonim. (2021, 1 Haziran). Kuru buz ile yüzey temizleme yöntemi [Çevrimiçi]. Erişim: <http://www.lyindustrial.com/kuru-buzla-temizleme-yontemi/>

[20] Anonymous. (2021, Jun 01). Abrasive blasters [Online]. Available: 2090

<https://www.graco.com/us/en/contractor/products/surface-preparation/abrasive-blasters.html>

[21] P. Mardikan, C. C., W. C., and H. P., “An evaluation of inter-laboratory reproducibility for quantitative xrf of historic copper alloys,” *Metal 2010: Proceedings of the Interim Meeting of the ICOM-CC Metal Working Group*, South Carolina Usa 2010, pp. 178–188.

[22] Anonymous. (2021, Jun 07). Blast media [Online]. Available: <https://surfaceprep.com/product-category/abrasives/blast-media/>

[23] P. W. Kopf, J. Cheney, ve J. Martin, “Paint removal from composites and protective coating development,” ABD, Rep. AD-A249 238, 1991.

[24] K. E. Abbott, “Dry media blasting for the removal of paint coatings on aerospace surfaces,” *Metal Finishing*, vol. 94, no. 7, pp. 33–35, 1996.

[25] R. L. Lemaster, A. J. Shih, and Z. Yu, “Blasting and erosion wear of wood using sodium bicarbonate and plastic media,” *For. Prod. J.*, vol. 55, no. 5, pp. 59–64, 2005.

[26] M. Van De Mark, (2021, Apr 04). Removing defects through flow, leveling *PCI Magazine RSS*, 2003. [Online]. Available: <https://www.pcimag.com/articles/93846-removing-defects-through-flow-leveling>

[27] J. D. Hansink, “An introduction to abrasives for protective coating removal operations,” *Journal of Protective Coatings & Linings*, vol. 17, no. 4, pp. 66–73, 2000.

[28] Anonim. (2021, 14 Haziran). Biyolojik tozlar [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.biopowder.com/en/apricot-stone>

[29] N. F. Veloz, “Practical aspects of using walnut shells for cleaning outdoor sculpture,” *APT Bull.*, vol. 25, no. 3/4, pp. 70–76, 1993.

[30] Anonymous. (2021, Jun 20). Blasting media and abrasives specifications [Online]. Available:https://www.globalspec.com/specsearch/searchform/materials_chemicals_adhesives/abrasives_abrasive_products/blast_media_blasting_abrasives.

[31] P. Tangestanian, M. Papini, and J. K. Spelt, “Starch media blast cleaning of artificially aged paint films,” *Wear*, vol. 248, no. 1–2, pp. 128–139, 2001.

[32] T. Foster, “Dry media blasting with wheat starch,” AGARD, France, 1995.

[33] B. Djurovic, É. Jean, M. Papini, P. Tangestanian, and J. K. Spelt, “Coating removal from fiber-composites and aluminum using starch media blasting,” *Wear*, vol. 224, no. 1, pp. 22–37, 1999.

[34] Anonymous. (2021, Jul 24). Nutshell granules [Online]. Available: <https://www.kuhmichel.com/en/products/nutshell-granules/.%0A%0A>

[35] Anonymous. (2021, Jul 24). Restoration & remediation [Online]. Available: <https://www.randrmagonline.com/articles/86397-historical-restoration-with-crushed-walnut-shells>

[36] Anonim. (2021, 24 Temmuz). Kabuk granülleri [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.organikyakit.com/urun-detaylari/kabuk-granulleri>.

[37] Composition Materials Co. (2021, Jul 24). Material safety data sheet [Online]. Available: <https://compomat.com/wp-content/uploads/2013/01/MSDS-Corn-Cob-Grit.pdf>

- [38] Flowspec Industrial Limited. (2021, Jul 24) Crushed walnut shell [Online]. Available: <http://www.walnutshellpowder.com/company.html>
- [39] C. M. Co. (2021, Sep 5) Abrasive blast media [Online]. Available: <https://compomat.com/>
- [40] Anonymous. (2021, Sep 05). Glass and Cob Blasting [Online]. Available: <https://doyleloghomeservices.com/corn-cob-blasting/#>
- [41] Anonymous. (2021, Sep 05). Western Log Home Supply [Online]. Available: <https://www.westernloghomesupply.com/kernel-corn-cob-media-blaster-log-cabins-homes.html>
- [42] G. X. Chen, T. J. Kwee, K. P. Tan, Y. S. Choo, and M. H. Hong, "Laser cleaning of steel for paint removal," *Appl. Phys. A Mater. Sci. Process.*, vol. 101, no. 2, 2010, doi: 10.1007/s00339-010-5811-0.
- [43] J. H. Scholten, J. M. Teule, V. Zafiropulos, and R. M. A. Heeren, "Controlled laser cleaning of painted artworks using accurate beam manipulation and on-line LIBS-detection," *J. Cult. Herit.*, vol. 1, no. 2, 2000.
- [44] S. Siano and R. Salimbeni, "The gate of paradise: physical optimization of the laser cleaning approach," *Stud. Conserv.*, vol. 46, no. 4, pp. 269–281, 2001.
- [45] A. Zanini, V. Trafeli, and L. Bartoli, "The laser as a tool for the cleaning of cultural heritage," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 364, no. 1, 2018.
- [46] S. Georgiou, V. Zafiropulos, V. Tomari, and C. Fotakis, "Mechanistic aspects of excimer laser restoration of painted artworks," *Laser Phys.*, vol. 8, no. 1, pp. 307–312, 1998.
- [47] W. N. Schmitz, "Baring it all, coatings removal options uncovered," 2015.
- [48] M. J. J. Schmidt, L. Li, and J. T. Spencer, "An investigation into the feasibility and characteristics of using a 2.5 kW high power diode laser for paint stripping," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 138, no. 1–3, pp. 109–115, 2003.
- [49] D. Bäuerle, "Laser processing and chemistry," *Laser Process. Chem.*, pp. 13–38, 2011.
- [50] W. N. Schmitz, "CO₂ pellets blasting for paint stripping/coatings removal," *1st Ann. Int. Workshop on Solvent Substitution*, pp. 11–13, 1990.