



## Surface Coating Applications on Active Parts of Tillage Machines<sup>#</sup>

Yaşar Serhat Saygılı<sup>1,a,\*</sup>, Bülent Çakmak<sup>2,b</sup>

<sup>1</sup>Biosystem Engineering Department, Faculty of Agricultural Sciences and Technologies, Niğde Ömer Halisdemir University, 51240 Niğde, Turkey

<sup>2</sup>Department of Agricultural Machinery and Technologies Engineering, Faculty of Agriculture, Ege University, 35040 İzmir, Turkey

\*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><sup>#</sup>This study was presented as an oral presentation at the 5th International Anatolian Agriculture, Food, Environment and Biology Congress (Tokat, TARGID 2020)</p> <p>Review Article</p> <p>Received : 15/10/2020 Accepted : 23/11/2020</p> <p>Keywords: Wear Material Loss Tillage Machine Surface Coating Productivity</p>	<p>Tillage machines such as plow, cultivator, rotavator, and rototiller are widely used for this purpose. However, one of the major problems in working with tillage machines is the wear of active parts over time. Abrasion occurs differently in active parts of tillage machines and can cause the machines used to lose the functionality expected of them. It is preferred to cover the active parts with wear-resistant coating materials to reduce the level of wear to meet both agro technical demands and high tillage efficiency. The way of wear the active parts of the machines; it is abrasive wear caused by friction against solid materials in the soil (clods, stones, harder materials, etc.) and/or adhesive wear caused by soil moisture. Reducing the wear on the active parts with the coating process to be made will both prevent material loss caused by abrasion in the active part and increase the efficiency/effectiveness of the machine. Because of the limited number of studies on this subject in the agricultural sector shows that the subject is open to improvement. In this study, the use of new coating methods used in other production sectors (especially in mold manufacturing) for the last decade in coating the active parts of soil tillage machines and their effects on product performance and life by increasing wear resistance are compiled. Coating methods that can be adapted to the agricultural sector can be listed as; Gas Phase, Liquid Phase and Melted/Semi-Melted Phase. Among these, studies on Plasma Thermal Spraying (Molten / Semi-Molten Phase Coating Methods) and thin film coating (Vapor Phase Coating Methods) are prominent. On the other hand, it is predicted that the desired wear resistance can be further improved by applying different coating methods and combinations.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 8(sp1): 92-99, 2020

## Toprak İşleme Makinalarının Aktif Elemanlarında Yüzey Kaplama Uygulamaları

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p>Derleme Makale</p> <p>Geliş : 15/10/2020 Kabul : 23/11/2020</p> <p>Anahtar Kelimeler: Aşınma Malzeme Kaybı Toprak İşleme Makinaları Yüzey Kaplama Verimlilik.</p>	<p>Toprak işleme makinalarından pulluk, kültivatör, toprak frezesi ve rototiller gibi makinalar bu amaç için yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak toprak işleme makinaları ile çalışmada en temel sorunlardan biri işleyici elemanların zamanla aşınmasıdır. Aşınma, toprak işleme makinalarının aktif elemanlarında farklı şekillerde oluşur ve kullanılan makinaların kendinden beklenen işlevselliği zamanla kaybetmesine neden olur. Gerek agroteknik isteklerin karşılanması gerekse iş veriminin yüksek olması amacıyla aşınma düzeyini azaltmak için aktif elemanlarının aşınmaya dirençli kaplama malzemeleri ile kaplanması tercih edilmektedir. Tarım makinalarının aktif elemanlarında görülen aşınma şekli; toprak içindeki katı maddelere (kesek, taş, daha sert çizimler vb.) sürtünme nedeniyle oluşan abrasif ve toprak neminin yol açtığı adhezif aşınmadır. Aktif elemanlarda oluşan aşınmanın yapılacak kaplama işlemiyle azaltılması, hem aşınmayla oluşan malzeme kaybını önleyecek hem de makinanın etkinliğini arttıracaktır. Bu çalışmada, diğer üretim sektörlerinde (özellikle kalıp imalatında) son 10 yıldır kullanılan yeni kaplama yöntemlerinin toprak işleme makinalarının aktif elemanlarının kaplanmasında kullanımı ve aşınma direncinin artırılıp, ürün performansı ve ömrü üzerindeki etkilerini iyileştirebilecek yöntemler derlenmiştir. Tarım sektörüne uyarlanabilecek kaplama yöntemleri; Gaz Fazda, Sıvı Fazda ve Ergimiş/Yarı Ergimiş Fazda olarak sıralanabilir. Bunların arasında Plazma Termal Püskürtme (Ergimiş/Yarı Ergimiş Fazda Kaplama Yöntemleri) ve ince film kaplama (Buhar Fazda Kaplama Yöntemleri) yöntemlerine ait çalışmalar öne çıkmaktadır. Diğer yandan yapılan çalışmalarda farklı kaplama yöntemleri ve kombinasyonlarının uygulanması ile istenilen aşınma direncinin daha da iyileştirilebildiği ön görülmektedir.</p>

<sup>a</sup> [serhatsaygili@ohu.edu.tr](mailto:serhatsaygili@ohu.edu.tr)

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0001-6974-3820>

<sup>b</sup> [bulent.cakmak@ege.edu.tr](mailto:bulent.cakmak@ege.edu.tr)

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0002-3587-0933>



## Giriş

Toprak işleme makinelerinde çalışma ömrünü ve çalışma sırasında işlevselliğini sürdürülebilmesinin sınırlarını belirleyen en önemli faktör aşınmadır (Saygılı, 2020). Aşınma birçok farklı şekilde gerçekleşmekle birlikte, toprak işleme makinelerinde oluşan aşınma temel olarak dört mekanizma ile açıklanabilir. Bunlar toprak içerisinde yer alan kesekler ve katı partiküllerin neden olduğu adhesiv ve abrasiv aşınma, toprak ve hava neminin neden olduğu koroziv aşınma ve ilerleme hareketi sonucu toprağın işleyici aktif elemanların yüzeyine çarparak oluşturduğu erozyon aşınmasıdır (Şekil 1).

Toprak işleme makinelerinde aşınmanın ve dolayısıyla oluşan malzeme kaybının belirlenmesi için ülkemizde çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda 140-150 g/ha bir malzeme kaybı olduğunu ortaya koymaktadır (Metinoğlu ve ark., 2006). Ülkemizde yer alan toplam tarım alanının 23.100.000 ha değerinin üzerinde olduğu (TÜİK, 2020) ve toprağın en az iki kez işlendiğini (birinci ve ikinci toprak işleme) göz önünde bulundurursak yaklaşık olarak 7 151 000 ton malzeme toprağa karışmaktadır.

Malzemelerin endüstriyel amaçla kullanılabilmesi için çeşitli standartları sağlaması ve standartların ön gördüğü kalitede olması gerekmektedir. Bu standartların içerisinde mekanik özellikler ve yüzey özellikleri gibi özellikler yer almaktadır (Özel, 2013). Malzeme yüzey özelliklerini iyileştirmek, aşınma, ve korozyondan korumak için malzeme yüzeylerine başka bir malzemenin biriktirilmesi işlemine kaplama adı verilir. Farklı alanlarda farklı avantajlar sağlayan yüzey kaplama tekniklerinden uygulama kolaylığı, fiyatı, boyutları, çevreye ve çalışanlara etkisi değerlendirilerek işe en uygun teknik seçilmeli ve kullanılmalıdır (Şahin, 2019, Durmuş, 2020).

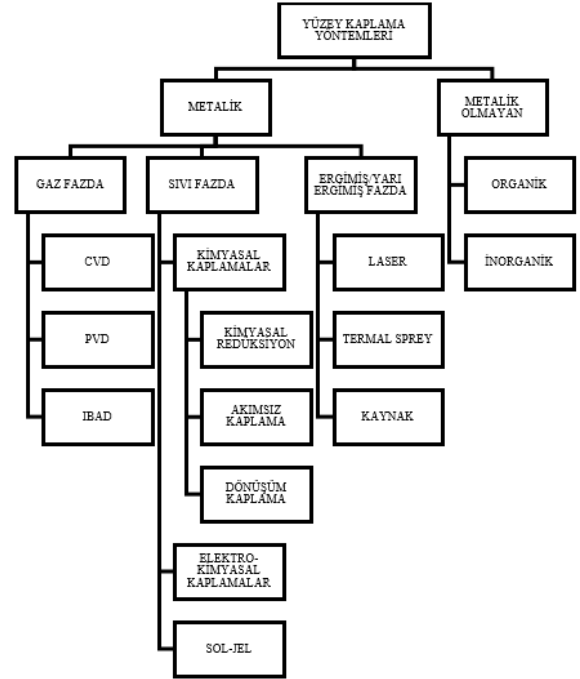
Yüzey kaplama yöntemlerinde değişen hızlı teknoloji ile son yıllarda morfoloji, kompozisyon, yapı ve adezyon gibi özellikleri kapsayan çalışmalarla daha önceden ulaşılamayan özelliklere ulaşılmıştır. Bu çalışmalar iyon ve plazma temelli çalışmalardır (İpek, 2019). Yüzey iyileştirme işlemlerinden en yaygın olarak kullanılan yöntem olan kaplama işlemi, taban malzeme üzerine fiziksel ve/veya kimyasal özelliklerini değiştirmek üzere bileşimi bilinen bir başka malzemenin (organik veya inorganik ya da metal veya alaşım) tabaka halinde toplanması veya biriktirilmesidir (Solak, 2006). Kaplama işlemi, iki farklı malzemenin (altlık malzemesi ve kaplama malzemesi) birlikteliği sonucunda aşınma özelliklerinin değişmesine dayanmaktadır (Şahin, 2019). Uygulanabilecek yüzey kaplama yöntemleri Şekil 2'de gösterilmiştir.

Yüzey kaplama işleminin hangi yöntem ile yapılacağı seçilirken, malzemenin çalışma koşulları, kaplamadan beklenen özellikler, kaplama kalınlığı ve kaplama yapılacak altlık malzemenin yüzey sıcaklığı gibi faktörler dikkate alınır (Kaya, 2018; Bülbül, 2013; Kang ve ark., 2017). Uygun yöntem seçimi kaplamanın etkin olarak çalışmasını arttıracığı gibi maliyetleri de azaltmaktadır. Şekil 3'te kaplama kalınlığı ve altlık malzeme yüzey sıcaklığına göre uygun kaplama yöntemi seçiminin nasıl yapılabileceği verilmiştir.



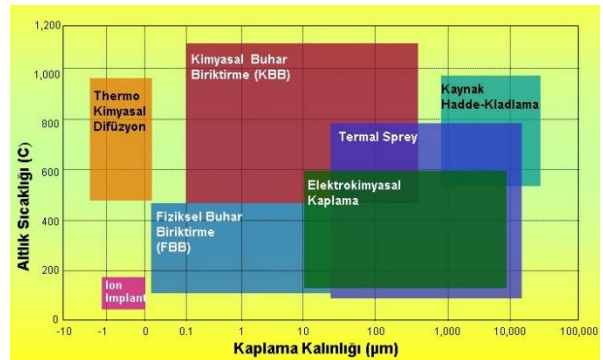
Şekil 1. Aşınmaya uğramış toprak işleme makineleri (Çakmak, 1999, Saygılı, 2020).

Figure 1. Worn out tillage machines.



Şekil 2. Yüzey Kaplama Yöntemleri (Şahin, 2019, Solak, 2006).

Figure 2. Surface coating methods.



Şekil 3. Altlık sıcaklığı ve kaplama kalınlığına göre kaplama yöntemi seçimi (TESLAB, 2020).

Figure 3. Coating method selection according to litter temperature and coating thickness.

## Gaz Fazda Yüze Kaplama Yöntemleri

Gaz fazda kaplama yöntemleri, kaplama malzemesinin fiziksel durumu gaz halinde olmasından dolayı buhar fazda kaplama yöntemleri olarak da isimlendirilebilirler. Bu kaplama yöntemi ile yapılan kaplama işlemi sonucunda oluşan yüksek aşınma ve korozyon direnci ile dekoratif özellikleri sebebiyle endüstriyel kullanımı yaygındır. Bu kaplamalar; kimya endüstrisi, gemi imalatı, makina imalatı, havacılık ve uzay sanayi ile otomotiv gibi birçok sektörde yoğun olarak kullanılmaktadır. Gaz fazında kaplamalar üç alt ana başlık altında incelenmiştir (Oktay, 2007). Bunlar;

- Kimyasal Buhar Biriktirme (KBB) – Chemical Vapour Deposition (CVD)
- Fiziksel Buhar Biriktirme (FBB) – Physical Vapour Deposition (PVD)
- İyon Demeti Destekli Biriktirme (İDDB) – Ion Beam Assisted Deposition (IBAD)'dir.

Gaz fazda kaplama, yani buhar biriktirme ile kaplama üç basamaktan oluşur. Bunlar;

- Kaplama malzemesinin uygun faza geçirilmesi,
- Buhar fazının, kaynaktan kaplama malzemesini altlık malzeme üzerine taşınımı,
- Buhar fazının altlık yüzeyinde yoğunlaşması ve film çekirdeklerinin oluşumudur.
- Kimyasal Buhar Biriktirme Yöntemi

Kısaca CVD (Chemical Vapour Deposition) olarak isimlendirilen kimyasal buhar biriktirme yöntemi ile yüzey kaplama işlemi, gaz fazdan çeşitli kimyasal reaksiyonlar sonucunda oluşturulan yeni fazın altlık yüzey üzerinde çöktürülmesidir (Keleşoğlu, 2011).

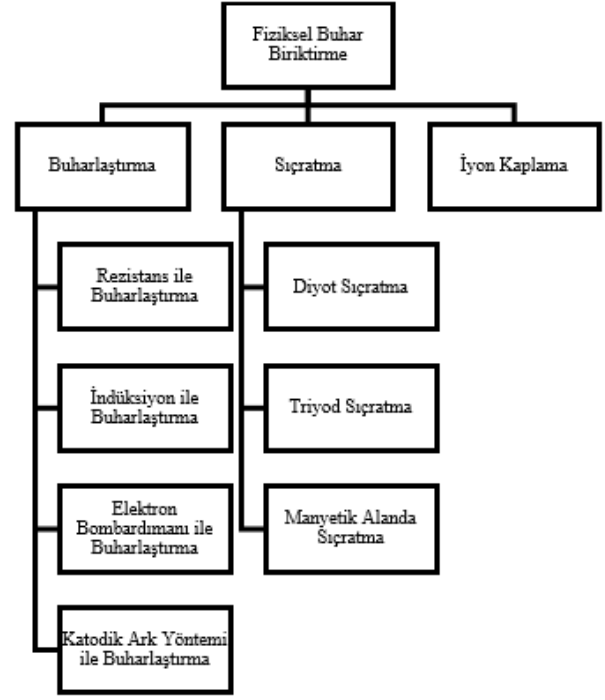
Kimyasal buhar biriktirme yöntemi, yüzey kaplama yöntemleri içerisinde endüstriyel anlamda uygulama tarihi olarak en eski olanıdır. Bu yöntemi, buhar fazdaki reaktanların kaplama yapılacak altlık malzeme yüzeyinde oluşturulan kimyasal reaksiyon etkisiyle katı bir tabaka oluşturması olarak açıklanabilir. Altlık parça yüzeyinde oluşturulmak istenen kimyasal reaksiyonu başlatmak için altlık parça ısıtılır. Bu da gelişmesi arzulanan reaksiyonun termodinamik özellikleri göz önüne alınarak çoğunlukla yüksek sıcaklıklara ısıtılmayı gerektirmektedir. Yüksek sıcaklık gereksinimi altlık parçanın mekanik özelliklerinde istenmeyen değişikliklere ve difüzyon sorunlarına yol açmakta veya düşük ergime sıcaklıklarına sahip malzemelerden yapılmış parçaların bu yöntem kullanılarak kaplanmasını engellemektedir. Günümüzde kullanılan plazma desteği ile kimyasal buhar biriktirme yöntemi düşük sıcaklık değerlerinde de uygulanabilmektedir (Bülbül, 2013).

Kimyasal buhar biriktirme yöntemiyle metalik(oksit, nitrür, karbür, borür ve benzeri) kaplamaların üretilmesi mümkündür.

### Fiziksel Buhar Biriktirme Yöntemi

Kısaca PVD (Physical Vapour Deposition) olarak isimlendirilen fiziksel buhar biriktirme yöntemi, katı fazdaki kaplama malzemesinin vakum ortamda atomik boyutlara geçirilmesi veya buhar fazına dönüştürülmesi ile altlık malzeme üzerinde biriktirme işlemidir (Sönmezoğlu, 2012). Element ya da bileşik halindeki kaplama

malzemesi, yüksek sıcaklık değerlerine ısıtılarak veya yeterli derecede yüksek enerjiye sahip iyonlar yardımıyla bombardıman edilerek buhar fazına geçirilir. Kaplama malzemesinin buhar fazına geçirilmesi işleminden birincisi buharlaştırma ikincisi ise sıçratma tekniği olarak adlandırılabilir (Oktay, 2007). Katı fazda bulunan kaplama malzemesinin buhar fazına geçebilmesi için gerekli olan enerji, buharlaştırma tekniğinde ısı enerjisi yardımıyla, sıçratma tekniğinde ise iyon bombardımanının çarpma enerjisi yardımıyla sağlanır (Keleşoğlu, 2011).



Şekil 4. Fiziksel buhar biriktirme teknikleri (Oktay, 2007, Bülbül, 2013)

Figure 4. Physical vapour deposition techniques

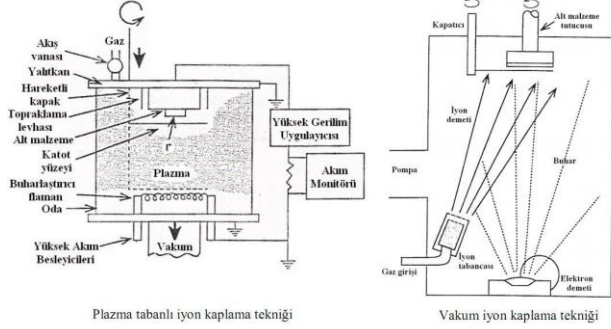
### İyon Demeti Destekli Biriktirme Yöntemi

İyon demeti destekli biriktirme tekniği esas olarak, PVD tekniği ile düşük enerjili bir iyon tabancası tarafından yüzeyin bombardıman edilmesinin kombinasyonudur. Bombardıman prosesi kaplamanın alt malzemeye daha kuvvetli bağlarla yapışmasını sağlar (Bülbül, 2013).

Bu yöntemde kaplama malzemesi buhar faza geçirilir ve plazma fazı kullanılarak bu fazdaki atomların enerjilerinin yükseltilmesiyle iyonizasyon oluşturulur. Altlık malzemeye yapılan negatif potansiyel yardımıyla ortamdaki iyonlar altlık üzerine yönlendirilir. Bu yönlendirme yardımıyla altlık yüzeyinin temizliği yapılır ve ön ısıtma sağlanır. İyon kaplama yönteminde iyi bir kaplamanın oluşması yüksek enerjili atomların kullanılmasının sonucudur (Çayan, 2013).

İyon kaplamanın en yaygın kullanımı olan türü Şekil 5'te verilen plazma tabanlı kaplama tekniğidir. Bu sistemde kaplama yapılacak altlık malzemesi bir elektrot biçiminde radyo frekansı veya doğru akım kullanarak plazma fazı oluşturur ve kaplama yapılacak yüzeyle temaslıdır. Kaplama malzemesi olarak element veya alaşım kullanıldığında argon gazı plazma oluşturmak için

kullanılır. Reaktif iyon kaplama yönteminde, plazma oluşturmak için azot, oksijen ve karbon gibi reaktif numune iyonları kullanılarak oksitler, nitrürler, karbürler veya karbonitrürler elde edilir. İşlem vakum ortamda uygulandığında, soy veya reaktif gaz iyonları bir iyon tabancası yardımıyla üretilir ve işlem Şekil 5'te verilen vakumda iyon kaplama veya iyon demeti destekli biriktirme (IBAD) olarak adlandırılır (Çayan, 2013).



Şekil 5. İyon demeti destekli kaplama (Çayan, 2013)  
Figure 5. Ion beam assisted coating



Şekil 6. Kimyasal redüksiyon kaplama örnekleri (Saygılı, 2020)  
Figure 6. Chemical reduction coating examples



Şekil 7. Kimyasal dönüşüm kaplama örnekleri (EGE ELOKSAL, 2020).  
Figure 7. Chemical conversion coating examples

### Sıvı Fazda Yüzey Kaplama Yöntemleri

Sıvı fazda yüzey kaplama yöntemleri, kimyasal kaplamalar, elektro-kimyasal kaplamalar ve sol-jel yöntemi olmak üzere üç ana başlık altında incelenebilir. Kimyasal kaplamalar doğrudan toprak işleme makinalarının aktif elemanlarının aşınma dirençlerini iyileştirmek için kullanılmamasına karşın, toprak işleme makinalarında kullanılan bazı parçaların korozyon dirençlerinin iyileştirilmesinde tercih edilmektedir. Elektro-kimyasal kaplamalar ve sol-jel yöntemi ise tarım makinalarının aktif elemanlarında kullanılmakla birlikte birçok sektörde aşınma önleme açısından tercih edilmektedir.

Elektrokimyasal kaplama, metalik veya ametalik malzemelerin yüzeyine elektro-kimyasal yöntemler kullanarak metalik film tabakası oluşturulmasıdır. Elektrokimyasal yöntemlerle yüzeyleri kaplanmış pek çok ürünün kullanımı günlük hayatımızda mevcuttur. Gümüş kaplama ve altın kaplama günlük kullanım (saat, gözlük vb.) malzemelerinde kullanılırken otomotiv ve havacılık sektöründe kullanılan parçalarında ise farklı elektrokimyasal kaplama yöntemleri uygulanmaktadır (Sönmezoğlu ve ark., 2016).

Yumuşak kimya olarak da isimlendirilen sol- jel yöntemi, bir sol ya da jeli ara basamak olarak kullanarak geleneksel hazırlama yöntemlerinden daha düşük sıcaklıkta, bir çözeltiden katı bir malzemenin hazırlanmasıdır (Saygılı, 2020). Bu yöntemle kullanılarak elde edilmiş filmlerin kalınlığı yüzeyde homojen olarak dağılmıştır. Homojen ve saf filmlerin düşük sıcaklıklarda hazırlanabilmesi ısı gereksiniminin az olmasından dolayı enerji tasarrufu sağlar. Hazırlanan ortamla birlikte etkileşim içinde bulunmaz ve değişik geometrik şekle sahip malzemelerin bu yöntemle kaplanmasına olanak sağlar. Günümüzde Sol-jel yöntemiyle kaplama işlemi gıda işleme makineleri imalatı, dayanıklı tüketim malzemeleri üretimi, elektronik, cam üretimi gibi birçok alanda kullanılmaktadır. (Sönmezoğlu ve ark., 2016).

### Kimyasal Kaplamalar Kimyasal Redüksiyon

Kimyasal redüksiyon yönteminde kaplanacak metal katot, kaplama malzemesi anot olacak şekilde uygun yapıdaki bir elektrolit içine konulur. Bu işlem sırasında kaplama malzemesi korozyona uğratılır ve ana metalin üzerine çöktürülerek kaplama işlemi gerçekleştirilir (Şekil 6). Bu yöntemle altın, gümüş, bakır, krom, çinko, platin, kalay gibi metaller diğer metallerin üzerine kaplanabilir (Saygılı, 2020).

Kimyasal Redüksiyon işlemi uygulanan kaplamalar tarım makinalarının aktif elemanlarının kaplanmasından daha çok aktif elemanların sabitlenmesi işlemini yüklenen bağlantı elemanları gibi parçalara uygulanır. Bu parçalara kimyasal redüksiyon kaplama işlemlerinin uygulanmasındaki amaç ise korozyon direncinin artırılmaya çalışılmasıdır.

### Akımsız Kaplama

Akımsız metal kaplama yöntemi, metal ve indirgeyici ajanın birlikte bulunduğu bir çözeltiden kimyasal indirgenme yoluyla madde yüzeyi üzerinde metal tabaka oluşturulması işlemidir. Bu işlem genellikle ucuzdur ve sulu ortamda oda sıcaklığına yakın değerlerde gerçekleştirilebilir. Yüzeylerin kaplanmasında Au, Ag, Pt, Pd gibi soy metallerle kolay indirgenen ve birinci seri geçiş metalleri olan Cu, Ni, Co ve Fe gibi metaller ve/veya bunların alaşımları yoğun olarak kullanılmaktadır (Demirel, 2018, Saygılı, 2020).

### Dönüşüm Kaplama

Kimyasal dönüşüm işlemleri, temizliği önceden yapılmış metal yüzeylerin özel içerikli banyolarda çeşitli kimyasal ya da elektrokimyasal işlemler uygulanmasının sonucunda yüzeylerinin fiziksel özelliklerinin değişmesi ve korozyon direncinin iyileşmesidir (Saygılı, 2020; EGE ELOKSAL, 2020).

Kimyasal dönüşüm işlemlerinden en yaygın olarak kullanılanları, fosfatlama, oksalatlama, oksit-kromat pasiflendirme, kimyasal renklendirme, eloksal, sert eloksal ve parlatma prosesleridir (EGE ELOKSAL, 2020). Kimyasal dönüşüm işlemi uygulanan kaplamalar tarım makinalarının aktif elemanlarının kaplanmasından daha çok aktif elemanların sabitlenmesi ya da işlevselliğini yürütebilmesi için yapılacak ayar parçalarına uygulanır. Bu parçalara kimyasal dönüşüm kaplama işlemlerinin uygulanmasındaki amaç ise korozyon direncinin artırılmaya çalışılmasıdır.

## Ergimiş/Yarı Ergimiş Fazda Kaplama Yöntemleri

Ergimiş ya da yarı ergimiş kaplama malzemesini altlık yüzeyine temasıyla birlikte altlık malzeme ve ara yüzey arasında mekanik olarak bağlanma oluşur. Püskürtülen parçacıkların altlık malzemeye tabakalar haline çarpması ve bu tabakaların birbirine bağlanması ile altlık malzeme yüzeyinde hızlıca soğuyarak kaplama oluşturulur. Kaplama için kullanılacak malzeme, kaplama yöntemi ve yöntemine uygun parametreler, altlık malzeme yapılarına göre belirlenir (Kang ve ark., 2017; Saygılı, 2020).

### LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)

Lazer demeti destekli kaplama işlemleri, altlık malzeme üzerinde kaplama malzemesinin ergitilmesinde lazer kullanılarak gerçekleştirilmektedir. (ORLASER, 2020). Lazer demeti destekli kaplama işlemleri yüzey seviyelerini eşitlemek ve değiştirilmesi olanaksız olan elemanların onarılması veya düzeltilmesi için kullanılan düşük maliyetli bir yöntemdir (Saygılı, 2020).

Toz lazer kaplamada malzeme üzerinde metal tozu ergitilerek iş parçası üzerine bağlanması sağlanır (Şekil 8). Toz lazer kaplama uygulamaları endüstriyel kullanımda ağırlıklı olarak tam otomasyona sahip makinelerin yardımıyla gerçekleştirilir. Kaplama malzemesi olarak toz kullanımına benzer tel veya şerit ile lazer demeti destekli kaplamalar çoğunlukla manuel lazer kaynak makineleriyle birlikte kullanılır (Saygılı, 2020; Ergül, 2015).

### Termal Püskürtme Yöntemi

Termal püskürtme yöntemi, metalik veya ametalik yüzey kaplama uygulamaları için yaygın kullanılan bir tanımlamadır. Bu kaplama yöntemi üç ana gruptan oluşur. Bu yöntem kullanılan güç/ısı kaynağına göre elektrik ve kimyasal püskürtme olarak ikiye ayrılır. Kullanılacak kaplama malzemesi (toz, tel, çubuk) ergimiş veya yarı ergimiş faza enerji kaynakları kullanılarak getirilir. Kullanılacak kaplama malzemesi üretilecek kaplama türüne göre belirlenir. Enerji kaynağından alınan enerjiyle birlikte toz veya tel yarı ergimiş duruma geçer. Belirli bir püskürtme hızı ve sıcaklık değerine sahip olan kaplama malzemeleri altlık malzeme üzerine püskürtülür (Saygılı, 2020, Özel, 2013).

Termal püskürtme yöntemi (Şekil 9), tel ya da toz durumundaki kaplama malzemelerinin bir püskürtme tabancası içerisinde çeşitli gazların (taşıyıcı, yanıcı ve yakıcı) yardımıyla püskürtülerek kaplama yapılacak altlık üzerine taşınması ve kaplama tabakasının elde edilmesi biçiminde gerçekleştirilen işlemlerdir (Özel, 2013).

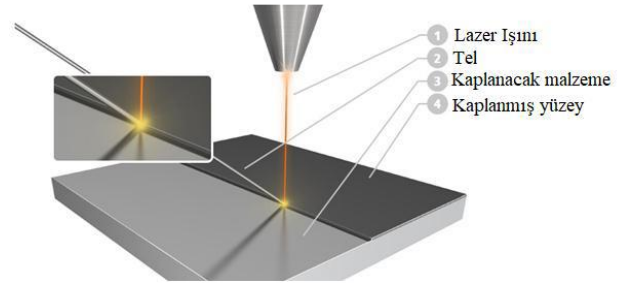
Termal püskürtme yöntemleri kullanılarak farklı özellikteki kaplamaların yapılabilmesi için farklı çeşitleri geliştirilmiştir. Kaplama malzemesinin ergitilmesi için kullanılan ısı kaynağına bağlı olarak ikiye ayrılır (Şekil 10). Kaplama tabakasının özelliklerini etkileyen parametrelerin (sıcaklık, partikül boyutu, taşıyıcı gaz hızı, kullanılan gaz gibi) değiştirilmesi ile elde edilen bu yöntemler; alevle püskürtme, ark püskürtme, yüksek hızlı oksit-yakıt (HVOF), plazma püskürtme, patlamalı püskürtme olarak sayılabilir (Özel, 2013).

### Alevle Püskürtme Tekniği

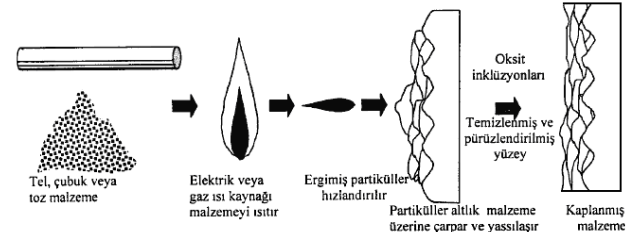
Alevle püskürtme tekniği, yüzeye kaplanacak tel veya tozlar halindeki kaplama malzemelerinin, püskürtme

memesi içerisinde ergitilmesi alt malzeme üzerine gaz akışıyla birlikte püskürtülmesi biçiminde uygulanmaktadır. Kaplama yapılacak tel ya da toz halindeki malzemelerin ergitilebilmesi için yüksek sıcaklıklara gereksinim olabilmektedir ve bu sıcaklığı sağlamak üzere yanıcı gaz-oksijen alevi kullanılmaktadır (Özel, 2013).

En eski termal sprej yöntemi olarak bilinen ve Max Ulrich Schoop isimli bilim adamı tarafından patenti alınmış olan alevle püskürtme tekniği, toz alev püskürtme ve tel alev püskürtme yöntemi olarak ikiye ayrılmaktadır (Şekil 11 ve Şekil 12). Uygulamanın ilk zamanlarında, oksit-asetilen yardımıyla elde edilen alev ısı kaynağı, kalay ve kurşun telleri de kaplama malzemesi olarak kullanılırken; daha sonra kaplama malzemesi olarak toz kullanımı yaygınlaşmıştır. Alev sprej yönteminde alev elde edilmesi için yanıcı gaz olarak asetilen, propan veya hidrojen, yakıcı gaz olarak ise oksijen kullanılır. Bu kaplama yöntemi düşük basınçlı oksit yakıt kaplama yöntemi olarak adlandırılır (Ergül, 2015).

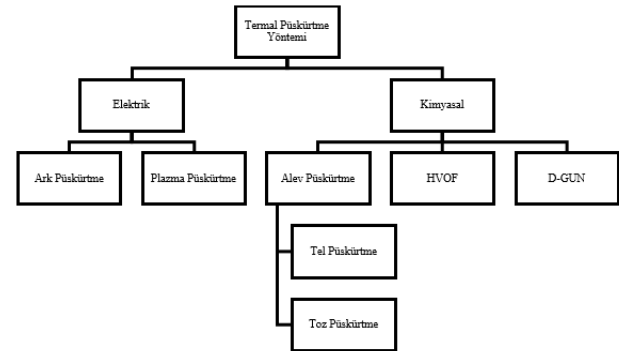


Şekil 8. Lazer Demeti Destekli Kaplama (ORLASER, 2020)  
Figure 8. Ion Beam Assisted Coating



Şekil 9. Termal Püskürtme Yönteminin Şematik Gösterimi (Özel, 2013).

Figure 9. Schematic Illustration of Thermal Spraying Method



Şekil 10. Termal Püskürtme Yöntemi (Saygılı, 2020., Özel, 2013, Ergül, 2015)

Figure 10. Thermal Spraying Method

### Ark Püskürtme Tekniği

Ark sprey kaplama yönteminde, gaz alevi ya da elektrikle oluşturulan plazma gibi harici enerji kaynakları bulunmadığından diğer termal püskürtme yöntemlerinden farklılıklar içermektedir. Kaplama malzemesi olarak kullanılan zıt kutuplarla yüklenmiş iki tel, kesişme bölgesinde kontrollü bir ark oluşturacak biçimde bir araya getirilerek ısıtılır ve ergime gerçekleştirilir (Şekil 13). Ergimiş metal basınçlandırılmış hava veya diğer gazların yardımıyla atomize edilir ve kaplama yapılacak altlık malzeme yüzeyine püskürtülür (Ergül, 2015; Saygılı, 2020).

### Plazma Püskürtme Tekniği

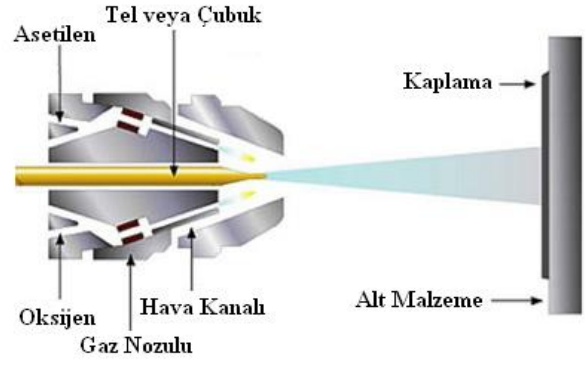
Plazma fazı, eşit sayıda bağımsız elektron ile pozitif iyon içeren ve maddenin dördüncü fazı olarak isimlendirilen yoğunlaştırılmış gazdır. Plazmanın ana hatlarıyla iki önemli avantajı mevcuttur. Birincisi; bilinen tüm malzemelerin ergiyebileceği derecede yüksek sıcaklık değerlerine çıkılabileceği, ikincisi ise ısı transferinin daha iyi sağlanabilmesidir. Plazma sprey tekniğinin çıkılabildiği sıcaklıklar, metal ve alaşımlarının ergime sıcaklıklarından daha yüksek olduğu için bu malzemelerle çalışmaya olanak sağlamaktadır (Şekil 14). Birçok metalden daha iyi adezyon ve erozyon direncine sahip, toz formda ve belirli tane boyutlarında üretilen kaplama malzemeleri, dizel motorların da içinde olduğu, erozyon ve aşınma direncinin yüksek olmasını gerektiren uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Saygılı, 2020; Ergül, 2015; TSTENIC, 2020).

Ar ya da H<sub>2</sub> gazları plazma alevinin oluşturulmasında kullanılmaktadır. Kaplama uygulamasının yapıldığı ve alevi oluşturan nozülün ısı etkisiyle özelliklerini yitirmemesi için soğutma işlemi gerçekleştirilir. Soğutma işleminde soğutucu olarak su kullanılır. Toz durumdaki kaplama malzemesi oluşturulan plazma aleviyle birleştirilerek kaplama işlemi uygulanır (Saygılı, 2020).

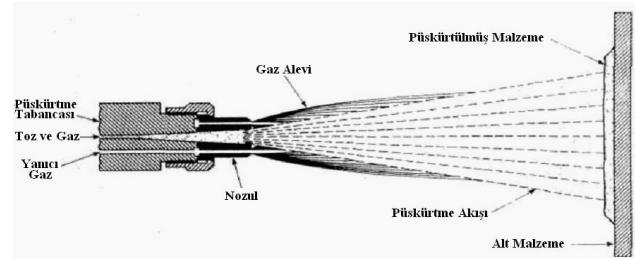
### HVOF (High Velocity Oxygen Fuel)

HVOF, termal sprey kaplama yöntemleri arasındaki en yeni yöntemlerden birisidir. Enerji kaynağı olarak kullanılan oksijen ve yakıt yüksek basınç altındadır. Kullanılan yakıt; yanıcı gazlardan propan, propilen ve hidrojen olarak seçilebilmektedir. Oksijen ile birleşerek yanmaya başlayan gaz karışımı süpersonik hızlara ulaşarak, kaplama tozunu ergitecek olan alevi beslemektedir (Şekil 15). HVOF, termal enerji kullanımını en aza indirirken, kinetik enerjiyi en yüksek derecelere ulaştırmaktadır. Bu şekilde yüksek bağ mukavemetine sahip, yoğun, delikli yapısı düşük kaplamalar oluşturulabilmektedir. Jet motoru parçalarının aşınma dayanımını artırabilmek için bu yöntem uygulanmaktadır (Saygılı, 2020; TESLAB, 2020).

Yüksek sertlik değeri ve düşük oksitlenme gerektiren metalik ve karbür kaplamaların tamamı HVOF püskürtme yöntemi kullanılarak üretilmektedir. Ayrıca bu yöntemle birden fazla kaplama tabakası oluşturularak kaplama kalınlığı fazla olması istenen uygulamalarda kullanılabilir. Uygulanması kolay ve sağlam yapılı olan bir yöntem olmakla beraber kaplama tozlarını ısıtmaz, kaplama tozlarını yumuşatır. HVOF yöntemiyle düşük sıcaklıklarda yapılan uygulamalarda yapışma zamanının çok kısa olmasına bağlı olarak bozunmanın ve oksitlenmenin en düşük düzeyde olduğu görülmektedir (Saygılı, 2020; Ergül, 2015; TESLAB, 2020).

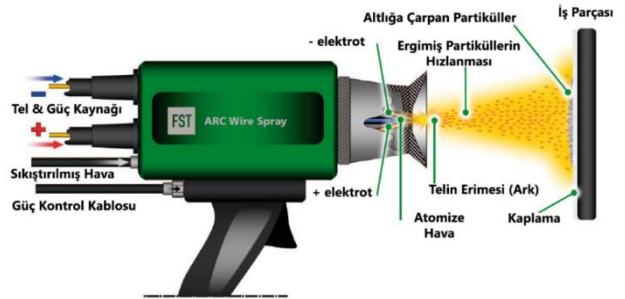


Şekil 11. Tel veya Çubuk ile Gerçekleştirilen Alevle Püskürtme Sisteminin Şematik Görünümü (Özel, 2013)  
Figure 11. Schematic view of the flame spraying system realized with wire or rod



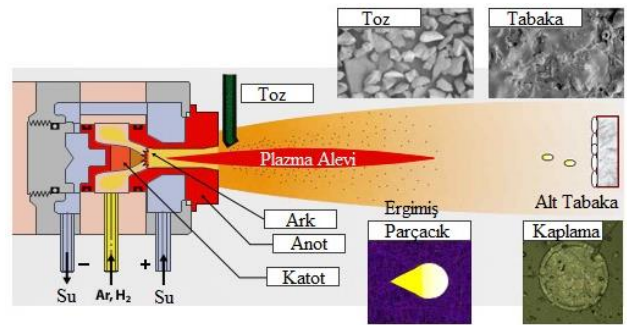
Şekil 12. Alevle toz püskürtme sisteminin şematik görünümü (Özel, 2013)

Figure 12. Schematic view of powder spray system with flame



Şekil 13. Ark Püskürtme Sisteminin Şematik Görünümü (TESLAB, 2020).

Figure 13. Schematic view of the arc spray system



Şekil 14. Plazma püskürtme sisteminin şematik görünümü (TESLAB, 2020).

Figure 14. Schematic view of the plasma spray system.

### D-GUN (Detonation Gun)

Bu yöntemle yapılan kaplama, 2-3 cm iç çapında 1-1,5 m uzunluğa sahip su soğutmalı bir yanma odası içerisinde, oksijen-asetilen gaz karışımının ve taşıyıcı gazın kontrollü olarak patlatılmasıyla açığa çıkan alevin kaplama tozlarını eritmesi ve taşıyıcı gazın ergimiş kaplama malzemesinin yüzeye püskürtmesiyle uygulanmaktadır. Alevi oluşturacak oksijen-asetilen karışımı elektrik kıvılcımı ile saniyede 4-8 kez arasında patlatılır (Şekil 16). Bu yöntemle üretilen kaplamalar sert, yoğunluğu ve yapışma özellikleri yüksek kaplamalardır.

Yüksek sıcaklıklarda çalışan ve farklı aşınma türlerine maruz kalan gaz türbin motor parçalarının dirençlerinin artırılması, çeşitli sektörlerde kullanılan makine parçalarının ve kesici takım uçlarının kaplanmasında Detonasyon tabancası kullanılmaktadır (TESLAB, 2020).

### Kaynak (Sert Dolgu)

Sert dolgu, ana malzemeden farklı özelliklere sahip başka bir malzemenin, ana malzeme yüzeyine kaynak tabakası olarak uygulanmasıdır (Çakmak, 1999). Sert dolgu/Kaynak uygulamasına uygun bir örnek Şekil 17'de verilmiştir. Parçanın tamamını yeniden ya da daha pahalı malzeme kullanarak imal etmek yerine, yüzeyi çeşitli etkenlere (aşınma, korozyon ve kimyasal maddeler) karşı dayanımı daha yüksek, yüksek alaşımli bir malzemeyle kaplamak daha ekonomik bir çözüm olarak uygulanmaktadır.

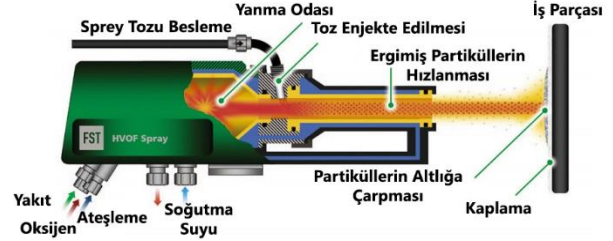
Sert dolgu malzemeleri; karbon ve alaşımli çelikler, bakır esaslı alaşımlar, yüksek alaşımli çelikler, kobalt esaslı alaşımlar, Monel, Hastelloy gibi nikel esaslı alaşımlar, paslanmaz çelikler, seramik ve refrakter karbürler olarak örneklendirilebilir (Saygılı, 2020, Çakmak, 1999).

### Sonuçlar ve Tartışma

Makina üretimi yapan üreticilerin aşınmayı engellemek üzere kullandıkları çok farklı yüzey kaplama yöntemleri bulunmaktadır. Tarım makineleri aktif elemanlarında oluşan abrasif aşınmanın etkilerinin en aza indirilmesi için termal sprey yöntemle yapılan kaplamalar üreticiler tarafından hali hazırda uygulanmaktadır. Farklı sektörlerde yaygın olarak kullanılan buhar biriktirme yöntemleri, maliyet açısından diğer yöntemlere göre daha pahalı olmasına rağmen sert tabaka oluşturulabilmesi açısından iyi bir yöntemdir ve toprak işleme makinelerinin aktif elemanlarında bu tür yeni yöntemlerin uygulanabilirliği incelenmesi gereken bir konudur.

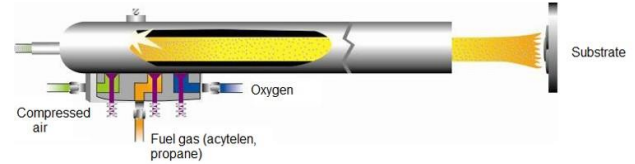
Aşınma direncinin artırılması için uygulanan kaplama işlemleri ile altlık malzeme üzerinde arzu edilen özelliklere sahip yüzeyler elde etmek çok önemlidir. Termal püskürtme yöntemleri kaplama bu işlemlerde yoğunlukla kullanılmaktadır. Termal püskürtme yöntemleriyle çeşitli kaplama malzemeleri (oksit, karbür, metal ve metal alaşımlarına ait bileşikler) farklı altlık malzemelere kaplanabilmiştir. Bu kaplamalar yardımıyla altlık malzemenin yüzeyinde arzu edilen özelliklere sahip (aşınmaya, sürünmeye ve korozyona dirençli) tabakalar oluşturulmaktadır. Yapılan çalışmalar dikkate alındığında Termal Püskürtme ve Fiziksel Buhar Biriktirme yöntemlerinin tarım makinelerinde kullanıldığı görülmektedir. Yapılan çalışmalarda yüzey kaplama işlemi

uygulanan numunelerde oluşan aşınma direnci kaplama uygulanmayan numunelere göre daha fazla olduğu bildirilmiştir. Uygulanan teknik, kaplama kalınlığı ve altlık malzemenin özelliklerine göre aşınma dirençlerinde farklılıklar görülmüştür. Yapılan çalışmalar sonucunda tarım makinelerinin işleyici elemanlarının yüzey özelliklerini geliştirmek için kaplama işlemleri uygulanması, altlık malzeme bileşimini ve ısıl işlem tekniğini uygulamalarına göre daha ekonomik bir çözüm olduğu sonucuna varılabilir.



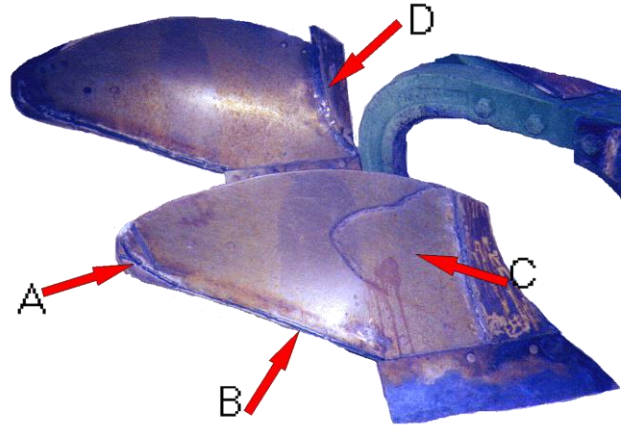
Şekil 15. HVOF tabancasının şematik görünüşü (TESLAB, 2020).

Figure 15. Schematic view of the HVOF gun



Şekil 16. D-GUN tabancasının şematik görünüşü (TESLAB, 2020).

Figure 16. Schematic view of the D-GUN gun



Şekil 17. Sert dolgu/Kaynak uygulaması (Çakmak, 1999)

Figure 17. Hardfacing / Welding application

### Kaynaklar

- Bülbül AE. 2013. Kaplamasız, PVD Tekniği ile TiN ve AlTiN Kaplanmış DIN 1.2379 Soğuk İş Takım Çeliğinin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
- Çakmak B. 1999. Yerli Yapım Bazı Tarım Makinalarında Malzeme Bakımından Kalite Kavramı ve Kalitenin İyileştirilmesi Üzerine Bir Araştırma. Doktora Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye.
- Çayan ME. 2013. Tungsten Karbonitür (WCN) İnce Fimlerin Reaktif Doğru Akım Manyetik Alanda Sıçratma Yöntemiyle Üretimi ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.

- Demirel M, Anil Ö. 2018. Polistiren Yüzeylerde Elektrolizsiz Kaplama Yöntemiyle trietilentetramin Kullanarak Bakır (Cu) Metali Kaplanmasına Yönelik Yeni Yöntem Geliştirilmesi. Kara Harp Okulu Bilimi Dergisi, 28(1): 49-71.
- Durmuş H, Türkmen M, Çalığı U, 2020. Farklı Altık Malzemelerine Uygulanan WC Kaplamaların Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi, Technological Applied Sciences (NWSATAS), 15 (2): 23-28 p. doi: 10.12739/NWSA.2020.15.2.2A0181
- EGE ELOKSAL. Available from: <http://www.egeelokal.com/tr/kaplama-cesitleri.html> [Accessed 10 September 2020]
- Ergül E. 2015. Silajlık Mısır Hasat Makinası Kıyıcı Bıçaklarının Termal Püskürtme Yöntemi Kullanılarak Kesme Etkinliklerinin Artırılması. Doktora Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye.
- İpek A. 2019. HVOF ile yapılan WC-Co Esaslı Kaplamaların Aşınma Davranışlarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye.
- Kang AS, Grewal JS and Cheema GS. 2017. 5th International Conference on Materials Processing and Characterization (ICMPC 2016). In: Singh S.K. (Editor). Effect of thermal spray coatings on wear behavior of high tensile steel applicable for tiller blades, Materials Today: Proceedings, 4:, 95-103 pp. ISBN: 2214-7853.
- Kaya Y, Aktürkoğlu F, Kahraman N. 2018. Coating of AISI 8620 steel by plasma spraying and characterization of coating, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 33(3): 1111-1122 p. doi: 10.17341/gazimmfd.416410
- Keleşoğlu E. 2011. Sert Kaplamalar: Üretim Teknikleri ve Özellikleri, Ege Basım 1, İstanbul.
- Metinoğlu F, Çakmak B, Balci Y, Ulusoy ME. 2006. Toprak İşleme Alet ve Makinelerinde İş Organlarının Aşınmasının Yakıt, Güç ve Zaman Gereksinimi Üzerindeki Etkileri. Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 2(2): 173-179.
- Oktay G. 2007. Katodik Ark FBB Yöntemi ile Ti6Al4V Altık Malzemesi Üzerine Kaplanmış Magnezyumun Morfolojisine BIAS Geriliminin Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- ORLASER. Available from: <http://orlasetturkiye.com/uygulama/7/laser-kaplama.html> [Accessed 10 September 2020]
- Özel S. 2013. Yüzey Kaplama İşlemlerinde Kullanılan Isıl Püskürtme Yöntemleri. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 2(1): 88-97.
- Şahin Ş, 2019. TAGUCHI yöntemi kullanılarak yapılan WC/Co, WC/CoCr HVOF Kaplamanın optimizasyonu ve aşınma özelliklerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye.
- Saygılı, YS. 2020. Farklı Yüzey Kaplama Yöntemleriyle Kaplanan Dişli Tırmıklarda Tribolojik Özelliklerin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye.
- Solak N. 2002. Nitrür Esaslı Sert Seramik İnce Film Kaplamaların Oksidasyon Davranışları. Doktora Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Sönmezöğlü S, Koç M, Akin S. 2012. İnce Film Üretim Teknikleri. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 28(5): 389-401.
- TESLAB. Sakarya Üniversitesi Termal Sprey Araştırma ve Uygulama Laboratuvarı. Available from: <http://teslab.sakarya.edu.tr/tr/icerik/10729/42142/termal-sprey-nedir.html> [Accessed 09 September 2020]
- TSTENIC. Available from: <http://www.tstenic.com.ceramiccoat.html>, [Accessed 11 September 2020]
- TÜİK. Türkiye İstatistik Kurumu. Available from: [http://www.tuik.gov.tr/VeriBilgi.do?alt\\_id=1006](http://www.tuik.gov.tr/VeriBilgi.do?alt_id=1006) [Accessed 08 September 2020]