

TOZ ENJEKSİYON KALIPLAMA İLE ÜRETİLMİŞ TUNGSTEN KARBÜR PARÇALARDA BAĞLAYICI GİDERME SÜRESİNİN VE PARÇA BOYUTLARININ AĞIRLIK KAYBINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Kamran SAMET^{1,*}, Harun KOÇAK², Oğuz YILMAZ¹, Asghar SAFARIAN³, Çetin KARATAŞ¹

¹ İmalat Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye

² Makine ve Metal Teknolojisi, Cihanbeyli MYO, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye

³ Young Researchers and Elite Club, Maragheh Branch, Islamic Azad University, Maragheh, Iran

ÖZET

Toz enjeksiyon kalıplama (TEK), plastik enjeksiyon kalıplama ve geleneksel toz metalürjisi tekniklerinin kombinasyonundan ortaya çıkmış bir yöntemdir. Bu metot besleme stoğunun hazırlanması, besleme stoğunun kalıba enjekte edilmesi, bağlayıcı ayrıştırma işlemi ve sinterleme olmak üzere dört temel adımdan meydana gelmektedir. TEK'te bağlayıcı ayrıştırma işlemi, sinterleme sonrasında parçada elde edilecek nihai mukavemete etki etmektedir. Aynı zamanda bağlayıcı ayrıştırma süresinin uzunluğu maliyeti arttırmaktadır. Bundan dolayı bağlayıcı ayrıştırma işlemi esnasında meydana gelen optimum ağırlık kaybının tespit edilmesi önemlidir. Bu çalışmada üç farklı kalınlıkta (4,3; 9,75 ve 12 mm) ve uzunlukta (15, 14, ve 11 mm) numuneler WC-% 9Co besleme stoğundan TEK yöntemi ile üretilmiştir. Daha sonra numuneler 24, 48, 60 ve 72 saat olmak üzere dört farklı sürede, etanol kullanılarak kimyasal bağlayıcı ayrıştırma işlemine tabi tutulmuştur. Deneyler sonucunda parçanın kalınlığı, hacmi, yüzey alanı/hacim (Ay/V) oranı ve bağlayıcı ayrıştırma süresinin ağırlık kaybına etkisi tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda ham mukavemetli WC-% 9Co parçalarda yüzey alanı/hacim (Ay/V) oranı arttıkça ağırlık kaybının da arttığı, kalınlık ve hacmin artması ağırlık kaybını azalttığı tespit edilmiştir. Etanol ortamında ve 60°C sıcaklıkta bağlayıcı ayrıştırma işlemi gerçekleştirilen numunelerde optimum sürenin 60 saat olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Toz enjeksiyon kalıplama, Bağlayıcı ayrıştırma, Bağlayıcı ayrıştırma süresi, Yüzey alanı/Hacim oranı, Kalınlık

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF BINDER REMOVAL DURATION AND PARTS DIMENSIONS ON WEIGHT LOSS IN MANUFACTURED TUNGSTEN CARBIDE PARTS BY POWDER INJECTION MOLDING

ABSTRACT

Powder injection molding (PIM) is a method which has emerged from combination of plastic injection molding and conventional powder metallurgy techniques. This method consists of four basic steps: preparing the feedstock, injection of feedstock in mold, binder removal and sintering. The binder removal process in PIM affects the obtained ultimate strength from the part after sintering. At the same time, the length of the binder removal period increases the cost. Therefore, it is important to determine the optimum weight loss during the binder removal process. In this study, samples at three different thicknesses (4,3; 9,75 and 12 mm) and lengths (15, 14, and 11 mm) were manufactured using the WC-9%Co feedstock by PIM. Subsequently, the samples were subjected to chemically binder removal process using ethanol in four different period (24, 48, 60 and 72 hours). As a result of the experiments, the effects of part thickness, volume, surface area / volume (Sa/ V) ratio of the part and binder removal time on weight loss was determined. As a result of the study, it was determined that weight loss increased with the surface area / volume (Sa / V) ratio increased in raw strength WC-9%Co parts, and weight loss decreased with thickness and volume increased. The optimum binder removal time was found to be 60 hours for the samples subjected to binder removal at 60 ° C in ethanol environment.

Keywords: Powder injection molding, Binder removal, Binder removal time, Surface area/Volume ratio, Thickness

1. GİRİŞ

Toz enjeksiyon kalıplama (TEK) plastik enjeksiyon kalıplama prensibine dayanmaktadır. Bu yöntem özellikle metal ve seramik malzemelerden, küçük boyutlu ve karmaşık şekilli parçaların düşük maliyetlerle üretilebilmesi için geliştirilmiştir. Bu tekniğin en büyük avantajı, parçalarda geometrik hassasiyet ve yüksek üretim oranlarında düşük maliyet sağlamasıdır. TEK yöntemi, besleme stoğunun hazırlanması, besleme stoğunun kalıba enjekte edilmesi, bağlayıcı ayrıştırma işlemi ve sinterleme olmak üzere dört temel adımdan meydana gelmektedir.

TEK yönteminde, metal/seramik tozları stearik asit, polimer esaslı malzemeler ve parafin mumu gibi bağlayıcılarla karıştırılarak besleme stoğu hazırlanmaktadır. Besleme stoğu içerisindeki bağlayıcılar, kalıplama yapılabilmesi için toz malzemelere akışkanlık özelliği kazandırmaktadır. Enjeksiyon işleminin ardından kalıplanan parça içerisindeki bağlayıcıların bir kısmı sinterleme öncesinde bir kısmı da sinterleme esnasında ayrıştırılmaktadır. Bağlayıcı ayrıştırma işlemi, tozları bir arada tutan bağlayıcıların parça içerisinde çıkarılmasıdır. Bağlayıcı ayrıştırma işleminin hedeflerinden birisi, bağlayıcıların en kısa sürede parçadan uzaklaştırılmasıdır. Bağlayıcı ayrıştırma işleminde, bağlayıcıların kimyasal özellikleri, bağlayıcı uzaklaştırma koşulları, işlem süresi ve parçanın boyut durumu, bağlayıcının uzaklaştırma hızını belirlemektedir. Bağlayıcılar kimyasal, ısı ve katalitik olmak üzere üç farklı şekilde parça içerisinde çıkarılmaktadır.

Kimyasal bağlayıcı ayrıştırma işleminde organik çözücü içerisinde düşük molekül ağırlıklı bağlayıcının yüksek çözünürlüğünden faydalanılmaktadır. Bu işlem, üründe kanallar veya gözenekler oluşturmaktadır. Böylece parçayı termal bağlayıcı ayırma işlemine hazırlamaktadır. Termal bağlayıcı ayırma işlemi esnasında, gözenekler indirgenen bağlayıcının daha kolay bir şekilde yüzeye difüzyon olmasını sağlamaktadır. Bu nedenle termal bağlayıcı ayrıştırma süresi azalmış olmaktadır [1-3]. Lin ve German çalışmalarında kimyasal bağlayıcı ayırma işleminin önemini vurgulamış, bu işlem yapılmadığında parçalarda çatlama, bozulma ve kayma gözlemlenmiştir. Bu hataların bağlayıcının şişmesi ve yumuşamasından kaynaklandığını belirtmişlerdir. Daha önceki çalışmalar kimyasal bağlayıcı ayırma işleminin dört aşamada olduğunu göstermektedir [4]. İlk olarak, çözücü molekülleri jel üreterek bağlayıcıya nüfuz eder. Bağlayıcı-çözücü etkileşimleri yeterince kuvvetli olduğunda jel çözücü içerisinde parçalanır. Daha sonra çözücü yüzeye doğru yayılır ve parçadan uzaklaşır [5]. Ayrıştırma için kullanılan en genel çözücüler, etil alkol, etilen klorür, triklor etilen, pentan gazı, metil klorür, aseton, etanol, hekzan ve heptandır [3].

Parça üretiminde çatlama, bozulma ve kayma gibi problemleri ortadan kaldırmak için bağlayıcı ayrıştırma işleminde ağırlık kaybı optimum olmalıdır [1]. Çünkü bağlayıcılar, parçanın hacimce yaklaşık % 40'ını oluşturmaktadır ve bütün bağlayıcıların ayrıştırılması tozların dökülmesi sonucunda parçaların bozulmasına yol açmaktadır. Hatasız parça üretimi için literatürde farklı parametrelerin parça ağırlık kaybına etkisi incelenmiştir.

Ayrıştırma süresinin ağırlık kaybına etkisinin araştırıldığı çalışmalarda; Cheng ve arkadaşları tungsten-bakır tozları kullanılarak TEK yöntemi ile parça üretimi gerçekleştirmişlerdir. Bağlayıcı ayrıştırma deneyleri sonucunda ayrıştırma süresinin artmasıyla birlikte bağlayıcı kaybında artış olduğunu tespit etmişlerdir [6]. Seeranea ve arkadaşları, TEK ile üretilmiş Ti6Al4V parçaların kimyasal bağlayıcı ayrıştırma işleminde sıcaklık ve süre parametrelerinin ağırlık kaybına etkisini incelemişlerdir. Ağırlık kaybının sıcaklık ve süreyle doğru orantılı olarak değiştiği sonucuna varmışlardır [7]. Thomas-Vielma ve arkadaşları, Ani ve arkadaşları, Kamarudin ve arkadaşları kimyasal bağlayıcı ayrıştırmada sıcaklık ve zamana bağlı olarak ağırlık kaybının arttığını tespit etmişlerdir [8, 9].

Ayrıştırma ortamının ağırlık kaybına etkisinin araştırıldığı bir çalışmada; Amin ve arkadaşları, farklı bağlayıcı formülüne sahip besleme stoğundan hazırlanan parçaların kimyasal bağlayıcı ayrıştırma

aşamasını araştırmışlardır. Çalışmaları sonucunda bağlayıcı ayrıştırma kullanılan kimyasalın ve sıcaklığın ağırlık kaybına etki eden faktörler olduklarını belirlemişlerdir [10].

Parçaların yüzey alanı/hacim oranının ağırlık kaybına etkisinin araştırıldığı bir çalışmada ise bu oranın sıcaklık ile beraber artmasının parçadaki ağırlık kaybını arttırdığı görülmüştür. Yapılan diğer çalışmalarda ise parça kalınlığının artmasının ağırlık kaybını azalttığı işlem atmosferinin sıcaklığı yükseldikçe ağırlık kaybının da arttırdığı gözlemlenmiştir [7, 10, 11]. Ayrıca kimyasal bağlayıcı ayrıştırma işleminde toz yüzdesi, bağlayıcı yüzdesi ve toz boyutu gibi parametrelerin parçalardaki boyut değişimine ve parçanın ağırlık kaybına etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonucunda besleme stoğundaki toz yüzdesinin artmasının ağırlık kaybını azalttığı, besleme stoğundaki bağlayıcı yüzdesinin artması ise ağırlık kaybını arttırmıştır. Toz boyutunun artması bağlayıcı ayrıştırma işleminin süresini arttırmıştır. Toz boyutunun büyük olması ağırlık kaybını arttırmıştır [12].

Literatürde farklı birçok besleme stoğunun bağlayıcı ayrıştırma işlemindeki ağırlık kaybı sıcaklık, zamana ve belirtilen diğer parametrelere bağlı olarak incelenmiştir. Fakat WC-% 9Co besleme stoğunun bağlayıcı ayrıştırma aşamasındaki parça kalınlığının, hacminin, yüzey alanı/hacim (Ay/V) oranının ve bağlayıcı ayrıştırma süresinin ağırlık kaybına etkisi incelenmemiştir. Bu çalışmada TEK yöntemi ile üretilmiş WC-%9 Co numunelerin kalınlığı, hacmi, Ay/V oranı ve bağlayıcı ayrıştırma süresi dikkate alınarak etanol ortamında ağırlık kaybı araştırılmıştır. Çalışma sonucunda bu parametrelerin parçadaki ağırlık kaybı ile ilişkisi gözlemlenmiştir. WC-%9Co numuneler için optimum ayrıştırma süresi tespit edilmiştir. Böylece literatürde ilk kez 4,3; 9,75, 12 mm kalınlık ve 15, 14, 11 mm uzunluktaki WC-%9Co parçaların bağlayıcı ayrıştırma işlemindeki ağırlık kaybı sıcaklık ve süre etkisi ile araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Deneylerde kullanılan WC-%9Co besleme stoğu RYER firmasından hazır olarak temin edilmiştir. Besleme stoğunun karakteristiği ve kimyasal bileşimi Tablo 1 ve Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Besleme stoğu karakteristiği

Besleme Stoğu Türü	Tedarikçi	Üretim Şekli	Toz Şekli	Toz Boyutu (µm)		
				D ₁₀	D ₅₀	D ₉₀
WC-% 9Co	RYER	Karışık Atomizasyon	Karmaşık Şekli	0,15	0,28	0,52

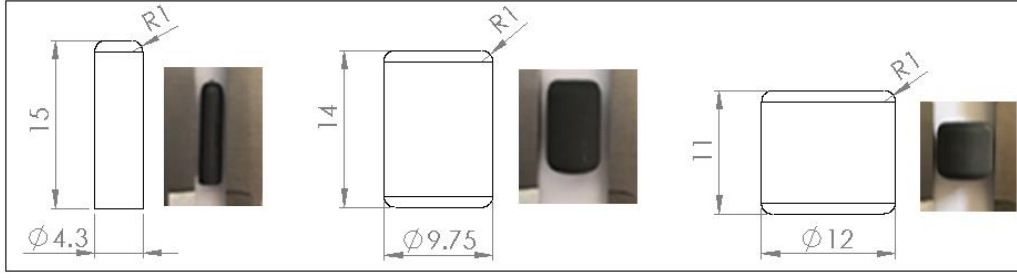
Tablo2. Besleme stoğunun kimyasal bileşimi

Element	Al	C	Cr	Cu	Fe	Mo	Ni	W	Co	O	S
%	0,00	5,54	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	85,43	8,94	0,05	0,00

Besleme stoğu, Arburg Allrounder 220 S/250-60 toz enjeksiyon kalıplama tezgahı yardımıyla kalıplanarak farklı boyutlarda deney numuneleri üretilmiştir. Kalıplama işleminde kullanılan parametreler Tablo 3.’te verilmiştir. Farklı fiziksel özelliklerin ayrıştırmaya etkisini görebilmek için numuneler farklı geometrilerde üretilmiştir. Enjeksiyonu yapılmış parçaların geometrik özellikleri Şekil 1 ve Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 3. TEK Parametreleri

Enjeksiyon hızı (cm ³ /s)	Enj. basıncı (bar)	Enjeksiyon süresi (s)	Ütüleme basıncı (bar)	Enjeksiyon Sıcak. (°C)	Kalıp sıcaklığı (°C)	Soğuma süresi (s)
50	120	2	50	200	45	5

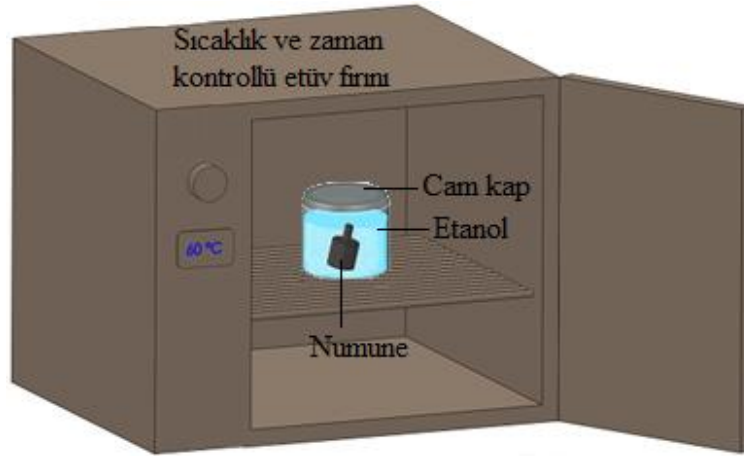


Şekil 1. TEK yöntemi ile hazırlanmış farklı fiziksel özellikteki WC-% 9Co numuneler

Tablo 4. Kalıplanmış numunelerin geometrik özellikleri

Kalınlık (mm)	Boy (mm)	Yüzey Alanı (mm ²)	Hacim (mm ³)	Ortalama ağırlık (N)	A _y /V oranı (mm ² /mm ³)
4,3	15	231,7	217,8	14,7	1,06
9,75	14	578,1	1045,2	69,6	0,55
12	11	640,8	1244,1	84,4	0,51

Enjeksiyon işleminin ardından numunelerin hassas terazide kütleleri ölçüldükten sonra numunelere kimyasal bağlayıcı giderme işlemi uygulanmıştır. Kimyasal çözündürmeyle bağlayıcı giderme işleminde numuneler, içerisinde etanol bulunan cam kap içerisine yerleştirilmiş ve kabın üzeri kapatılmıştır. Çözündürme işleminde 1 cm³ parça hacmi için 30 cm³ etanol kullanılmıştır. Daha sonra kap fırın içerisinde 60 °C sıcaklıkta farklı sürelerde bekletilmiş ve numuneler kap içerisinden çıkartılarak fırında kurutulmuştur. Kimyasal bağlayıcı giderme sistemi şematik olarak Şekil 2’de verilmiştir. Bu işlemlerin ardından numunelerin kütleleri tekrar ölçülerek sürenin ve parça boyutlarının bağlayıcı gidermeye etkileri incelenmiştir. Deney tasarımı Tablo 6’da verilmiştir.



Şekil 2. Kimyasal bağlayıcı giderme sistemi

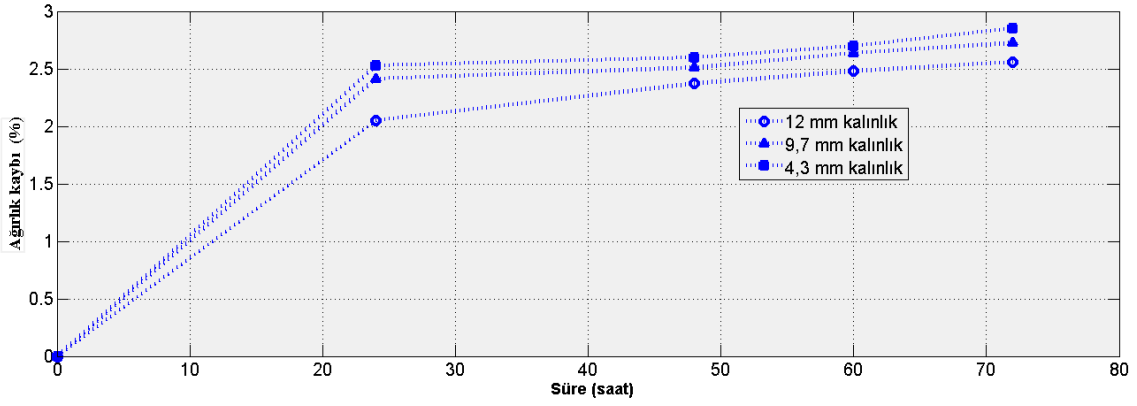
Tablo 6. Deney tasarımı

Kalınlık (mm)	4,3	9,75	12
Deney Süresi (saat)	24	24	24
	48	48	48
	60	60	60
	72	72	72
	Sıcaklık: 60 °C, Kimyasal: Etanol		

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

3.1. Bağlayıcı Ayırma Süresinin Parça Ağırlık Kaybına Etkisi

Kimyasal bağlayıcı ayırma işleminde bekleme süresinin fazla olması numunenin çözücü ile daha fazla etkileşim kurması anlamına gelmektedir. Dolayısıyla çözücü, bağlayıcıyı çözmek için daha fazla zaman bulur ve daha çok miktarda bağlayıcı ayrışmaktadır. Şekil 3'te görüldüğü gibi 72 saat bekletilmiş numunelerde ağırlık kaybı en fazla olurken 24 saat bekletilmiş numunelerde ağırlık kaybı en az olmuştur. 12 mm kalınlığındaki numunede 48 saat bekleme süresi sonucunda % 2,37 ağırlık kaybı gerçekleşirken 72 saat bekleme süresi sonucunda % 2,56 ağırlık kaybı gerçekleşmiştir. Bekleme süresi 60 saat ve 72 saat olan deneyler arasında ayrılan bağlayıcı miktarı diğer zaman aralıklarına göre daha az olmaktadır. Bu da ayrılan bağlayıcı miktarı hızının zamanla düştüğünü göstermektedir. Bu sonuçlar doğrultusunda deneylerde kullanılan WC-% 9Co besleme stoğu için optimum bağlayıcı giderme süresinin 60 saat olduğunu göstermektedir. Liu, Ani, Cheng ve arkadaşlarının yaptığı çalışmalarda bekleme süresi arttıkça ham parçada ağırlık kaybının artmakta olduğu onlarda belirtmektedir [6, 13, 14].



Şekil 3. Farklı kalınlıklardaki ham numunelerde ayrıştırma sonrası meydana gelen ağırlık kayıpları

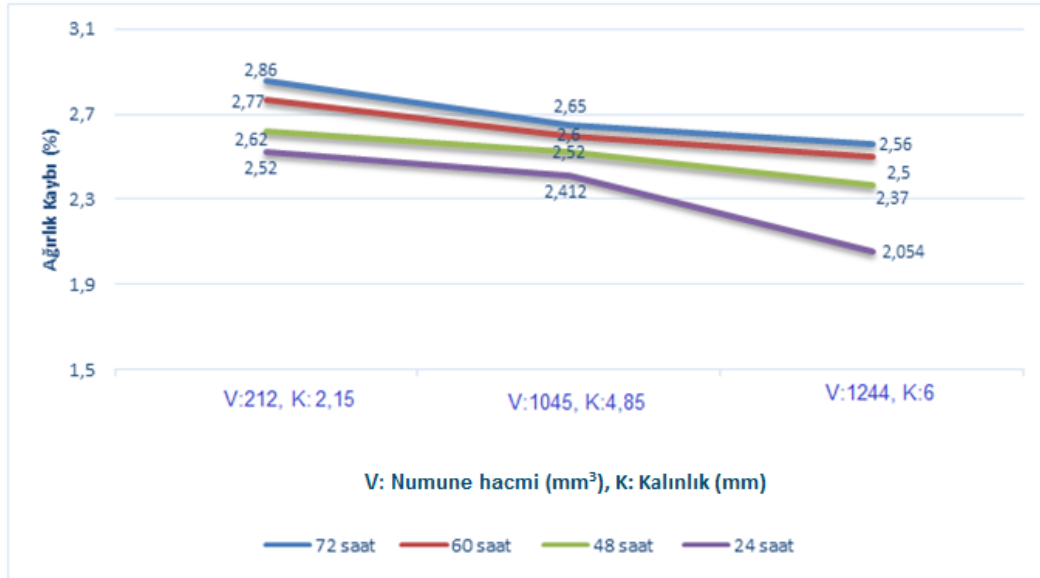
Literatürdeki diğer çalışmalarda da bağlayıcı ayırma süresinin artması ile ağırlık kaybının arttığı görülmüştür [10, 15-17]. Heng ve arkadaşlarının yaptığı çalışma gibi bu çalışmada da WC-% 9Co besleme stoğu için bağlayıcı ayırma işleminde ağırlık kaybı, bekleme süresi ile doğru orantılı değişmiştir. Numunelerden bağlayıcının ayrıştırılması için 24 saat, 65°C sıcaklıkta ve heptan ortamında deneyler gerçekleştirilmiştir. 24 saat sonunda bağlayıcıda hacimce yaklaşık % 60 oranında bir ağırlık kaybı tespit etmişlerdir [18]. Bu çalışmada ise WC-%9Co besleme stoğundan hazırlanan numunelerden bağlayıcının ayrıştırılması için 24 saat, 60°C sıcaklıkta ve etanol ortamında kimyasal bağlayıcı ayrıştırma işlemi yapılmıştır. Bu işlem sonucunda bağlayıcı hacimce % 67 oranında bir ağırlık kaybı belirlenmiştir. Aradaki % 7'lik farkın deneylerde kullanılan kimyasallardan ve besleme stoklarının karakteristik özellikleri arasındaki farktan kaynaklanmaktadır.

3.2. Numune Hacminin ve Kalınlığının Ağırlık Kaybına Etkisi

Numune hacminin ve kalınlığının kimyasal bağlayıcı ayırma işlemi esnasındaki ağırlık kaybına etkisi Şekil 3'te gösterilmiştir. Grafiğe göre numune hacminin artmasıyla birlikte ağırlık kaybı azalmıştır. Çünkü numune hacmi arttıkça parçanın içerdiği bağlayıcı hacmi de artmaktadır. Bu nedenle numune içerisindeki bağlayıcıyı aynı bekleme süresi ile çözmek mümkün olmamaktadır. Şekil 4'te görüldüğü gibi büyük hacimli parçaların ağırlık kayıpları daha az olmuştur. Örneğin, 60 saat bekleme süresiyle yapılmış ayrıştırma işleminde 1244 mm³ hacmindeki numunede % 2,56 ağırlık kaybı gözlemlenirken 212 mm³ hacmindeki numunede ağırlık kaybı % 2,86 olmuştur. Ancak yine de sadece numune hacmi

kimyasal bağlayıcı ayırma işleminde belirleyici bir parametre olmamaktadır. Hacmi fazla olan bir numunenin yüzey alanı az ya da hacmi az olan numunenin yüzey alanı fazla olabilir. Bundan dolayı kimyasal bağlayıcı ayrıştırma işleminde, numune hacminin ağırlık kaybına etkisi incelenirken parçanın yüzey alanı da hacim ile birlikte değerlendirilmelidir.

Kimyasal bağlayıcı ayırma işleminde bağlayıcının ayrışması parça yüzeyinden parçanın merkezine doğrudur. Bu nedenle parçanın merkezden yüzeye olan uzaklığı kalınlık olarak ifade edilmiştir. Kalınlığın artması, çözücü sıvının yüzeyden merkeze difüzyon olmasını zorlaştırır ve bu yüzden ayrılan bağlayıcı miktarı azalmaktadır. Bu da ağırlık kaybının azalmasına sebep olmaktadır. Şekil 4'te görüldüğü gibi parça kalınlığının artmasıyla birlikte ağırlık kaybı azalmıştır. Parça kalınlığı 12 mm olan numune 48 saat sonucunda % 2,37 ağırlık kaybederken 4,3 mm kalınlığındaki numune 48 saat sonucunda % 2,62 ağırlık kaybetmiştir. Kalınlığın bağlayıcı ayrıştırma süresine etkisi incelendiğinde 9,75 mm kalınlıktaki numunenin % 2,41 oranında ağırlık kaybetmesi için 24 saat beklenmesi gereken, 12 mm kalınlıktaki numunenin aynı miktarda ağırlık kaybetmesi için 48-60 saat arasında bağlayıcı ayrıştırma işlemi uygulanması gerektiği tespit edilmiştir. Literatürde de parça kalınlığındaki artışın kimyasal bağlayıcı ayrıştırma süresini arttırdığı belirtilmiştir. Fan ve arkadaşları çalışmalarında numune kalınlığının 2 mm den 8 mm ye çıkması bağlayıcı ayırma süresini 0,8 saatten 12,9 saate çıkardığı tespit etmişlerdir [20]. Ayrıca Oliveira ve Chen çalışmalarında parça kalınlığının bağlayıcı ayırma sürecinde ağırlık kaybına etkisinin olduğunu tespit etmişlerdir. Parça kalınlığının artması ile ağırlık kaybının azaldığını belirtmişlerdir [6, 17]. Bu çalışmada da parça kalınlığının artması ile bağlayıcı ayrıştırma süresinin artması gerektiği görülmüştür.

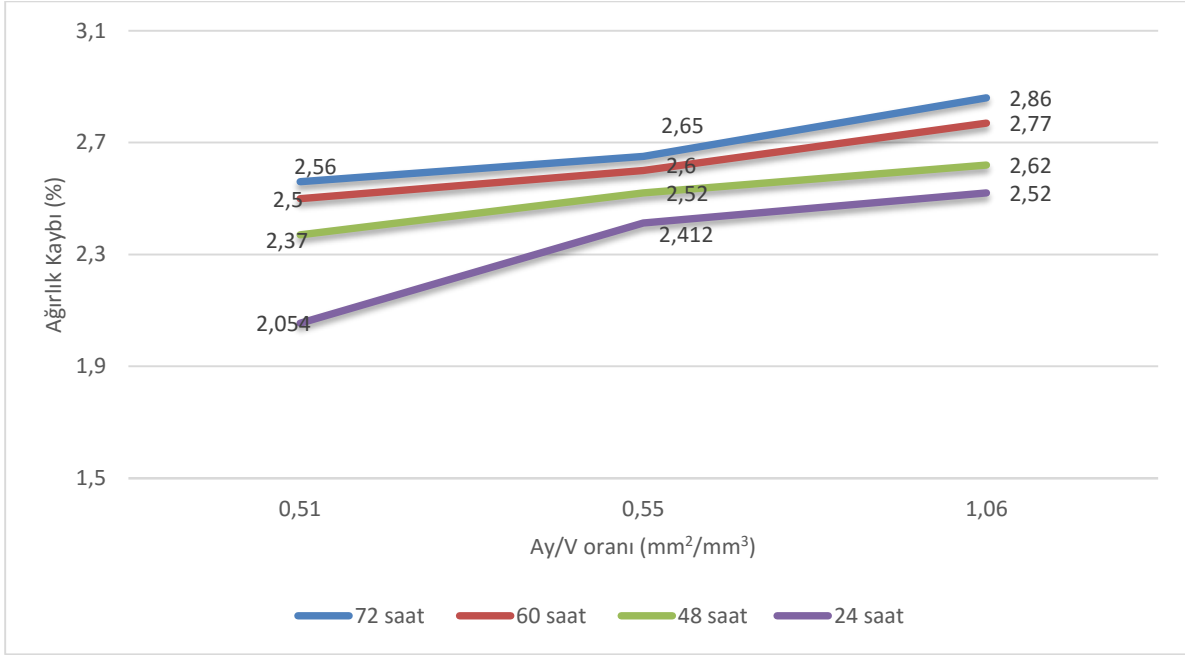


Şekil 4. Numune hacminin ağırlık kaybına etkisi

3.3. Yüzey Alanı/Hacim (Ay/V) Oranının Parça Ağırlık Kaybına Etkisi

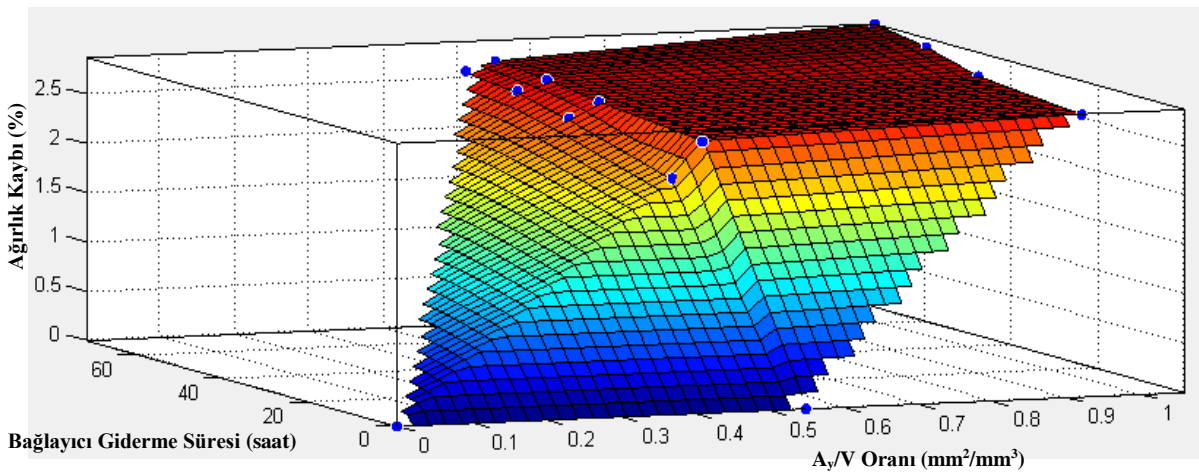
DeneySEL sonuçlarda belirtildiği üzere yalnızca hacim veya yüzey alanının kimyasal bağlayıcı ayrıştırma işleminde yeterli olmamaktadır. Bundan dolayı yüzey alanları parça hacmine bölünerek (Ay/V) birim hacme karşılık gelen yüzey alanı göz önüne alınmıştır. Böylece çözücüyle etkileşim halindeki yüzey alanları daha doğru bir şekilde karşılaştırılabilmiştir. Ay/V oranının artması çözücü ile bağlayıcı arasında temas alanının artmasına neden olmaktadır. Bu da beraberinde daha hızlı bağlayıcı ayrıştırma işlemini getirmektedir. Şekil 5'te Ay/V oranının ağırlık kaybına etkisi gösterilmiştir. Ay/V oranı arttıkça ağırlık kaybının da arttığı tespit edilmiştir. Ay/V oranının maksimum (1,06) olduğu değerde ağırlık kaybı da maksimuma (% 2,86) ulaşmıştır. Oliveira ve arkadaşları yaptıkları çalışmada

Ay/V oranının artması ile birlikte ayrıştırma süresinin kısaldığı, ağırlık kaybının arttığı sonucuna ulaşmıştır. Çalışmalarında 60 °C sıcaklıkta 1,07 Ay/V oranı için 6 saatte bağlayıcıların % 95'i ayrıştırılmıştır. Bu oranın artması sonucu bağlayıcıyla etkileşim halindeki çözücü miktarının artmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir [19]. Bu çalışmamızda benzer Ay/V oranı (1,06) için 72 saatte bekleme süresinde % 2,86 ağırlık kaybı gerçekleşmiştir. Bu da besleme stoğundan bağlayıcının % 93'nün ayrıştırıldığı anlamına gelmektedir. Çalışmamızda da literatürdeki gibi Ay/V oranı arttıkça ham mukavemetli parçada bağlayıcı ağırlık kaybının daha fazla olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5. Ay/V Oranının Ağırlık Kaybına Etkisi

Şekil 6'da bekleme süresi ve Ay/V oranının ağırlık kaybına olan etkisi üç boyutlu yüzey grafiği ile gösterilmiştir. Grafikte deneysel çalışmada elde edilen değerler işaretlenmiştir. Diğer noktalar doğrusal interpolasyon ile hesaplanmış ve birleştirilerek grafik elde edilmiştir. Grafığe göre bekleme süresinin ve Ay/V oranının artması ile ağırlık kaybında artış olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6. Bekleme Süresi ve Ay/V Oranının Ağırlık Kaybına Etkisi

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, TEK yöntemi ile üretilmiş WC-% 9Co parçaların kimyasal bağlayıcı ayrıştırma esnasında ham mukavemetli parçalarda meydana gelen ağırlık kaybına bekleme süresi, parça hacmi, kalınlığı ve yüzey alanı/hacim (Ay/V) oranının etkisi incelenmiştir. Buna göre elde edilen sonuçlar aşağıda görülmektedir:

- Her bir parametrenin WC-% 9Co parçanın ağırlık kaybına önemli etkisi olduğu belirlenmiştir. Hacim ve kalınlığın fazla olması çözücünün parça içerisindeki bağlayıcılara difüzyon olmasını zorlaştırması sebebiyle ayrıştırma için daha uzun bekleme süresi gerektirmiştir.
- Kimyasal ayrıştırma işleminde bağlayıcının çözünmesi yüzeyden başlamaktadır. Dolayısıyla çözücü ile etkileşim halindeki Ay/V oranı arttıkça çözünen bağlayıcı miktarı artmıştır.
- Bekleme süresinin artmasıyla birlikte ayrılan bağlayıcı miktarı da artmıştır. Ancak bekleme süresi 60 saat ve 72 saat olan deneyler arasında ayrılan bağlayıcı miktarı diğer zaman aralıklarına göre daha az olmuştur. Bu da ayrılan bağlayıcı miktarı hızının zamanla düştüğünü göstermektedir.
- WC-% 9Co besleme stoğu için optimum kimyasal bağlayıcı ayrıştırma süresinin etanol ortamında ve 60 °C sıcaklıkta 60 saat olduğu belirlenmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmaya destek sağlayan 115M437 kodlu proje kapsamında TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

REFERANSLAR

- [1] German, R.M. Powder injection molding. Cambridge Univ. Press1990.
- [2] Hwang, K.,S. Fundamentals of debinding processes in powder injection molding. Reviews in particulate Materials 1996; 4: 71-104.
- [3] Karataş, Ç. and Sarıtaş, S. Toz Enjeksiyon Kalıplama: Bir Yüksek Teknoloji İmalat Metodu. Journal of Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 1998; 13.2: 193.
- [4] Lin, S. and German R.M., Extraction debinding of injection molded parts by condensed solvent. Powder Metall. Int. 1989; 21(5): p. 19-24.
- [5] Billmeyer, F.W. Textbook of Polymer Science, John Wiley & Sons. INC, New York, 1971.
- [6] Jigui C., Lei W., Yanbo C., Jinchuan Z., Peng S. and Jie D. Fabrication of W-20wt.% Cu alloys by powder injection molding. Journal of Materials Processing Technology 2010; 210.1: 137-142.
- [7] Chikwanda H., Machaka, R. A study of solvent debinding variables on Ti6Al4V green bodies 2014.
- [8] Thomas-Vielma P., Cervera A., Levenfeld B. and Varez A. Production of alumina parts by powder injection molding with a binder system based on high density polyethylene. Journal of the European Ceramic Society 2008; 28.4: 763-771.

- [9] Kamarudin, N.H. and Ibrahim, M.H.I. Effect of Immerse Temperature and Time on Solvent Debinding Process of Stainless Steel 316L Metal Injection Molding. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing 2017; p. 012016.
- [10] Amm, A.M., Ibrahim, M.H.I. and Mustafa, R.A.N. Effect of Solvent Debinding Variables on Green Compact with Different Binder Formulation. 2006.
- [11] Li Y., Jiang F., Zhao L. and Huang B. Critical thickness in binder removal process for injection molded compacts. *Materials Science and Engineering: A*, 2003, 362.1: 292-299.
- [12] Westcot E., C. Binet A., and German R.M. In situ dimensional change, mass loss and mechanisms for solvent debinding of powder injection molded components. *Powder metallurgy* 2003; 46(1): p. 61-67.
- [13] Liu W., Yang X., Xie Z., Jia C. and Wang L. Novel fabrication of injection-molded ceramic parts with large section via partially water-debinding method. *Journal of the European Ceramic Society* 2012; 32.10: 2187-2191.
- [14] Sarizal M.A., Andanastuti M., Norhamidi M. and Jaharah A.G. Binder removal via a two-stage debinding process for ceramic injection molding parts. *Ceramics International* 2014; 40.2: 2819-2824.
- [15] Wensheng L., Qingshan C., Yunzhu M., Qianfang H. and Jiajia Z. Fabrication of 93W–Ni–Fe alloy large-diameter rods by powder extrusion molding. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials* 2014; 42: 233-239.
- [16] Yang X.F., Xie Z.P., Liu G.W. and Huang Y. Dynamics of water debinding in ceramic injection molding. *Advances in Applied Ceramics* 2009; 108.5: 295-300.
- [17] Zainon N., Hussein Shah S., Omar M.A. and Marzuki M. Solvent Extraction Characterization on Injection Molding of Mg Alloy. In: MATEC Web of Conferences. EDP Sciences 2017; p. 01050.
- [18] Heng S.Y., Raza M.R., Muhamad N., Sulong A.B. and Fayyaz A. Micro-powder injection molding (μ PIM) of tungsten carbide. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials* 2014; 45: 189-195.
- [19] Ricardo V.B., Valdir S., Márcio C.F. and Alfredo T.N.P. Ceramic injection molding: influence of specimen dimensions and temperature on solvent debinding kinetics. *Journal of materials processing technology* 2005; 160.2: 213-220.
- [20] Fan, YL., Hwang, KS., Wu, SH. et al. Minimum amount of binder removal required during solvent debinding of powder-injection-molded compacts. *Metallurgical and Materials Transactions A* 2009; 40.4: 768-779.