

Mustafa Yurdakul
Doç.Dr.

Makine Mühendisliği Bölümü,
Gazi Üniversitesi, Ankara.

Emre Arslan
Mak. Yük. Müh.

Etimesgut Belediyesi, Ankara

Yusuf Tansel İç
Öğr. Gör. Dr.

Endüstri Mühendisliği Bölümü,
Başkent Üniversitesi, Ankara.

Birincil İmalat Proseslerinin Seçiminde Kullanılacak Bir Karar Destek Sisteminin Geliştirilmesi

Günümüzde imalat sanayinde kullanılan proseslerin sayısı ve yetenekleri oldukça artmıştır. Bu artışların bir sonucu olarak da prosesler arasında en uygun olanını seçme işinin insan tecrübesi yerine sistematik bir şekilde yapılma ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu makalede birincil imalat proseslerinin seçiminde kullanılacak bir karar destek sistemi (PROSEÇ) geliştirilmiştir. Visual Studio 2008' de geliştirilen PROSEÇ; malzeme, yıllık üretim miktarı, şekil tipi, parça kalınlığı gibi parça özelliklerini kullanarak aday prosesleri belirler ve kalan aday prosesler arasında yaptığı maliyet analizi ile en düşük üretim maliyetine sahip aday süreci kullanıcıya önerir. Çok sayıda pratik uygulama ile test edilen PROSEÇ genellikle pratikte kullanılan süreci veya daha ekonomik olan başka bir aday süreci önermiştir. Kullanımı kolay ve geliştirmeye açık bir yapıya sahip PROSEÇ in kullanıcılar tarafından en faydalı bulunan özelliği ise proses seçiminde yaygın ve tanınan proseslerin yerine daha az bilinen ama daha ekonomik olanları önermesi olmuştur.

Anahtar Kelimeler: İmalat prosesleri, Karar destek sistemi, Birincil imalat proseslerinin seçimi.

1. GİRİŞ

Birincil imalat prosesleri parçaya tasarımda verilen nihai şeklini kazandırmak için gerçekleştirilen şekillendirme proseslerini kapsar [1]. Birincil imalat prosesleri literatürde yedi ayrı kategoride sınıflandırılmaktadır [2,3]: 1) Döküm, 2) Kalıplama, 3) Toz Metalürjisi, 4) Plastik Şekillendirme, 5) Talaşlı İmalat, 6) Kompozit şekillendirme ve 7) Buhar Biriktirme. Ancak bu çalışmada esas olarak herhangi bir ikincil prosese ihtiyaç olmadan tek bir birincil prosesle parçanın son şeklinin ve özelliklerinin kazandırıldığı kabul edilmiştir. Birincil imalat proseslerine ilişkin literatür incelendiğinde, tek bir birincil prosesin uygulanmasıyla bir imalat işlemi için yeterli düzeyde tüm tasarım beklentilerinin karşılanabileceği belirtilmektedir [1]. Bu çalışmada sadece birincil imalat proseslerinin seçimine yönelik bir karar destek sistemi geliştirilmiştir.

Bir parçanın şekillendirmesi için gerekli birincil prosesinin seçimi, ölçüler, şekil, kalınlık, toleranslar, malzeme, üretim miktarı gibi pek çok farklı faktörün dikkate alınması gereken karmaşık bir

zorlaştrın önemli bir unsurdur [5]. Bir parçayı üretilebilecek proseslerin çokluğu nedeniyle, literatürde birincil imalat proseslerinin seçimi, belirli kriterleri sağlamayan prosesleri elemek suretiyle işe uygun proseslerin belirlenme işlemi olarak tanımlanmaktadır [6]. Literatürde, Bilgisayar Destekli Malzeme ve Proses Seçimi [7], Tasarım Danışmanı [8], Malzeme ve Proses Seçimi [9,10], Cambridge Proses Seçici [11,12], ve İmalat Danışman Sistemi [1,13] gibi birincil imalat proseslerinin seçiminde kullanılacak tarzda çalışmalara rastlanmaktadır. Bu çalışmalarda geliştirilen karar destek sistemlerinin ilk adımında, bir veri giriş ekranından kullanıcıya sorular yöneltilmektedir. Sorulara kullanıcı tarafından verilen yanıtlar, veri tabanında bulunan proseslerin karakteristikleri ile karşılaştırılarak uygun prosesler liste halinde ekranda sıralanmaktadır [4,7-8]. İkinci adımda ise ilk aşamada elde edilen prosesler, karar destek sistemi içinde yer alan çok kriterli karar verme modeline [4, 9-10], maliyet analizi modeline [3,6,11] veya bu modellerin her ikisini kapsayan bir başka modele [1,7,14] aktarılmaktadır. Prosesler bu modellerde gerçekleştiren işlemlerin sonucuna göre en iyiden en kötüye doğru sıralanmaktadır. Eğer karar

destek sistemi bu tür modellere sahip değilse sıralama yapılmaksızın ilk adım sonunda işlem sona erdirilmektedir [8,12-13]. Bu çalışmalar hakkında daha detaylı bilgiler [1,4,14] numaralı kaynaklarda bulunmaktadır. Djassemi [6], yukarıda belirtilen çalışmalar içerisinde Cambridge Proses Seçim Modülü'nün (CPSM) birincil imalat proses seçimi alanında ticari olarak satılan ve kolaylıkla elde edilebilecek tek yazılım olduğunu belirtmektedir. Ayrıca Djassemi [6], CPSM'nin literatürde bulunan ve yukarıda belirtilen çalışmalardan farklı olarak metal, polimer, seramik ve kompozit malzemelere ilişkin verileri bünyesinde barındırdığını, programın malzeme seçiminin yanı sıra proses seçimini de gerçekleştirilebildiğini belirtmektedir. CPSM'nin seçtiği prosesler metal şekillendirme proseslerini kapsamaktadır [6].

Literatür taraması sonucunda mevcut çalışmaların bir kısmının özel proseslere inmeden sadece genel proses seçimine (döküm, talaşlı imalat, dövme, ekstrüzyon) odaklanmış çalışmalar olduğu [13] görülmektedir. Diğer bir kısım çalışma ise, tüm imalat proseslerini kapsamaya çalışmakla birlikte, parçanın tasarım bilgilerine yer vermeden sadece yapılacak üretimin parti sayısı, parça boyutları, üretimin otomasyona uygunluğu, kullanılacak malzeme, ürün kalitesi ve maliyet değerlendirmesi gibi genel özelliklere göre değerlendirme yapmaktadır [6,9,10,14]. Ayrıca bu gruptaki çalışmalar alternatif prosesleri çok kriterli karar verme yöntemlerini kullanarak puanlandırmakta ve alternatifleri sıralamaktadır. Başka bir kısım çalışma ise; delme, tornalama, frezeleme gibi talaşlı imalat ikincil proseslerle birlikte kum kalıba döküm, basınçlı döküm, metal kesme ve ekstrüzyon gibi bazı birincil prosesleri önermekte ve sadece kullanılacak malzemeye uygun prosesleri seçmektedir [1,4]. Bu iki grubun dışında diğer bir kısım çalışma ise, ağırlıklı olarak maliyet analizine odaklanan proses seçim çalışmalarıdır [3,7,11]. Literatürdeki çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada, yoğun kullanımı olan tüm birincil proseslerin kapsadığı bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Ayrıca bu çalışma ile literatürde farklı kaynaklarda bulunan birincil proseslere ilişkin dağınık durumdaki bilgiler bir arada toplanarak, seçim işleminde kullanılacak akış şemaları oluşturulmuştur. Diğer taraftan her birincil proses için farklı değerlendirmelere sahip olan maliyet faktörleri de bir karar destek sistemi içerisinde bütünleştirilmiştir. Böylece proses kabiliyetlerini tasarım unsurları çerçevesinde sorgulayan ve maliyet analizi de gerçekleştiren bir birincil imalat süreci seçimi karar destek sistemi (PROSEÇ) oluşturulmuştur.

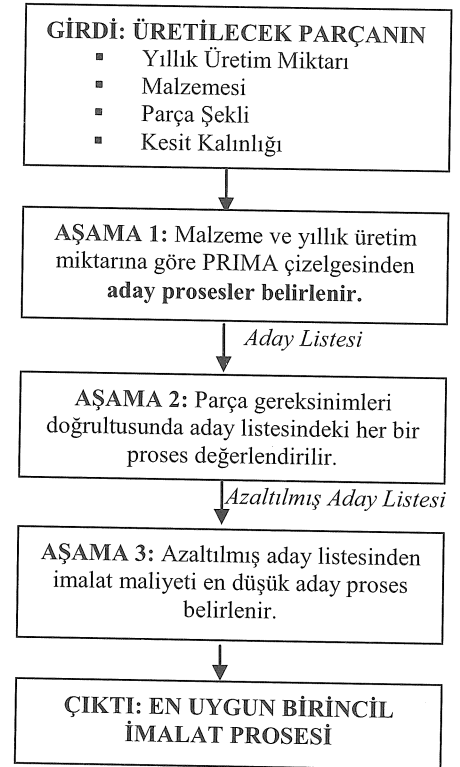
Geliştirilen karar destek sistemi, imalat sanayinde üreticiler tarafından kolaylıkla kullanılabilir ve sonuç elde edilebilecek bir yapıda

geliştirilmiştir. PROSEÇ geliştirildikten sonra, Ankara'daki çeşitli imalat firmalarında başarıyla test edilmiştir. Makalenin dördüncü bölümünde programın testine yönelik olarak yapılan iki adet uygulamaya ve uygulamalar sonucunda elde edilen başarılı sonuçlara ilişkin yorumlara yer verilmektedir.

2. PROSEÇ KARAR DESTEK SİSTEMİNİN OLUŞTURULMASI

PROSEÇ seçim programını geliştirebilmek için gerekli olan akış şemalarının geliştirilmesine yönelik olarak Şekil 1 de verilen ve üç aşamadan oluşan bir seçim akış yaklaşımı geliştirilmiştir. İlk iki aşama, parçayı üretebilecek aday proseslerin tespit edilmesine yöneliktir. Son aşamada ise aday prosesler arasında maliyet analizi yapılarak en düşük maliyetli olanı seçilir ve çıktı olarak kullanıcıya sunulur.

İlk aşamadaki eleme işlemi PRIMA çizelgesi (Çizelge 1) kullanılarak gerçekleştirilmektedir. PRIMA çizelgesi sadece parçanın malzeme ve yıllık üretim miktarını kullanır ve geniş bir aday listesi sunar. İkinci aşamada ise parçanın şekli, kesit kalınlığı ve yüzey kalitesi gibi değerleri kullanılarak aday listesinden daha dar kapsamlı azaltılmış bir aday listesi elde edilir. Bu aşamada parçanın gereksinimleri ile birincil imalat proseslerin kabiliyetleri karşılaştırılır.



Şekil 1. PROSEÇ akış şeması

Çizelge 1. Birincil imalat prosesleri seçim matrisi- PRIMA (PROCESS INFORMATION MAPS) [15]

| Mazeme Üretim Miktarı | Demir | | Karbon Çelikleri | | Alaşım-Takım çelikleri | | Paslanmaz Çelikler | | Bakır ve alaşımları | | Alüminyum ve alaşımları | | Magnezyum ve alaşımları | | Çinko ve Alaşımları | | Kalay ve alaşımları | | Kuruşun ve alaşımları | | |
|---|---|--|----------------------------------|--|------------------------------------|--|--|---|---|---|--|---|----------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [1.5] [1.6] [1.7] [4.M] | [1.5] [1.7] [3.10] [4.M] | [5.1] [5.5] [5.6] [5.7] | [1.1] [1.5] [1.7] [3.10] [4.M] | [5.1] [5.3] [5.4] [5.5] | [1.2] [1.7] [3.7] [4.M] | [5.1] [5.3] [5.4] [5.5] | [1.5] [1.7] [3.10] [4.M] | [5.1] [5.3] [5.4] [5.5] | [1.5] [1.7] [3.10] [4.M] | [5.1] [5.3] [5.4] [5.5] | [1.2] [1.5] [1.7] [3.10] [4.M] | [4.M] [5.3] [5.4] [5.5] | [1.6] [1.7] [3.10] [4.M] | [5.1] [5.5] | [1.1] [1.7] [3.10] [4.M] | [5.1] [5.5] | [1.1] [1.7] [3.10] [4.M] | [5.1] [5.5] | [1.1] [3.10] [4.M] [5.5] | |
| Düşük 100 - 1.000 | [1.2] [1.5] [1.6] [1.7] [4.M] | [1.2] [1.5] [1.7] [3.10] [4.M] | [5.3] [5.4] | [1.1] [1.2] [1.7] [4.M] | [5.1] [5.3] [5.4] [5.5] | [1.2] [1.7] [3.7] [4.M] | [5.1] [5.3] [5.4] [5.5] | [1.2] [1.5] [1.7] [3.10] [4.M] | [4.M] [5.3] [5.4] [5.5] | [1.2] [1.5] [1.7] [3.10] [4.M] | [4.M] [5.3] [5.4] [5.5] | [1.6] [1.7] [3.10] [4.M] | [4.M] [5.5] | [5.1] [5.5] | [1.1] [1.7] [3.10] [4.M] | [4.M] [5.5] | [1.1] [1.7] [3.10] [4.M] | [5.1] [5.5] | [1.1] [1.8] [3.10] [4.M] | [5.1] [5.5] | [1.1] [1.8] [3.10] [4.M] [5.5] |
| Düşük-Orta Arası 1.000 - 10.000 | [1.2] [1.3] [1.5] [1.6] [1.7] | [1.2] [1.5] [1.7] [3.10] [4.M] | [3.11] [4.A] [5.2] | [1.2] [1.5] [1.7] [3.10] [4.M] | [5.2] [5.3] [5.4] [5.5] | [1.2] [1.5] [1.7] [3.10] [4.M] | [3.10] [3.11] [4.A] [5.3] [5.4] [5.5] | [1.2] [1.3] [1.5] [1.7] [3.10] [4.M] | [4.A] [5.2] [5.3] [5.4] [5.5] | [1.2] [1.3] [1.5] [1.7] [3.10] [4.M] | [3.10] [3.11] [4.A] [5.3] [5.4] [5.5] | [1.3] [1.6] [1.8] [3.10] [4.A] [5.5] | [3.10] [4.A] [5.5] | [1.3] [1.8] [3.3] [3.10] [4.A] [5.5] | [1.3] [1.8] [3.3] [3.10] [4.A] [5.5] | [1.3] [1.8] [3.3] [3.10] [4.A] [5.5] | [1.3] [1.8] [3.3] [3.10] [4.A] [5.5] | [1.3] [1.8] [3.3] [3.10] [4.A] [5.5] | [1.3] [1.8] [3.3] [3.10] [4.A] [5.5] | [1.3] [1.8] [3.3] [3.10] [4.A] [5.5] | [1.3] [1.8] [3.3] [3.10] [4.A] [5.5] |
| Orta-Yüksek Arası 10.000 - 100.000 | [1.2] [1.3] [3.11] [4.A] | [1.2] [1.5] [1.7] [3.10] [4.M] | [3.11] [3.12] | [3.1] [3.4] [3.5] | [3.11] [3.12] [4.A] [5.2] | [1.9] [3.1] [3.3] [3.4] [3.5] | [3.11] [3.12] [4.A] | [1.2] [1.4] [1.9] [3.1] [3.3] [3.4] [3.5] | [3.5] [3.11] [3.12] [4.A] | [1.2] [1.4] [1.9] [3.1] [3.3] [3.4] [3.5] | [3.5] [3.11] [3.12] [4.A] | [1.3] [1.4] [3.1] [3.3] [3.4] [3.5] | [3.4] [3.5] | [1.3] [1.4] [3.12] [4.A] | [1.4] [3.3] [3.4] [4.A] | [1.4] [3.3] [3.4] [4.A] | [1.4] [3.3] [3.4] [4.A] | [1.4] [3.3] [3.4] [4.A] | [1.4] [3.3] [3.4] [4.A] | [1.3] [1.4] [3.12] [4.A] | [1.3] [1.4] [3.3] [3.4] [3.5] |
| Yüksek 100.000+ | [1.2] [1.3] [3.11] [4.A] | [1.2] [1.5] [1.7] [3.10] [4.M] | [3.12] [4.A] | [4.A] | [1.9] [3.2] [3.3] [4.A] | [1.9] [3.2] [3.3] [4.A] | [1.9] [3.2] [3.3] [4.A] | [1.9] [3.2] [3.3] [4.A] | [3.5] [3.11] [3.12] [4.A] | [1.2] [1.9] [3.1] [3.3] [3.4] [3.5] | [3.5] [3.11] [3.12] [4.A] | [1.3] [1.4] [3.1] [3.3] [3.4] [3.5] | [3.12] [4.A] | [1.4] [3.3] [3.4] [4.A] | [1.4] [3.3] [3.4] [4.A] | [1.4] [3.3] [3.4] [4.A] | [1.4] [3.3] [3.4] [4.A] | [1.4] [3.3] [3.4] [4.A] | [1.4] [3.3] [3.4] [4.A] | [1.4] [3.3] [3.4] [4.A] | [1.4] [3.3] [3.4] [4.A] |
| Tüm Miktarlar | [1.1] | [1.1] [1.6] [3.6] | [3.8] [3.9] | [1.6] [3.6] | [1.1] [1.6] [3.6] | [1.1] [1.6] [3.6] | [3.8] [3.9] | [1.1] [1.6] [3.6] | [3.8] [3.9] | [1.1] [1.6] [3.6] | [3.8] [3.9] | [1.1] [1.6] [3.6] | [3.8] [3.9] | [1.1] [1.6] [3.6] | [3.8] [3.9] | [1.1] [1.6] [3.6] | [3.8] [3.9] | [1.1] [1.6] [3.6] | [3.8] [3.9] | [1.1] [1.6] [3.6] | [3.8] [3.9] |

[1.1] Kum Kalıba Döküm; [1.2] Kabuk Döküm; [1.3] Yarıçaplı Kalıba Döküm; [1.4] Basınçlı Kalıba Döküm; [1.5] Savurma Döküm; [1.6] Hassas Döküm; [1.7] Seramik Kalıba Döküm; [1.8] Plastik Kalıba Döküm; [1.9] Sıkıştırma Döküm.

[3.1] Kapalı Kalıba Döme; [3.10] Spindle; [3.11] Toz Metalürjisi; [3.12] Sürekli Ekstrüzyon (Metal); [3.2] Haddelenme; [3.3] Çekirme; [3.4] Soğuk Şekillendirme; [3.5] Baş Yapma; [3.6] Döner Kalıba Döme; [3.7] Süper-Plastik Şekillendirme; [3.8] Sac-Metal Kesme; [3.9] Sac-Metal Şekillendirme; [4.A] Otomatik İşleme; [4.M] Manüel İşleme.

[5.1] Elektro-Erozyon ile İşleme; [5.2] Elektro-Kimyasal İşleme; [5.3] Elektro-Işım ile İşleme; [5.4] Lazer ile İşleme; [5.5] Kimyasal İşleme; [5.6] Ultrasonik İşleme; [5.7] Aşındırıcı Jet ile İşleme.

Çizelge 2 bazı birincil imalat proseslerinin kabiliyetlerini göstermektedir. Bu çizelgede kullanılan şekil sınıflandırması ise Şekil 2' de verilmiştir. Şekil 2'de, şekil sınıflandırma işlemi ilk olarak parçanın geometrisi ve ardından karmaşıklığına uygun olarak yapılmaktadır. Parça geometrisi dairesel, silindirik, prizmatik, açık-yarı-açık kesitli, tüp, düzlem, ince ve küresel olmak üzere gruplara ayrılmaktadır. Ardından tüm bu gruplar basitten en karmaşığa doğru sınıflandırılmaktadır. Karmaşıklık sınıflaması ise; parçanın düzgün kesit, parçanın sonunda değişen kesit, merkezde değişen kesit, eğriliğe sahip kesit, bir tarafı kapalı, iki tarafı kapalı, aykırı ve karmaşık olmasına göre yapılmıştır.

Son aşamada ise 2. Aşamada elde edilen azaltılmış aday listesinde yer alan prosesler arasından en ekonomik üretimi gerçekleştirecek olan prosesin seçimi yapılmaktadır. Her bir aday prosesin parça üretim maliyeti Eşitlik 1 kullanılarak hesaplanmıştır [15]. Eşitlik 1'de gerekli tüm değerler Swift ve Booker'ın [15] çalışmasında grafik veya çizelge şeklinde sunulmaktadır. Eşitlik 1'de ilk kısım ($V \cdot C_{mt}$) prosese göre değişiklik göstermeyen ürünün hammadde maliyetini, ikinci kısım ($P_c \cdot C_{mp} \cdot C_c \cdot C_s \cdot C_f$) ise aday proseslere göre değişen üretim maliyetini temsil etmektedir. Üretim maliyeti prosesin kaba maliyetinin malzemenin prosese uygunluğu, parça şeklinin karmaşıklığı, kesit kalınlığı ve yüzey kalitesi katsayıları ile çarpılması sonucu edilir.

$$M_f = V \cdot C_{mt} + P_c \cdot C_{mp} \cdot C_c \cdot C_s \cdot C_f \quad (1)$$


Eşitlikte; V: Parça üretimi için gereken gerekli malzemenin kaba hacmi, C_{mt} : Hammaddenin birim hacminin satın alma maliyeti, P_c : Prosesin kaba maliyeti, C_{mp} : Malzemenin prosese uygunluğu katsayısı, C_c : Parça şeklinin karmaşıklığı katsayısı, C_s : Kesit kalınlığı katsayısı, C_f : Yüzey kalitesi katsayısını ifade etmektedir.


2. 1. PROSEÇ Akış Şemalarının Oluşturulması

Geliştirilen seçim yaklaşımı kullanılarak her bir farklı malzeme ve üretim miktarı için (1-100, 100-1.000, 1.000-10.000, 10.000-100.000 ve 100.000 üzeri) akış şemaları geliştirilmiştir. Şekil 3'te örnek olarak demir bir malzemedan yıllık 1-100 arasında üretilecek bir ürün için birincil proses seçiminde kullanılacak akış şeması verilmektedir. Proses seçimi için oluşturulan seçim akış şemaları Visual Studio 2008 yazılım programına aktarılıp ve seçim işlemini

gerçekleştiren PROSEÇ karar destek sistemi oluşturulmuştur.

3. PROSEÇ'İN KULLANIMI

Program çalıştırıldığında Şekil 4 (a)'da verilen üretilecek ürün ile ilgili tasarım ve pazar araştırmasından elde edilen değerlerin girildiği pencere ekrana gelir. Açılan pencerede sırasıyla malzeme, yıllık üretim miktarı, parça ağırlığı, kesit kalınlığı, parça şekli, yüzey kalitesi ve maliyet parça şekli değerlerini girmek için araç çubukları vardır. Malzeme araç çubuğu demir, karbon çelikleri, alaşım çelikleri ve paslanmaz çelik malzemelerini içerir. Pencerede yıllık üretim miktarı, parça ağırlığı ve yüzey kalitesi kısımlarına ürüne ait değerler rakam olarak girilir. Kesit kalınlığı, parça şekli ve maliyet parça şekli kısımları ise aktif değildir ve kutuların sağındaki  butonuna basıldığında açıklama pencereleri görüntülenir.

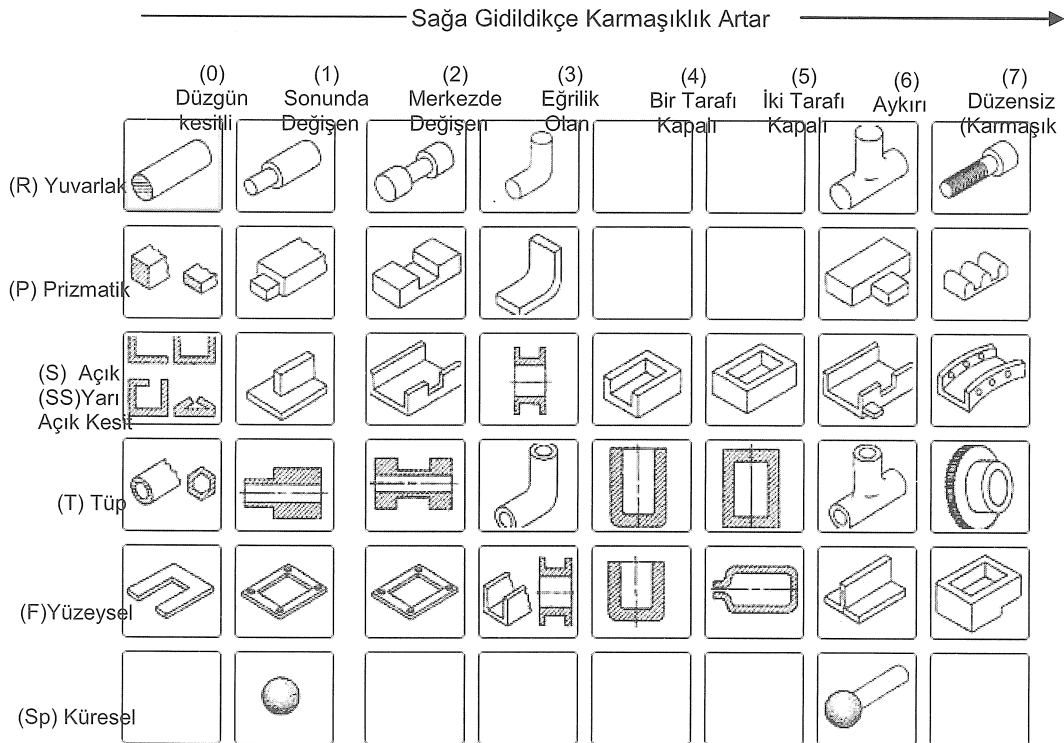
Kesit kalınlığı için açıklama penceresi Şekil 4 (b)'de verilmiştir. Açılan yeni pencerede kesit kalınlığı değeri girildikten sonra program başlangıç penceresine KAPAT butonuna basılarak dönlülür. Kesit kalınlığından sonra tekrar Parça Şekli ve Maliyet Parça Şekli verilerinin girilmesi için yanlarındaki  butonlarına basılması gerekmektedir.

Parça Şekli butonuna basıldığında Şekil 2'de verilen ve program içinde yeniden düzenlenen parça şekilleri ekrana gelir [17]. Kullanıcı parça şekli sınıflaması penceresinde üretilecek ürünün ait olduğu sınıflamaya ait butona basarak seçimini yapar. Butona basılması ile Parça Şekli Sınıflandırması penceresi otomatik olarak kapanır ve program başlangıç penceresine geri döner. Maliyet Parça Şekli butonu ise, ürün maliyetinin hesaplanmasında gerekli olan parça şekli karmaşıklığı katsayısının hesaplanmasında gerekli olan maliyet parça şekil karmaşıklığı penceresini açar (Şekil 5). Kullanıcının ürünün sınıflandırmasını seçmesi ile ilgili katsayı direkt olarak program tarafından hesaplanır ve ürün maliyetinin hesaplanmasında kullanılır. PROSEÇ'te tüm değerler girildikten sonra "Seçilen Proses" butonuna basıldığında program tarafından belirlenen uygun prosesler maliyetlerine göre sıralı olarak ekrana gelir. Program ilk sıradaki prosesi en düşük maliyetli olduğu için önerir. İstenirse proses tanıtım bilgisine ekrandaki "Proses Bilgisi" butonuna basılarak ulaşılabilir.

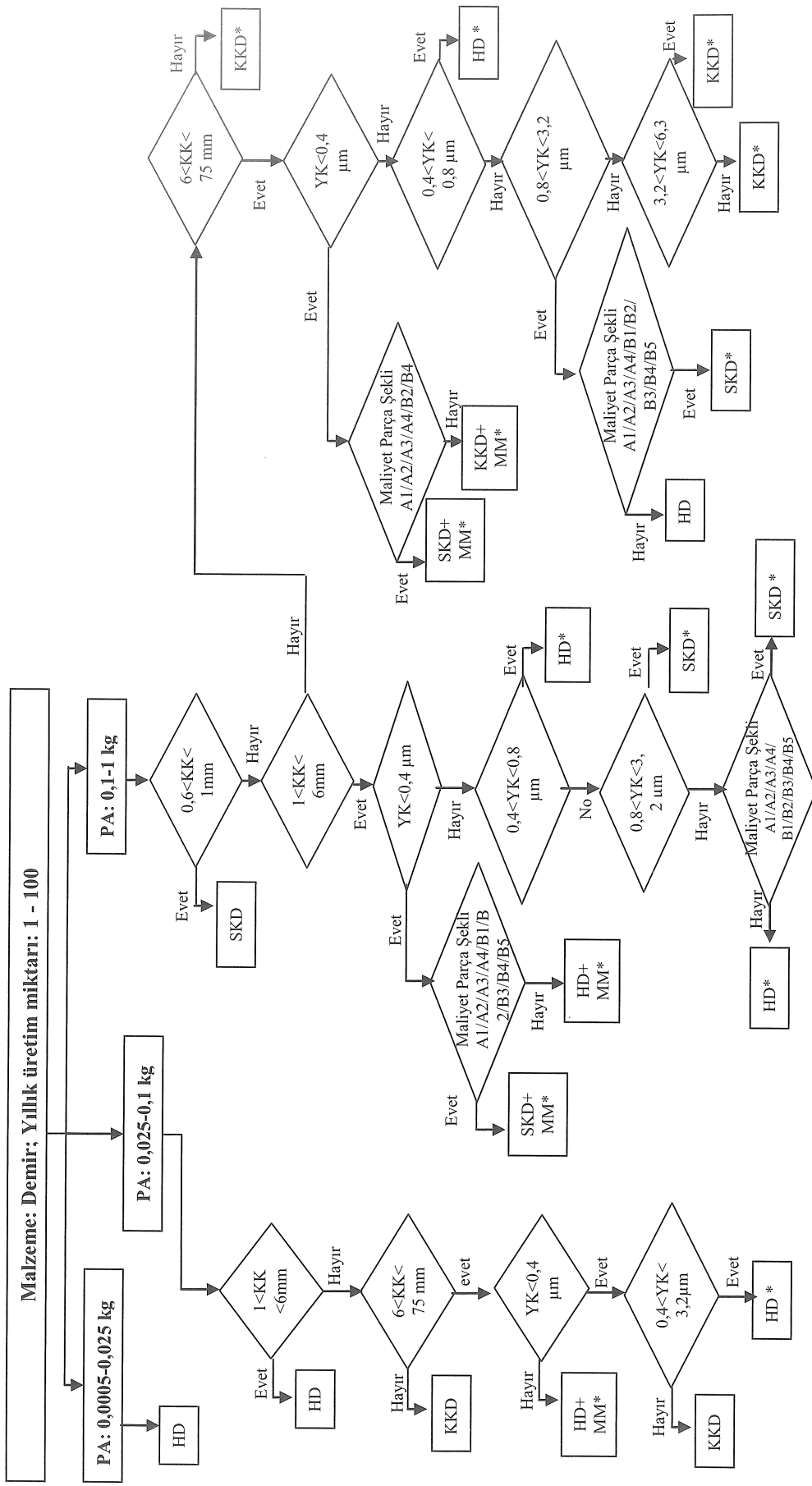
Çizelge 2. Bazı birincil imalat proseslerinin kabiliyet sınırları [15,16]

| PROSES | Ağırlık (kg) | Şekil* | Kesit Kalınlığı (mm) | | Yüzey Kalitesi (µm) |
|---------------------------------|----------------|--------------------------------|----------------------|----------|---------------------|
| | | | Min. | Mak. | |
| Kum Kalıba Döküm (KKD) | 0,025-Sınırsız | Bütün Şekiller | 6 | Sınırsız | 3,2-25 |
| Kabuk Döküm (KD) | 0,01-20 | Bütün Şekiller | 1,5 | 50 | 0,8-6,3 |
| Yerçekimsel Kılavuz Döküm (YKD) | 0,05-5 | T3/5,F5 dışında diğer şekiller | 2 | 50 | 0,8-6,3 |
| Savurma Döküm (SD) | 1-5.000 | T0/1/2/7 | 25 | 125 | 1,6-12,5 |
| Hassas Döküm (HD) | 0,0005-5 | Bütün Şekiller | 1 | 75 | 0,4-3,2 |
| Seramik Kalıba Döküm (SKD) | 0,1-50 | Bütün Şekiller | 0,6 | 75 | 0,8-6,3 |
| Sıkıştırma Döküm (SıD) | 0,025-4,5 | Bütün Şekiller | 6 | 200 | 1,6-12,5 |
| Kapalı Kalıpta Dövme (KaKD) | 0,01-100 | R,P,S-SS, T1/4,Sp | 0,1 | Sınırsız | 1,6-25 |
| Sıcak Haddelme (SıHAD) | 10-1.000 | R0/P0/T0 | 1,6 | 1000 | 6,3-50 |
| Soğuk Haddelme (SHAD) | 10-1.000 | R0/P0/T0 | 0,0025 | 200 | 0,2-6,3 |
| Çektirme (ÇEK) | 10-1.000 | R0/P0/S0/T0 | 0,1 | 25 | 0,2-0,8 |
| Soğuk Şekillendirme (SŞ) | - | R,P,S-SS, T1/4,Sp | 0,09 | Sınırsız | 0,1-1,6 |
| Döner Kalıpta Dövme (DKD) | - | R0/P0/S0/T0 | 2,5 | 50 | 0,8-6,3 |
| Toz Metalürjisi (TM) | 0,01-15 | Bütün Şekiller | 1,5 | 6 | 0,2-3,2 |
| Soğuk Ekstrüzyon (SEK) | 1-5.000 | R,P,S-SS, T1/4,Sp | 3 | Sınırsız | 0,4-3,2 |
| Sıcak Ekstrüzyon (SİEK) | 1-5.000 | R,P,S-SS, T1/4,Sp | 3 | Sınırsız | 1,0-25 |

* Şekil 2'den alınmıştır



Şekil 2. Parça Şekli Sınıflandırması [16]



PA: Parça Ağırlığı, KK: Kesit Kalınlığı, YK: Yüzeysel Kalitesi, HD: Hassas Döküm, HD+: Hassas Döküm, SKD: Seramik Kalıba Döküm, MM: Mantel İşlem, (*) Maliyet Analizi.

Şekil 3. Demir malzeme ve üretim miktarı 1-100 adet için oluşturulan birincil proses seçimi akış şeması.

Seçim Kriterleri

Malzeme

Yıllık Üretim Miktarı
 Adet

Parça Ağırlığı
 kg

Kesit Kalınlığı
 ...

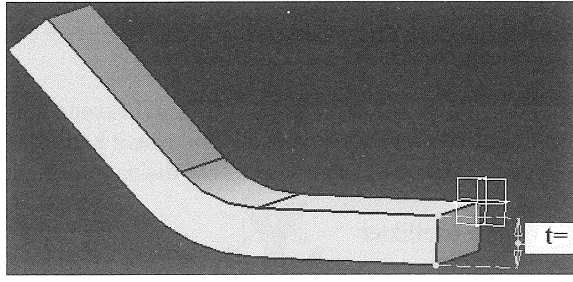
Parça Şekli
 ...

Yüzey Kalitesi
 0 µm

Maliyet Parça Şekli
 ...

SEÇİLEN PROSES

Kesit Kalınlığı



t= mm

KAPAT

(a) PROSEÇ başlangıç penceresi (b) Kesit kalınlığı değeri giriş penceresi

4. UYGULAMA ÇALIŞMALARI

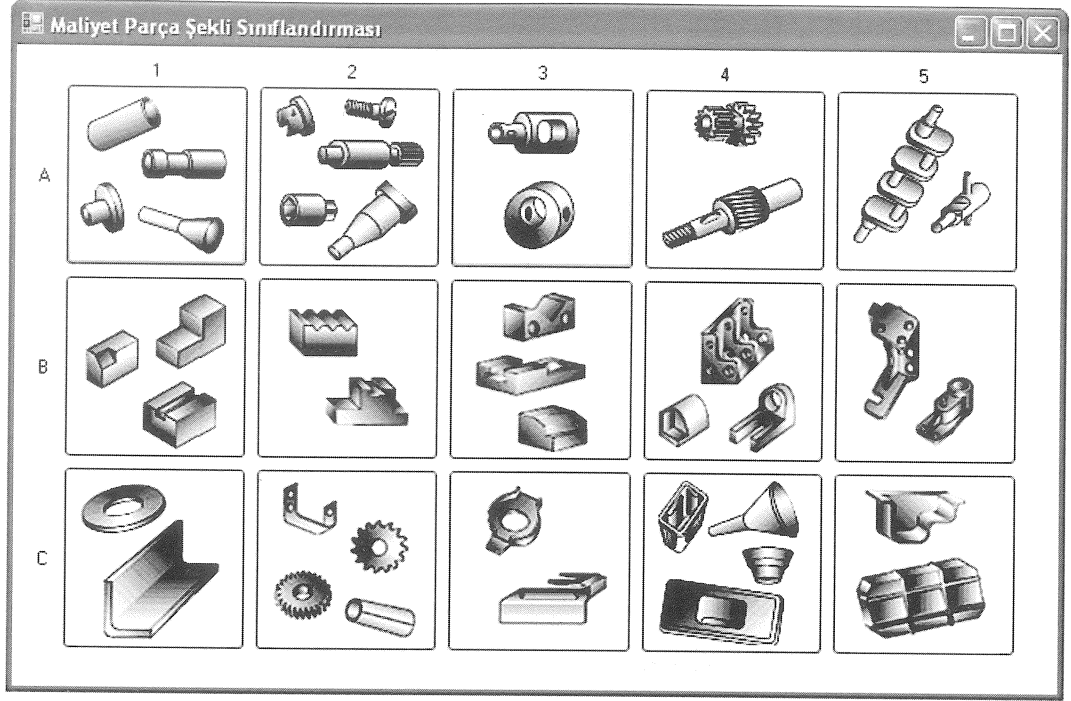
PROSEÇ in kullanımına ilk örnek uygulama sağlık sektöründe kalça kemiği protezinde kullanılan (Ek-1) pelvis protez parçası için gerçekleştirilmiştir. Ürün kalça kemiğinde kullanılacağından malzemesi paslanmaz çeliktir. Ürünün temel imalat proses seçimi için gerekli girdiler Çizelge 3'te verilmiştir. PROSEÇ programı bu uygulamada hassas döküm prosesini seçmiştir (Şekil 6).

Üretici firma bu ürünü PROSEÇ'in bulduğu gibi hassas döküm ile üretilmektedir. Kalça kemiği protezinde kullanılan bu ürünü üretmede malzeme, üretim miktarı ve parça ağırlığı sınırlamalarına uygun üç adet proses bulunmaktadır (Şekil 6). Bunlar

seramik kalıba döküm, kum kalıba döküm ve hassas dökümdür. PROSEÇ'in hassas dökümü seçmesinin nedeni yüzey kalitesi 0,4-3,2 aralığında en ekonomik üretimi yapan proses olmasıdır.

Çizelge 3. İlk örnek uygulama için girdiler

| Malzeme | Paslanmaz Çelik |
|---------------------|-----------------|
| Üretim miktarı | 350 |
| Parça ağırlığı | 0,6 kg |
| Kesit kalınlığı | 25 mm |
| Parça şekli | T6 |
| Yüzey kalitesi | 1,6 µm |
| Maliyet parça şekli | A4 |



Açıklama [15]:

A: Silindirik parçalar

A1: Birincil eksene göre dönele özelliklere sahip parça şekli (birincil eksene göre simetrik dönele geometri)

A2: Birincil eksene göre dönele özelliklere sahip, ancak üzerinde basit konturlar bulunan parça şekli

A3: Birincil eksene paralel veya dik ikincil eksenlerdeki delikler, dişler ve diğer iç özelliklere sahip parça şekli

A4: İkincil eksen üzerinde karmaşık özellikler

A5: Düzensiz ve/veya karmaşık şekiller

B: Prizmatik parçalar

B1: Birincil eksen/düzlemde temel prizmatik şekilli parça şekli

B2: Birincil eksen/düzlemde ikincil özelliklere (T kanal, dişli düzlem vb.) sahip temel prizmatik şekilli parça şekli

B3: Birden çok eksende açılı kanal / diş veya konturlu yüzeye sahip parça şekli

B4: Tek eksen/düzlemde basit eğrisel özelliklerde parça şekli

B5: Düzensiz ve/veya karmaşık konturlu şekiller (3 boyutlu konturlu yüzey/geometriler)

C: Düz veya ince cidarlı bileşenlere sahip parçalar

C1: Birincil eksende temel/basit şekilli parça

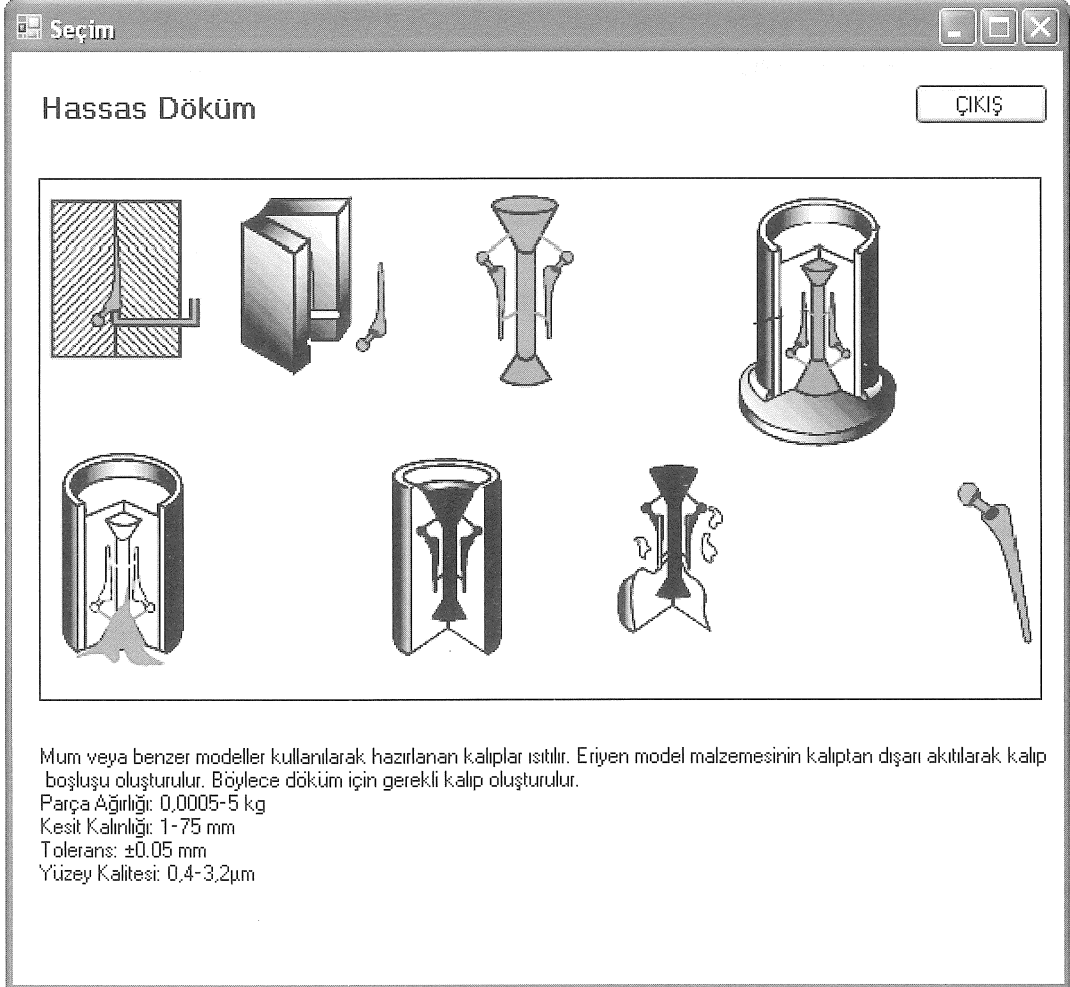
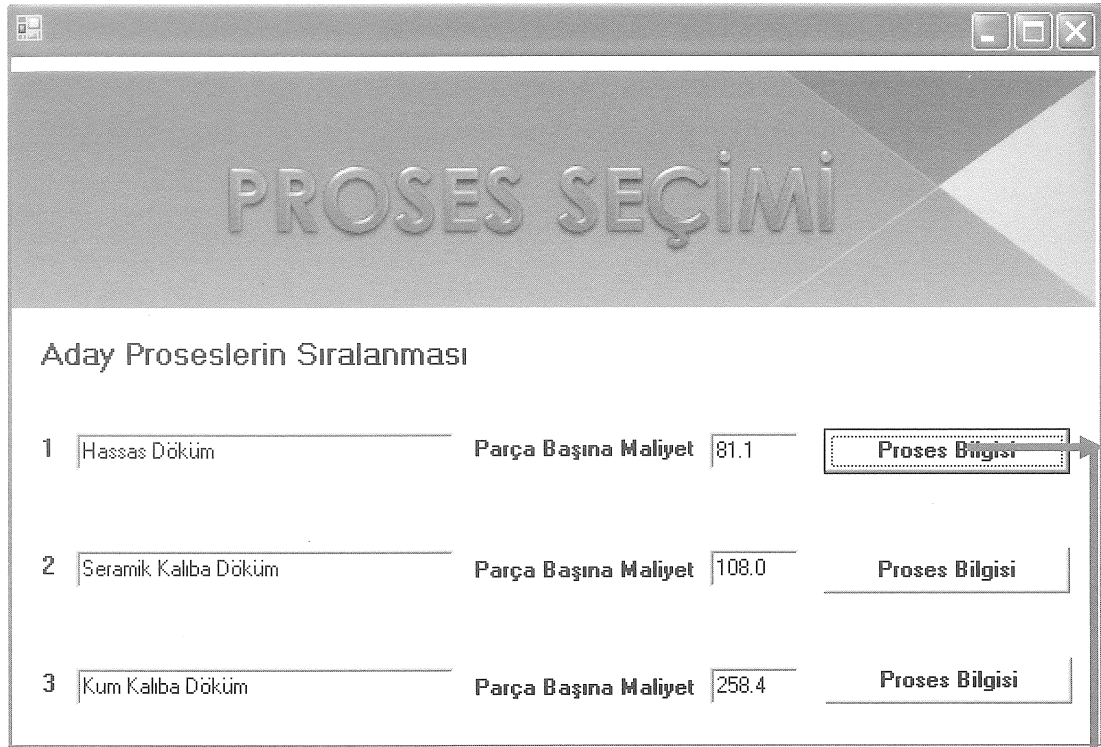
C2: Düzgün kesitli/cidarlı ikincil özelliğe sahip parça şekli

C3: Düzgün olmayan kesitli/cidarlı ikincil özelliğe sahip parça şekli

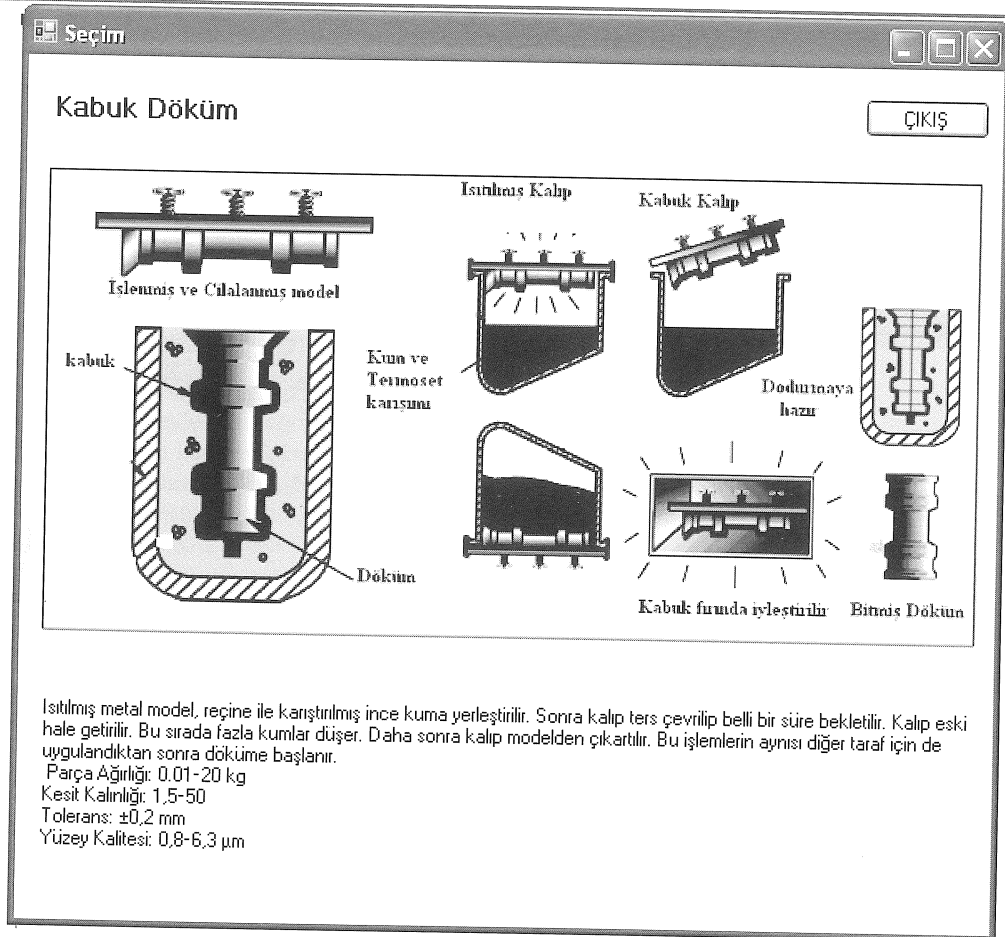
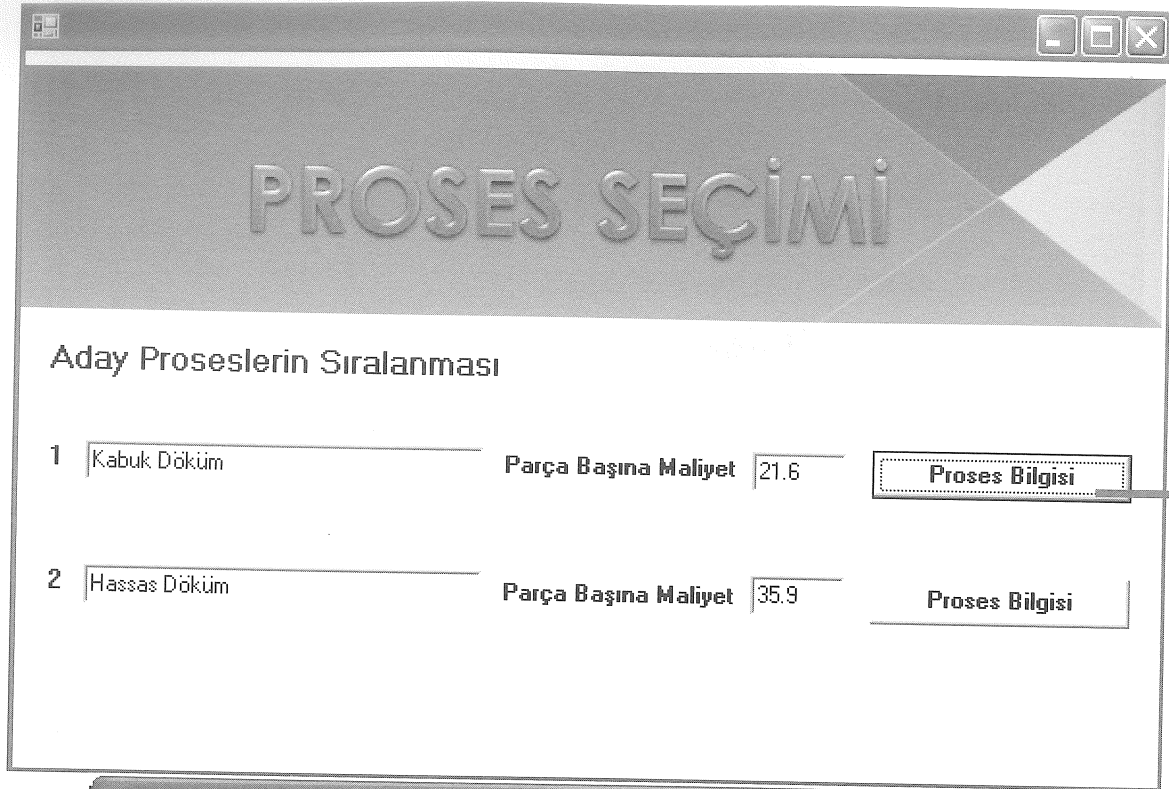
C4: Kesit kalınlığı değişen kutu tipi parça şekli

C5: Daha önceki kategorilerde yer almayan düzensiz konturlu karmaşık parça şekli

Şekil 5. Maliyet hesaplamaları için gerekli parça şekil karmaşıklığı penceresi



Şekil 6. İlk örnek uygulama için seçim penceresi



Şekil 7. İkinci örnek uygulama için seçim penceresi

Çizelge 5. İkinci uygulama için alternatiflerin maliyet karşılaştırması

| Prosesler | P_C (2000 Adet) | C_{mp} (Demir) | C_S (10 mm) | C_f (1.6 μm) | C_C (B1) | Parça Başına Düşen Maliyet |
|---------------|----------------------|------------------|---------------|----------------------|------------|-------------------------------|
| KD | 18 | 1,0 | 1,2 | 1 | 1 | 21,6 |
| HD | 25 | 1.0 | 1.25 | 1.0 | 1.15 | 35.9 |
| KKD | 16,8 | 1,0 | 1,2 | 1 | 1,1 | 22,2 |
| Oİ | 32,8 | 1,2 | 1 | 1 | 1 | 39,3 |
| KKD+Oİ | | | | | | 61,5 |

HD: Hassas Döküm, KKD:Kum Kalıba Döküm, Oİ: Otomatik İşleme, KD: Kabuk Döküm

İkinci uygulama örneğinde demirden üretilen CNC abkant pres parçasının (Ek-2) yıllık üretim miktarı, ağırlığı, kesit kalınlığı ve yüzey kalitesi değerleri Çizelge 4'te verilmektedir. Parça şekli olarak P1, maliyet parça şekli olarak ise B1 seçilmiştir. Parça şekli için prizmatik ve karmaşıklık seviyesi ise 1. seviye seçilmiştir. Maliyet parça şeklinde ise parça yine prizmatik ve imalat sadece tek bir birincil eksenle gerçekleştirildiği için basit unsurlu 1. seviye seçilmiştir.

Çizelge 4. İkinci örnek uygulama için girdiler

| Malzeme | Demir |
|-----------------------|-------------|
| Yıllık Üretim miktarı | 2000 |
| Parça ağırlığı | 0,266 kg |
| Kesit kalınlığı | 10 mm |
| Parça şekli | P1 |
| Yüzey kalitesi | 1,6 μm |
| Maliyet parça şekli | B1 |

Programa ürünle ilgili verilerin girilmesinin ardından PROSEÇ en uygun proses olarak Şekil 7'de görüldüğü gibi ilk sırada kabuk dökümü ve ardından hassas dökümü vermektedir. Pratikte ise ürün kum kalıba dökülmüş halde üretilip ardından gereken yüzey kalitesini sağlamak için CNC tezgahlarda otomatik işleme ile son halini almaktadır. Çizelge 5'te PROSEÇ'in çıktıları olan Hassas Döküm (HD), Kabuk Döküm (KD) ile pratikte kullanılan Kum Kalıba Döküm (KKD) ve ardından Otomatik İşleme (Oİ) nin karşılaştırılmasında görüldüğü gibi PROSEÇ'in kabuk dökümü seçmesinde maliyet analizi etkili olmuştur. PROSEÇ abkant presi parçası gibi basit şekilli ürünlerde (C_C (B1)) ve düşük üretim miktarlarında (P_C (2000 Adet)) ikinci en iyi seçim olan hassas döküm yerine kabuk dökümü tercih etmiştir. Hassas döküm karmaşıklık seviyesi yüksek olan parçaların üretiminde daha avantajlı olması beklenmelidir.

Makalede verilen ve yazarlarca gerçekleştirilen diğer tüm uygulamalarda PROSEÇ'in oldukça başarılı olduğu, pratikte ürünün imalatında başarıyla uygulanan ve daha ucuz üretim

yapacak prosesleri önerdiği görülmüştür. PROSEÇ prosesleri sadece yapabilirlik olarak incelememekte, detaylı bir ekonomik analiz sayesinde ürünü üretmede en uygun prosesi sunmaktadır.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada birincil proses seçimi için bir karar destek sistemi (PROSEÇ) geliştirilmiştir. Oluşturulan PROSEÇ gerçek hayattan uygulamalarla test edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde PROSEÇ'in pratikte kullanılan prosesleri veya daha ekonomik üretim yapacak prosesleri önerdiği görülmüştür. PROSEÇ'in özellikle teknik bilgi birikimi sınırlı olan küçük ve orta büyüklükteki imalat firmalarına daha fazla faydalı olabileceği, bu türdeki firmaların birincil proses seçimi konusunda doğru kararlar almalarına ve üretim maliyetlerini düşürerek karlılıklarını artırma konusunda katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

PROSEÇ kolaylıkla ekleme yapılabilecek tarzda tasarlanmıştır. Örneğin, bu çalışmada düşünülmeden alüminyum, bakır gibi sanayide yoğun olarak kullanılan malzemelerle ürünlerin üretilmesi için proses seçim akış şemaları da geliştirilip karar destek sistemine eklenebilir. Ayrıca yine sanayide yoğun olarak kullanılan alüminyum veya çelik malzemeli saç metallere üzerine yapılan saç metal prosesleri (derin çekme, kesme, vb.) farklı bir modül olarak geliştirilip PROSEÇ'in başlangıç penceresinde seçilebilir.

PROSEÇ'in kullanılmasına yönelik bir son not olarak, son derece hassas toleranslarda üretilecek parçalar için seçim işleminde son derece dikkatli olunması gerekmektedir. PROSEÇ bu tür durumlarda iyi bir çözüm öneremeyebilir. Son derece dar toleranslarda üretilecek parçalar için pratikte birincil proseslerin ardından ikincil tamamlayıcı prosesler kullanılmaktadır. Bu tür durumlarda PROSEÇ dar toleransları sağlayamayacağı gerekçesiyle ikincil proseslerle beraber kullanılan kum kalıba döküm gibi bazı birincil prosesleri eleyebilir. Fakat elenen bu prosesler otomatik işleme gibi ikincil proses adımları ile daha ekonomik çözümler sunabilir. Benzer sonuçlar parçada birbirinden farklı toleranslar

bulunduğunda da söz konusu olabilir. İleride yapılacak çalışmalarda birleşik (birincil proses+ikincil proses) prosesler oluşturularak birincil proseslerle beraber PROSEÇ içerisinde yer alabilir.

DEVELOPMENT OF A DECISION SUPPORT SYSTEM TO USE IN SELECTION OF PRIMARY MANUFACTURING PROCESSES

Developments in the capabilities of the manufacturing processes increased the number of processes that can produce a part within the requirements determined by its design and market research. The increased number of processes and unfamiliarity of manufacturing engineers to many new manufacturing processes force the researchers to develop systematic process selection tools instead of depending on the accumulated human expertise only.

In this paper, a primary manufacturing process selection decision support system, which is named PROSEÇ, is developed.

The developed selection program eliminates the unsuitable processes step by step by checking a part's material, annual production quantity, specified shape, thickness, etc. and presents the most economical process as the most appropriate primary process after a final cost analysis. The developed decision support system is written in Visual Studios 2008 and tested with a great deal of real life examples. It can be concluded from the tests that the program provides the same or better primary manufacturing process selection decisions than the expert selections, and it is a very useful support tool for primary process selections.

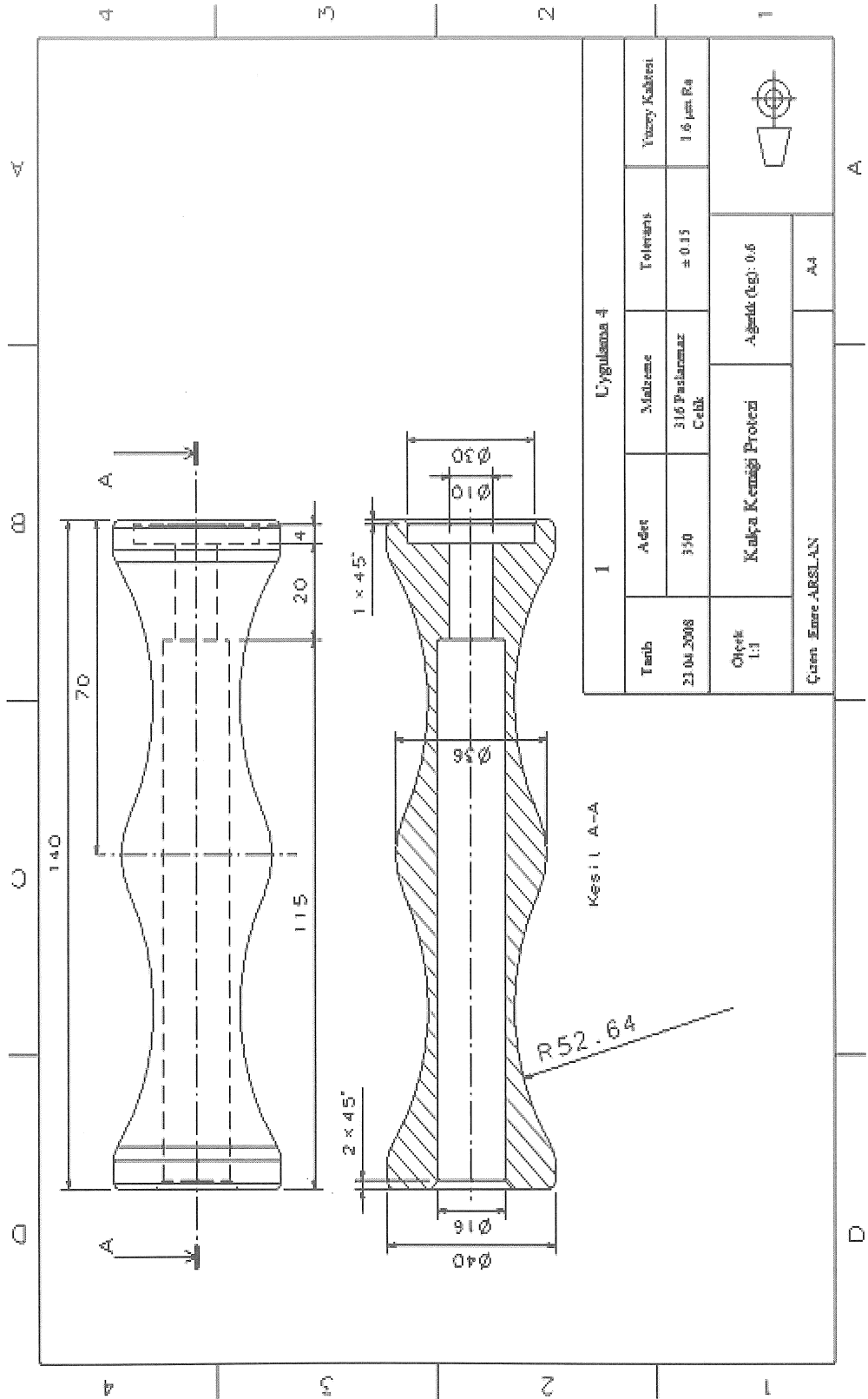
Keywords: Manufacturing processes, Decision support system, Primary manufacturing process selection.

KAYNAKÇA

1. Smith, C.S., *The Manufacturing Advisory Service: Web Based Process And Material Selection*, Ph.D. Thesis in Mechanical Engineering, University of California, Berkeley, USA, 1999.
2. Groover, M.P., *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, And Systems*, John-Wiley& Sons, Third Edition, New York, N.Y., 2007.
3. Esawi, A.M., Ashby, M.F., *The Development and use the Early Stages of Design*, Proceedings of 3rd. Biennial World Conference on Integrated Design and Process Technology, Berlin, Germany, Vol:3, 210-217, 1998.
4. Zha, X., Du, H., Manufacturing Process and Material Selection in Concurrent Collaborative

- Design of MEMS Devices, *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 13 (2003), 509-522.
5. DeGarmo, E.P., Black, J.T., and Ronald, A.K., *DeGarmo's Materials and Process in Manufacturing*, John Wiley & Sons, Tenth Edition, New-York, NY, 2007.
6. Djassemi, M., *A Computer-Based Economic Analysis for Manufacturing Process Selection*, 2008 IAJC-IJME International Conference on Engineering & Technology: Globalization of Technology-Imagine the Possibilities, Nashville, TN, USA, November, 17-19, 2008.
7. Bock, L., Material Process Selection Methodology: Design for Manufacturing and Cost Using Logic Programming", *Cost Eng.*, 33(1991), 9-14.
8. Kunchithapatham, A., *A Manufacturing Process and Materials Design Advisor*, Master of Science Thesis, University of California, Berkeley, USA, 1996.
9. Giachetti, R.E., Jurrens, K.K., *Manufacturing Evaluation of Designs: A Knowledge-Based Approach*, Proceedings 3rd Joint Conference on Information Sciences (JCIS) (Research Triangle Park, NC, 1-5 March), Vol:1, 194-197, 1997.
10. Giachetti, R.E., A Decision Support System for Material and Manufacturing Process Selection, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 9 (1998), 265-276.
11. Esawi, A.M., Ashby, M.F., Cost Estimates to Guide Pre-Selection of Processes", *Materials and Design*, 24 (2003), 605-616.
12. Ashby, M.F., *Material Selection in Mechanical Design*, 2nd ed., Oxford, Butterworth Heinemann, UK (1999).
13. Brown, S.M., Wright, P.K., A Progress Report on the Manufacturing Analysis Service, an Internet-Based Reference Tool" *Journal of Manufacturing Systems*. 17 (5) (1998), 389-398.
14. Zha, X., A Web-Based Advisory System for Process and Material Selection in Concurrent Product Design for A Manufacturing Environment, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 25 (2005), 233-243.
15. Swift K.G., Booker, J.D., *Process Selection-From Design to Manufacture*, Butterworth-Heinemann, 2nd ed., Burlington, 2003.
16. Scallon, P., *Process Planning - The Design/Manufacture Interface*, Butterworth-Heinemann, Burlington, 2003.
17. Arslan, E., *İmalat Prosesi Seçiminde Kullanılacak Bir Karar Destek Sisteminin Geliştirilmesi* Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2008.

Ek-1. Pevis protez parçasının teknik resmi



| Uygulama 4 | | | |
|-------------------|-----------------------|---------------------|------------|
| Tarih | Adet | Malzeme | Tolerans |
| 23.04.2008 | 350 | 316 Paslanmaz Çelik | ± 0.15 |
| Ölçek | Kalça Kemikli Protezi | Ağırlık (kg): 0.6 | |
| 1:1 | | A4 | |
| Çizen Emre ARSLAN | | A | |

Ek-2. CNC Abkant pres parçasının teknik resmi

