

Dönel Makina Parçalarının Eksenel Simetrik Unsurlarla Modellenmesi

Suat Çelik
Öğretim Görevlisi
Uçak Gövde Programı
Sivil Havacılık M.Y.O.
Erciyes Üniversitesi
38039 KAYSERİ

H. Rıza Börklü
Doçent
Makina Eğitimi Bölümü
Teknik Eğitim Fakültesi
Gazi Üniversitesi
06500 ANKARA

Geleneksel BDT sistemlerinde düşük düzeyli elemanlar ile yapılan modellerin fonksiyonel bilgi içermemesi, BDT/BDÜ sistemleri arası boşluğun kapatılmasını engellemekteydi. Bu durumun saptanması ile başlayan unsur tabanlı tasarım alanındaki araştırmalar, günümüzde de sürmektedir. Unsur; "bir parçadaki geometrik, topolojik ve fonksiyonel elemanların; tasarım, analiz ve üretimde en uygun kullanılacak şekilde yüksek seviyeli bir gruplandırılması" olarak tanımlanabilir. Unsur yaklaşımı; tasarım niyetini koruma, tasarımdan otomatik üretime geçme ve zeki tasarım sistemi geliştirme gibi bazı avantajlar sağlanmaktadır. Bu makalede, unsur tabanlı modelleme konusunda yürütülen bir araştırma çalışması özetlenmekte ve bu amaçla geliştirilen bir yazılım paketi tanıtılmaktadır. Bu paket program; unsur kütüphanesi, basit bir dil söz dizimi, kullanıcı arabirimi ile analiz ve gösterim araçlarından oluşmaktadır. Bu paket programı kullanan bir tasarımcı, eksenel simetrik dönel parçaların unsur tabanlı modellerini kolayca oluşturabilmekte ve geliştirebilmektedir.

GİRİŞ

Henüz tam anlaşılabilmiş olmamakla birlikte tasarımın, oldukça karmaşık ve yüksek dereceli yaratıcılık gerektiren bir faaliyet şekli olduğuna inanılmaktadır. Tasarım işlemi; "fonksiyonel uzayda belirtilen ihtiyaçları en uygun karşılayacak ürünün fiziki çözüm uzayında tam bir tanımını yapabilmek için yürütülen tüm faaliyetler" olarak tanımlanabilir. Problem tanımından başlayan bu işlem; kavramsal, şekillendirme ve ayrıntılı tasarım aşamalarını da içeren bir döngü şeklinde gelişir ve genelde tatminkar bir çözüm elde edilene dek sürer (eğer çözüm varsa).

Tasarımda bilgisayar kullanımının başlangıç noktası, etkileşimli bilgisayar grafik ve hatta sayısal bilgisayarlara kadar uzanmaktadır [1]. Bilgisayar grafik yazılımının ilk teorik temeli, 1963 yılında ortaya konulmuştur [2]. Bunu izleyen ilk on yılda, iki boyutlu bir çok bilgisayar destekli çizim yazılım ve donanımı geliştirilmiştir. 1970'lerin sonlarına doğru çeşitli geometrik modelleme yaklaşımlarının geliştirilmesi ve bazı mühendislik analiz işlemlerinde kullanılmaya başlanması, Bilgisayar Destekli Tasarım (BDT) alanında büyük değişimlere sebep olmuştur [1]. Geometrik modelleme teknikleri (özellikle yüzey ve katı modelleme), parça geometrisi hakkında tam bir veri temsili sağlamakla birlikte tasarım ve üretim arası

otomasyonda yetersiz kalmıştır [3]. Çünkü; geometrik model oluşturulmada kullanılan düşük düzeyli temel elemanlar, ileri aşamalarda yapılacak işlem planlama, CNC kodu üretime gibi işlemler için gereken fonksiyonel bilgileri içermemektedir. Bu eksikliğin anlaşılması ile, tasarım, üretim veya mühendislikte bir anlam ifade eden; pah, fatura, kama kanalı gibi yüksek seviyeli standart bir iletişim aracı ve/veya bir temsil tekniği üzerinde durulmuş ve böylece, unsur (feature) kavramı doğmuştur [3, 4]. Tek, tam ve yanlış yorumsuz bir tanım sağlayan unsur, sadece geometrik ve topolojik verileri değil; aynı zamanda toleranslar, malzeme veya yüzey işlemleri gibi fonksiyonel bilgileri de içermektedir [4, 5]. Unsur konusunda yürütülen araştırma çalışmaları, 1980'lerden günümüze kadar süregelen ve bazı ticari BDT, BDT/BDÜ (BDT/Bilgisayar Destekli Üretim) ve BDM (Bilgisayar Destekli Mühendislik) sistemlerinde uygulanmaya başlanmıştır. Örnek olarak I-DEAS gösterilebilir [6]. BDT/BDÜ arası boşluğun doldurulması ve tasarımdan üretime geçişte otomasyon sağlanması, unsur temelli modelleme yaklaşımının ana amacıdır.

Bu makale, unsur tabanlı tasarım konusunda yürütülen bir araştırma çalışmasını özetlemekte ve bu amaçla geliştirilen deneysel bir yazılım paketi "Geometrik Unsur Tabanlı Tasarım" (GUTAT) sistemini tanıtmaktadır [7]. Makalenin diğer kısımları

şu şekilde organize edilmiştir: Bir sonraki Kısım kapsamında, unsurun tanım, tanıtım ve sınıflandırılması verilecektir. Unsur tabanlı tasarım amaçlı geliştirilen program mantığı, kullanım şekli ve tasarım sınırları, 3. Kısım'da açıklanacaktır. Son Kısım'da ise, araştırma bulguları ile ileride yapılacak araştırmalar özetlenecektir.

UNSUR TABANLI TASARIM

Unsurun Tanım ve Tanıtımı

Genelde düşük seviyeli tasarım bilgisinin özleştirilmesi olarak kabul edilen unsurun, araştırmacılar arası kabul edilmiş tek ve geçerli bir tanımı bulunmamaktadır [5, 8, 9]. Bu, her bir araştırmacının değişik bir konuyu önde tutması ve konuya farklı bir bakış açısı ile yaklaşmasından kaynaklanmaktadır (tasarım, montaj, işlem planlama, üretim gibi). Unger ve Ray [10], unsuru; "bir parçadaki geometrik, topolojik ve fonksiyonel elemanların; tasarım, analiz ve üretimde en uygun kullanılacak şekilde yüksek seviyeli bir gruplandırılması" olarak tanımlamaktadır. İki yeni kitap ise [11, 12], unsurları; bir parça üretiminde önemli ve birbiri ile ilişkilendirilmesi gereken topolojik eleman grupları olarak tanıtmaktadır. Buna göre unsurların, alan bağımlı ve uygulama uyarlı olduğu belirtilebilir. Böylece parça; tasarım, üretim, gerilme analizi v.b. gibi çeşitli uygulamalarda farklı unsur kümeleri cinsinden belirtilecektir.

Geleneksel modelleme sistemleri kullanılarak tasarlanan ürünler, parça fonksiyonu hakkında tasarım niyetini yansıtmamaktadır [9, 13]. Örneğin, bir mil üzerinde oluşturulan prizmatik bir boşluk, parça üzerinde bir çukur meydana getirirken; bu işlemin tasarımcı zihnindeki anlamı, bir kama kanalı olacaktır. Ancak bu mühendislik yorumu, bu noktada kaybolacaktır. Tasarım niyeti, tasarımı izleyen işlem planlama, takım seçimi v.b. işlemlere yardımcı olacağından kaybolmaması gerekir. Unsur tabanlı tasarım yaklaşımı, tasarım niyetini tam olarak koruma ve saklamada bir çözümdür. Böylece bu metod, geleneksel modelleme araçlarının gelişmiş bir şeklidir [9]. Unsur tabanlı modelleme konusunda yapılan çalışmalar, üç temel yaklaşıma ayrılmaktadır. Bunlar [5, 7, 14]:

• mevcut katı modellerden (CGS - Yapısal Katı Modelleme - ve Brep - Sınır temsili - ile tanımlı) unsur çıkartma

- başlangıçta unsur tabanlı tasarım ve
- yukarıdaki iki yaklaşımın birleştirilmesi.

Katı modellerden unsur çıkartılmasında, yüzey işleme veya toleranslar gibi mevcut olmayan bilgilerin elde edilmesi mümkün değildir. Ayrıca çok basit unsurların bile elde edilmesinde kullanılan algoritmalar, oldukça karmaşık ve hata eğilimlidir. Unsur tabanlı tasarım, tasarım işlem verimliliğini artırmakla birlikte, tasarım sistemi ifade yeteneğini kısıtlamaktadır. Böylece tasarımın, her zaman tek bir yorumu

olmaktadır. sadece tek bir yaklaşıma bağımlı kalınması yerine yukarıdaki ilk iki yaklaşımın birleştirilmesi ve birlikte kullanılması en uygun yol görülmektedir [5, 9, 13].

Unsur yaklaşımı, STEP'in (STandard for Exchange for Product data) geliştirilmesini desteklemek amacıyla da kullanılmıştır [9]. STEP, diğer kolaylıklarla birlikte EXPRESS (ISO 10303 - 11) adlı bir bilgisayar dili sağlamaktadır. Bu dil, STEP uyumlu ürünler yaratılırken bilgi modellemede kullanılmaktadır. Unsurlar, Biçim Unsur Bilgi Modelleri (BUBM) aracılığı ile değiştirilebilmektedir. BUBM'la ilgili bazı olumsuzluklar [9]; unsur konumlama yetersizlikleri, bazı basit biçim temsil güçlükleri ve nümerik hassasiyetsizliklerle birlikte veri değişimi esnasında unsur ilişkilerindeki kayıplar şeklinde belirtilebilir. Bu olumsuzlukların ana sebeplerinden birisi de, bilimsel çevrelerce kabul edilmiş tek ve geçerli bir unsur tanımının bulunmaması ve unsurların, uygulama bağımlı olması gösterilebilir. Diğer bir neden ise, ISO 10303'ün bazı kısımlarının hala tamamlanmamış olmasıdır.

Unsur tabanlı tasarımla ilgili diğer bir problem ise, tasarımcının unsur kütüphanesinde bulunan ve önceden tanımlı unsurlarla sınırlı uzayda tasarım yapmasıdır [5, 7, 9]. ayrıca bu kütüphane kullanımının oldukça fazla üretim bilgisine ihtiyaç göstermesi ve erken tasarım aşamalarında bile zaman zaman üretim kararları gerektirmesi, diğer bir olumsuzluktur. Bazı durumlarda ise, tasarım ve üretim unsurları arasında, bire bir ilişki olmayabilir. Makina resimlerinin, her zaman unsurlar cinsinden tanımlanamayacağı da (ki bu, gerekli de değildir) belirtilmelidir. Ayrıca döküm veya pres şekillendirme ile üretilecek kompleks parçaların tam modellenmesi, unsur tabanlı tasarım tekniği ile güç olabilir. Araba gövdeki gibi karmaşık yüzeyli parçalarda da, unsur tabanlı tasarım uygun olmayabilir.

Unsurları Sınıflandırma

Unsur kavramı; pahlar, kama kanalları gibi geometrik biçim unsurları ile başlamış olmakla birlikte zaman içinde kapsamı oldukça fazla genişlemiştir [7]. Yukarıda da belirtildiği gibi konunun araştırmacılar tarafından değişik açılardan değerlendirilmesi ile, çeşitli unsur sınıflandırılmaları yapılmıştır. Örneğin van Emmerik [15], unsurları; biçim unsurlar (örneğin pah, fatura), patern unsurlar (örneğin dairesel, dikdörtgen patern), birleştirme unsurları (örneğin geometrik sınırlayıcılar, toleranslar), özellik unsurları (örneğin yüzey işleme kalitesi, yüzey ısı işlemi) ve uygulama unsurları (örneğin montaj sırası, eş zamanlı bağlama) olmak üzere beş grupta değerlendirmektedir. Fu ise [4], uygulama unsurlarını, şu beş gruba ayırmaktadır: tasarım unsurları (fonksiyonel gereksinimleri karşılayan geometrik biçim), analiz unsurları (çeşitli analiz işlemlerini kolaylaştırmak için gerçek geometrinin bazı temel elemanlar cinsinden idealleştirilmesi), tolerans ve kalite kontrol unsurları (parça veya montajın değişebilir modelinin oluşturulması), üretim ve talaşlı işlem

unsurları (dönel, prizmatik ve saç metal olmak üzere takım tezgahları ile yapılan temel işlemler) ve montaj unsurları (monte edilecek parçaların birleşme ilişkilerinin tanımlanması). Zhu ve arkadaşları [16] tarafından tanımlanan unsur model, şu beş gruptan oluşan bilgi kümeleridir: yönetim unsurları (örneğin Grup Teknoloji kodu), malzeme unsurları (örneğin özellikler/tanımlar, malzeme yüzeyine uygulanan ısı işlemler), hassasiyet unsurları (örneğin toleranslar, yüzey kalitesi), biçim unsurlar (örneğin fonksiyonel, montaj desteği) ve teknolojik unsurlar (örneğin performans parametreleri, operasyon değişkenleri, tasarım sınırlayıcıları). Chen ve Wu [17], temsil şekline göre biçim unsurlarını; yüzey unsurları (unsuru tanımlayan yüzey kümesi) ve hacim unsurları (unsuru oluşturmada kullanılan basit bir katı) olmak üzere iki gruba ayırmaktadır.

Ayrıca uygulama alan ve şekline bağlı olarak; hacim kalıpcılığı tasarımı [18], iş kalıpları tasarımı [19, 20], pres takım tasarımı [21], saç metal parça tasarımı [22, 23], kaynakla imal edilecek parça tasarımı [24], kompozit malzemeden oluşan parçaların tasarımı [25] ve teknik resimden unsur modeller oluşturma [26, 27] gibi unsur sınıfları ve/veya unsur tabanlı araştırma çalışmaları da kaynaklarda yer almaktadır.

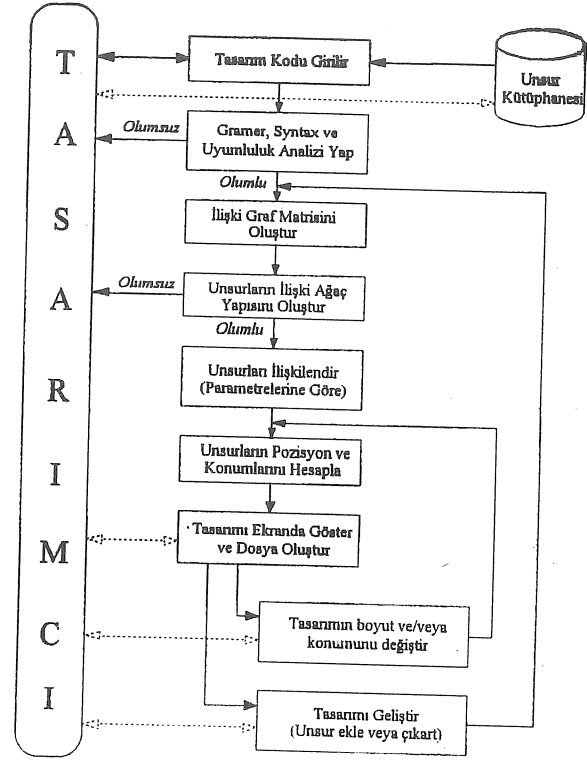
Bu çalışma kapsamında ele alınan unsurlar, şimdilik geometrik unsurlardan seçilen ondokuz unsuru içermektedir. Bu unsurlar, genelde eksenel simetrik unsurlardır.

GEOMETRİK UNSUR TABANLI TASARIM PROGRAMI - GUTAT

Programın Yapısı ve Kullanılması

Geometrik unsurlar ile makina parçalarının modellenmesi, bir araştırma çalışması olarak ele alınmış ve bu amaçla kullanılacak bir bilgisayar paket programı geliştirilmiştir (GUTAT) [7]. Bu programın geliştirilmesinde Quick BASIC ve Visual BASIC dilleri, bir arada kullanılmıştır. Bu program; unsur kütüphanesi, basit bir dil söz dizimi (syntax), kullanıcı arabirimi, analiz ve gösterim araçlarından oluşmaktadır. Geliştirilen bu programın bir tasarımcı tarafından nasıl kullanılacağını gösteren bir akış şeması, Şekil 1'de görülmektedir.

Unsur kütüphanesi, istenildiğinde parametrik tanımla kullanılabilen standart ondokuz temel unsuru içermektedir (istenildiğinde kütüphaneye yeni unsurlar eklenebilmektedir). Bu unsurlar, dil söz dizimi ile tanımlanarak veya etkileşimli olarak, unsur modeller oluşturmada kullanılabilir. *Dil söz dizimi*, unsurların basit ve hiyerarşik bir şekilde parça modellemesinde kullanımını sağlar. Etkileşimli (tek tek ve sıralı) veya herhangi bir editör kullanılarak unsur tabanlı model tanım dosyasının hazırlanması şeklinde kullanılabilir. *Kullanıcı arabirimi*, tasarımcının GUTAT'la iletişim kurması, model geliştirmesi veya analizi gibi işlemler yapmasına destek sağlar. *Analiz ve gösterim araçları*; unsur tabanlı tasarım tanımlarının



Şekil 1. Unsur tabanlı programın çalışma yapısı

söz dizim, gramer ve uyumluluk analizlerini yapar. Ayrıca modelin ekranda, istenilen konum ve boyutta gösterimini sağlar.

Yeni bir makina parçasını modellemek isteyen tasarımcı, ya GUTAT sistemi içinde etkileşimli veya GUTAT dışında bir editör kullanarak (DOS editörü gibi) unsur tabanlı tasarım dosyası oluşturabilir. GUTAT dışında bir editörle hazırlanan tasarım dosyasının sisteme yüklenmesinden sonraki analiz ve görüntüleme işlemleri, GUTAT'la tasarım kod tanımını izleyen işlemlerle aynı şekilde yapılır. Tasarım tanım kodunun girilmesinden sonra sistem, bu kodu, gramer, söz dizimi ve uyumluluk açısından analiz eder. Analiz sonucunda belirlenebilecek olumsuzluklar, kullanıcıya rapor edilerek düzeltilmesi istenir. Analiz işleminin tamamlanmasından sonra, hiyerarşik unsur ilişki ağaç yapısının elde edilmesinde kullanılacak ilişki dizge (graf) matrisi oluşturulur [28]. İlişki ağaç yapısı, modelde yer alan unsurların kolay ve hızlı bir şekilde birleştirilmesine destek sağlar. Editörle yapılacak tanım dosyalarında bulunabilecek olası ilişki hataları da rapor edilir (bu hataların düzeltilmesi gerekir). Daha sonraki basamaklarda GUTAT, tanım dosyasında bulunan unsurların parametrik tanımlarına göre ilişkilerini yaparak pozisyon ve konumlarını hesaplamaktadır. Böylece unsur tabanlı modelinin, ekranda görüntülenmesi, boyut veya konumunun değiştirilmesi ve geliştirilmesi mümkün olabilecektir. Unsur ekleme / çıkartma işlemleri de yapılabilmektedir. Hazırlanan bir dosya, sürekli kayıt ortamında (disket gibi) saklanarak istenildiğinde çağrılabilen ve yeni tasarımlarda kullanılabilir.

Programın Dil Söz Dizimi

GUTAT unsur kütüphanesinde bulunan temel unsurların parça tanımında kullanılması için geliştirilen basit bir dil söz dizimi, Şekil 2'de görülmektedir. Bu söz dizimin "%" ile başlayan satırları, yorum ve açıklama satırlarıdır. "Parça" kelimesi ile başlayan ve "{...}" parantezleri arasında bir parçanın unsur tabanlı tanımı yapılmaktadır. İlk satırlarda, parçaya ait isim (parçaya verilecek), yerleşim (parçanın ekrandaki konumu veya global koordinat sisteminin yeri) ve dönme (parçanın dönme açısı), yer almaktadır.

```
% Açıklama_1
% Açıklama_2
Parca { isim (Parça_İsmi)
      yerleşim ( x , y )
      dönme ( açı )
      Unsur { isim (Unsur_İsmi)
            ilişki (Unsur_İsmi, İlişki_Yönü)
            yerleşim ( x , y )
            boyut ( Unsur_Boyut_Parametreleri
            )
      }
}
```

Şekil 2. GUTAT unsur tanım söz dizimi

Daha sonraki satırlarda "Unsur" kelimesi ile başlayan ve "{...}" parantezleri içinde yer alan program parçacıklarında, parça modellenmesinde kullanılacak unsur tanımları bulunmaktadır. Burada "{...}" parantezleri arasında her unsura ait; isim (unsur kütüphanesindeki ondokuz unsurdan birinin adı), ilişki (model üzerinde ilişkilendirilecek unsur ismi ve yönü), yerleşim (ilişkili olduğu unsur üzerindeki bölgesel koordinat değerleri) ve boyut (unsurun parametrik boyut değerleri) parametreleri ile tanımlanmaktadır.

Unsur Kütüphanesi

Mevcut hali ile GUTAT programının unsur kütüphanesi, altı ana başlık altında sınıflandırılmış olan örnek ondokuz unsuru içermektedir. Bu unsurlar;

- Mil unsurları; (1) düz (silindirik yüzey), (2) konik (konik yüzey) ve (3) vida,
- Kama unsurları; (4) kapalı kama kanalı ve (5) açık kama kanalı,
- Kanal unsurları; (6) daire kesitli kanal (kavisli fatura), (7) yamuk kesitli kanal (w kanal), (8) üçgen kesitli kanal (v kanal) ve (9) dikdörtgen kesitli kanal (iç fatura),
- İç vida unsurları; (10) vidalı açık delik (boydan boya vida) ve (11) vidalı kör delik,
- Köşe (pah) unsurları; (12) iç bükey daire kesitli, (13) dış bükey daire kesitli, (14) üçgen kesitli (pah) ve (15) dikdörtgen kesitli,
- Delik unsurları; (16) açık (boydan boya), (17) kör, (18) açık konik, (19) kör (kapalı) konik şeklindedir.

Unsur kütüphanesinde mevcut olan bu unsurlar, dil söz diziminde açıklandığı gibi isim, ilişki, yerleşim ve boyut parametreleri verilmek sureti ile geliştirilecek bir modelin oluşturulmasında kullanılabilir. Şekil 3'de, kütüphanede yer alan unsurları tanımlamada kullanılan unsur ad ve parametreleri görülmektedir. Bir örnek olarak "düz mil" unsurunun kullanılabilmesi için, tasarım dil söz dizimi ile,

```
Unsur { isim(milduz_r)
      ilişki(unsur_adi, ilişki)
      yerlesim(x, y)
      boyut(a, r)
}
```

şeklinde bir tanım kullanılmalıdır. Burada "isim (milduz_n)", unsur adını (_n, aynı unsurun kullanım sırası); "ilişki (unsur-adi, ilişki)", ilişkili olduğu unsur adını ve ilişki şeklini (., unsurun bölgesel koordinatı merkezde; +, sağda; -, solda olarak); "yerlesim (x, y)", seçilen bölgesel koordinata göre öteleme miktarı (öteleme yoksa, (0, 0) değerleri alınır); "boyut(a, r)", unsurun parametrik boyut değerlerini belirtmektedir. Unsur kütüphanesinde bulunan diğer unsurlar da, benzer şekilde kullanılabilir.

İletişim Komutları

GUTAT sisteminin kullanıcı tarafından kullanımını mümkün kılabilmek ve bazı işlemleri kolay ve hızlı yapabilmek için, bazı iletişim komutları (unsur tanımlamaya ek olarak) geliştirilmiştir. Bu komutların adı, kullanım şekli ve açıklaması, Şekil 4'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi bu komutlar, kullanıcının dosyalarla ilgili bazı işlemlerini (save, list, load, dir gibi) ve oluşturulan unsur tabanlı tasarım modelinin analiz ve geliştirilmesini (move, rot, movrot, del gibi) mümkün kılabilmektedir. Ayrıca komut listesi ve unsurların nasıl kullanılacağını gösteren, "help" kolaylıkları da vardır.

GUTAT programının çalışması ile bilgisayar ekranında; grafik gösterim ve iletişim ekranları olmak üzere iki ekran oluşmaktadır (Şekil 7). Yukarıda listesi verilen komutlar, iletişim ekranından girilebilmekte; yanlış girilen komut veya unsur tanımları kullanıcıya rapor edilmekte ve doğrusu ekranda gösterilmektedir.

Unsur Temsili

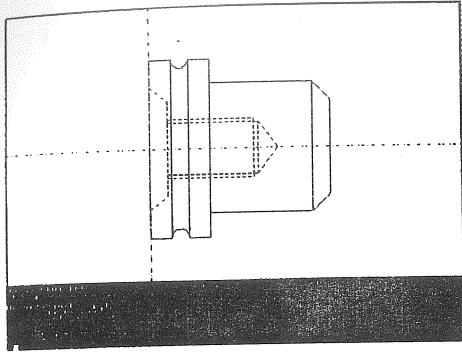
GUTAT program unsur kütüphanesinde mevcut ve parametrik tanımları mümkün unsurlarla oluşturulacak bir modelin bilgisayar ortamındaki temsili, ağaç benzeri bir dizge düzeninde olmaktadır (unsur modelin geliştirilmesine paralel değişebilir). Burada referans alınan bir unsur (genelde ilk unsur), kök olurken; dizgenin alt düğümleri, buna ilişkili tanımlanan diğer unsurları ve dizgenin kenarları (ağacın dalları) ise, unsurlar arası ilişkileri belirtmektedir. Dizge kenarlarındaki etiketler; 0 veya 1 olarak unsur ilişki kurma özelliğini tanımlamaktadır. Burada 0 özelliği,

| Sr. | Unsur adı | a | b | r1 | r2 | Lk | Açıklama |
|------|-------------|---|---|----|----|----|------------------------|
| (1) | milduz | ✓ | | ✓ | | - | Düz mil |
| (2) | milkonik | ✓ | | ✓ | ✓ | - | Konik mil |
| (3) | vidamil | ✓ | | ✓ | | - | Vidalı mil |
| (4) | kamak | ✓ | ✓ | | | - | Kama kanalı |
| (5) | kamaa | ✓ | ✓ | | | + | Açık kama kanalı |
| (6) | kanalr | ✓ | | ✓ | | - | Yarım yuvarlak kanal |
| (7) | kanalv | ✓ | | ✓ | ✓ | - | Üçgen kesitli kanal |
| (8) | kanalw | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | - | Yamuk kesitli kanal |
| (9) | kanalh | ✓ | | ✓ | ✓ | - | Faturalı kanal |
| (10) | vidadelika | ✓ | | ✓ | | + | Açık vidalı delik |
| (11) | vidadelikk | ✓ | | ✓ | | + | Kör vidalı delik |
| (12) | koseri | ✓ | | ✓ | | - | İçbükey yuvarlak köşe |
| (13) | koserd | ✓ | | ✓ | | - | Dışbükey yuvarlak köşe |
| (14) | kosep | ✓ | ✓ | ✓ | | - | Pahlı köşe |
| (15) | kosel | ✓ | | ✓ | ✓ | - | Faturalı köşe |
| (16) | delika | ✓ | | ✓ | | + | Boydan boya delik |
| (17) | delikk | ✓ | | ✓ | | + | Kör delik |
| (18) | delikkonika | ✓ | | ✓ | ✓ | + | Açık konik delik |
| (19) | delikkonikk | ✓ | | ✓ | ✓ | + | Kör konik delik |

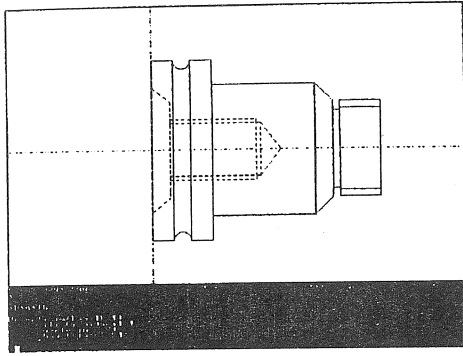
Şekil 3. Unsur kütüphanesi (a, b: Boy; r1, r2: Çap; Lk: Yerel koordinat)

| Komut | Açıklama | Kullanımı |
|-----------|---|--------------------|
| Help | Yardım komutlarını gösterir. | Help |
| New | Yeni bir tasarım dosyası açar. | New |
| Cls | Çizim ekranını temizler. | Cls |
| Dir | Diskte saklı "*.Par" uzantılı dosyaları listeler. | Dir |
| Load | Belirtilen tasarım dosyasını yükler. | Load <"Dosya adı"> |
| List | Çalışılan tasarım tanım kodunu görüntüler. | List |
| Save | Tasarım program kodunu kaydeder. | Save |
| Move | Verilen x ve y değerlerinde öteleme sağlar. | Move <x, y> |
| Rot | Verilen açı değerinde döndürme yapar. | Rot <Açı> |
| MovRot | Öteleme (yön tuşları) ve döndürme (+/-) sağlar. | MovRot |
| Redraw | Tasarımı yeniden çizer. | Redraw |
| Edit | Tasarıma ait unsurların editini sağlar. | Edit <Unsur Adı> |
| Del | Tasarımdan unsur(lar) silinmesini sağlar. | Del <Unsur Adı> |
| Zoom | Tasarımı, verilen "n" ölçeğinde yeniden çizer. | Zoom <n> |
| Quit/Exit | Unsur tabanlı tasarım programından çıkarılır. | Quit / Exit |
| Kanal | Kanal unsurları ve kullanım formatını gösterir. | Kanal |
| Köşe | Köşe unsurları ve kullanım formatını gösterir. | Köşe |
| Kama | Kama unsurları ve kullanım formatını gösterir. | Kama |
| Mil | Mil unsurları ve kullanım formatını gösterir. | Mil |
| Delik | Delik unsurları ve kullanım formatını gösterir. | Delik |

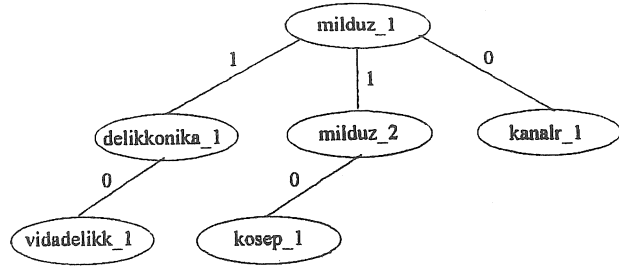
Şekil 4. GUTAT iletişim komut listesi



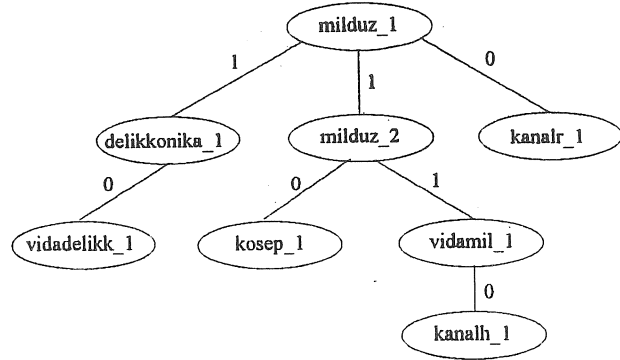
(a)



(c)



(b)



(d)

Şekil 5. Unsur modelin oluşturulması ve dizge temsili: (a), (c) Geometrik modeller; (b), (d) Unsur

ilişki kurduğu unsur yüzeyinde talaş kaldırma ile oluşan unsurlarda (pah, kama kanalı gibi); 1 özelliği ise, ilişki kurduğu unsura yeni hacim ekleyen veya çıkartan unsurlarda (mil, delik gibi) kullanılmaktadır.

Şekil 5 (a)'da GUTAT kullanılarak oluşturulan basit bir parçanın unsur tabanlı modeli; Şekil (b)'de ise, aynı parçanın ilişki dizge yapısı görülmektedir. Aynı parçaya yeni unsurlar eklenmesi ile geliştirilen model ve ilgili dizge, Şekil 5 (c) ve (d)'de gösterilmiştir.

İlişki dizgesinin bilgisayar ortamında temsili, n×n boyutlu bir kare "Bitişim (Adjacency) Matrisi" B ile yapılabilir. B matrisindeki n boyutu, dizgedeki düğüm (node) sayısını belirtmekte ve matris elemanları, 0 ve 1 değerlerinden oluşmaktadır. B matris satır ve sütunlarına yerleştirilecek unsurlar arasında ilişki (komşuluk) var ise, bu unsurların kesiştiği b_{ij} matris elemanı, 1; ilişki yok ise, 0 değerlerini alacaktır. Şekil 5 (d)'de görülen ilişki dizgesinin bitişim matrisi, Şekil 6'da verilmiştir (Şekilde 0 değerleri boş bırakılmıştır).

Unsur ilişki dizgesini temsil eden bitişim matrisinden faydalanılarak, her bir unsurdan köke (referans unsura) gidicek ilişki patikaları, dizge kuramı algoritmaları kullanılarak kolayca elde edilebilir [28]. Örneğin, unsur "kanalh_1" ile kök arasındaki patika:

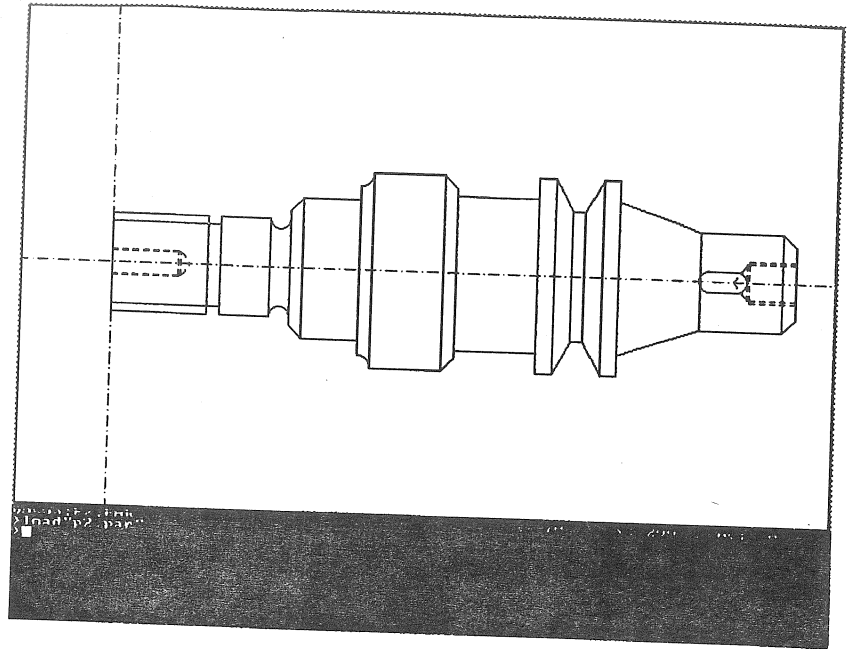
kanalh_1 --- vidamil_1 --- milduz_2 --- milduz_1

şeklinde olacaktır. GUTAT programı, tanımlanan unsur tasarım dosyalarını analiz ederek, her bir unsura ait ilişki patikalarını ve bunlara bağlı unsur konumlama ve koordinat değerlerini hesaplayabilmektedir. Aynı işlemler, unsurların eklenmesi, çıkartılması, boyut parametrelerinin değiştirilmesi v.b. gibi hallerde de uygulanarak, son modele ait ilişki ve koordinat değerleri korunabilmekte, sürekli kayıt ortamında saklanabilmektedir.

GUTAT kullanılarak oluşturulan örnek bir unsur tabanlı tasarım modeli ve ilgili dosyaları, Şekil 7-11 arasında verilmiştir. Burada Şekil 7, modelin geometrik gösterimini; Şekil 8, modelin GUTAT söz dizimi ile yapılan tasarım tanım kod dosyasını; Şekil 9, ilişki bitişim matrisini; Şekil 10, unsurların patika matrisini ve Şekil 11 ise, unsurların GUTAT tarafından elde edilen boyut ve koordinat değerlerini göstermektedir.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 milduz_1 | | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 2 delikkonika_1 | 1 | | | | | 1 | | |
| 3 milduz_2 | 1 | | | | | | 1 | 1 |
| 4 vidadelikk_1 | 1 | | | | | | | |
| 5 kosep_2 | | | 1 | | | | | |
| 6 vidamil_1 | | | | 1 | | | | |
| 7 milduz_3 | | | 1 | | | | | 1 |
| 8 kanalh_1 | | | | | | | 1 | |

Şekil 6. Şekil 5 (d)'de görülen unsur ilişki dizgesinin bitişim matrisi



Şekil 7. GUTAT'la oluşturulan bir unsur tabanlı tasarım modeli.

```

% Geometrik Unsur Tabanlı Tasarım (GUTAT)
% Program adı : P2.PAR
% Tarih/Saat : 17.07.1997 / 14:49:58
Parca { isim(mil0002)
  yerlesim(70,200)
  donme(0)
  Unsur { isim(vidamil_1)
    iliski(mil0002,+ )
    yerlesim(0,0)
    boyut(75,38)
  }
  Unsur { isim(milduz_1)
    iliski(vidamil_1,+ )
    yerlesim(0,0)
    boyut(64,38)
  }
  Unsur { isim(kanalr_1)
    iliski(milduz_1,+ )
    yerlesim(0,0)
    boyut(16,38)
  }
  Unsur { isim(kanalh_1)
    iliski(milduz_1,- )
    yerlesim(0,0)
    boyut(10,38,32)
  }
  Unsur { isim(milduz_2)
    iliski(milduz_1,+ )
    yerlesim(0,0)
    boyut(54,54)
  }
  Unsur { isim(kosep_1)
    iliski(milduz_2,- )
    yerlesim(0,0)
    boyut(10,10,54)
  }
  Unsur { isim(milduz_3)
    iliski(milduz_2,+ )
    yerlesim(0,0)
    boyut(75,75)
  }
  Unsur { isim(koseri_1)
    iliski(milduz_3,- )
    yerlesim(0,0)
    boyut(10,75)
  }
  Unsur { isim(kosep_2)
    iliski(milduz_3,+ )
    yerlesim(0,0)
    boyut(10,10,75)
  }
  Unsur { isim(milduz_4)
    iliski(milduz_3,+ )
    yerlesim(0,0)
    boyut(64,59)
  }
  Unsur { isim(milduz_5)
    iliski(milduz_4,+ )
    yerlesim(0,0)
    boyut(64,75)
  }
  Unsur { isim(kanalw_1)
    iliski(milduz_5,- )
    yerlesim(0,0)
    boyut(38,10,75,50)
  }
  Unsur { isim(milkonik_1)
    iliski(milduz_5,+ )
    yerlesim(0,0)
    boyut(64,59,38)
  }
  Unsur { isim(milduz_6)
    iliski(milkonik_1,+ )
    yerlesim(0,0)
    boyut(75,38)
  }
  Unsur { isim(kosep_3)
    iliski(milduz_6,+ )
    yerlesim(0,0)
    boyut(10,10,38)
  }
  Unsur { isim(kamak_1)
    iliski(milduz_6,- )
    yerlesim(-20,0)
    boyut(38,16)
  }
  Unsur { isim(vidadelikk_1)
    iliski(vidamil_1,- )
    yerlesim(0,0)
    boyut(54,10)
  }
  Unsur { isim(vidadelikk_2)
    iliski(milduz_6,+ )
    yerlesim(0,0)
    boyut(38,16)
  }
}

```

Şekil 8. Şekil 7'de görünen örnek parçanın GUTAT tasarım tanım kodu

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|----|--------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | vidamil 1 | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | 1 |
| 2 | milduz 1 | 1 | | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | kanalr 1 | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | kanalh 1 | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | milduz 2 | | 1 | | | 1 | 1 | | | | | | | | | | | |
| 6 | kosep 1 | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | milduz 3 | | | | 1 | | | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | |
| 8 | koseri 1 | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | |
| 9 | kosep 2 | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | |
| 10 | milduz 4 | | | | | | 1 | | | | 1 | | | | | | | |
| 11 | milduz 5 | | | | | | | | | 1 | | 1 | 1 | | | | | |
| 12 | kanalw 1 | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | |
| 13 | milkonik 1 | | | | | | | | | | 1 | | | 1 | | | | |
| 14 | milduz 6 | | | | | | | | | | | | 1 | | 1 | 1 | | 1 |
| 15 | kosep 3 | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | |
| 16 | kamak 1 | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | |
| 17 | vidadelikk 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | vidadelikk 2 | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | |

Şekil 9. Örnek tasarıma ait ilişki bitişim dizge matrisi

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| vidamil 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| milduz 1 | vidamil 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| kanalr 1 | milduz 1 | vidamil 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| kanalh 1 | milduz 1 | vidamil 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| milduz 2 | milduz 1 | vidamil 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| kosep 1 | milduz 2 | milduz 1 | vidamil 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| milduz 3 | milduz 2 | milduz 1 | vidamil 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| koseri 1 | milduz 3 | milduz 2 | milduz 1 | vidamil 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| kosep 2 | milduz 3 | milduz 2 | milduz 1 | vidamil 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| milduz 4 | milduz 3 | milduz 2 | milduz 1 | vidamil 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| milduz 5 | milduz 4 | milduz 3 | milduz 2 | milduz 1 | vidamil 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| kanalw 1 | milduz 5 | milduz 4 | milduz 3 | milduz 2 | milduz 1 | vidamil 1 | | | | | | | | | | | | | |
| milkonik 1 | milduz 5 | milduz 4 | milduz 3 | milduz 2 | milduz 1 | vidamil 1 | | | | | | | | | | | | | |
| milduz 6 | milkonik 1 | milduz 5 | milduz 4 | milduz 3 | milduz 2 | milduz 1 | vidamil 1 | | | | | | | | | | | | |
| kosep 3 | milduz 6 | milkonik 1 | milduz 5 | milduz 4 | milduz 3 | milduz 2 | milduz 1 | vidamil 1 | | | | | | | | | | | |
| kamak 1 | milduz 6 | milkonik 1 | milduz 5 | milduz 4 | milduz 3 | milduz 2 | milduz 1 | vidamil 1 | | | | | | | | | | | |
| vidadelikk 1 | vidamil 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| vidadelikk 2 | milduz 6 | milkonik 1 | milduz 5 | milduz 4 | milduz 3 | milduz 2 | milduz 1 | vidamil 1 | | | | | | | | | | | |

Şekil 10. Örnek tasarımda yer alan unsurların patika matrisi (ağaç yapısı)

| Unsur | İliş. Unsur | Ui | Li | Sx | x | y | a | b | r1 | r2 | sx | sy |
|--------------|-------------|----|----|----|-----|---|----|----|----|----|-----|-----|
| vidamil 1 | mil0002 | + | - | 0 | 0 | 0 | 75 | 0 | 38 | 0 | 70 | 200 |
| milduz 1 | vidamil 1 | + | - | 0 | 0 | 0 | 64 | 0 | 38 | 0 | 145 | 200 |
| kanalr 1 | milduz 1 | + | . | 0 | 0 | 0 | 16 | 0 | 38 | 0 | 201 | 200 |
| kanalh 1 | milduz 1 | - | . | 1 | 0 | 0 | 10 | 0 | 38 | 32 | 150 | 200 |
| milduz 2 | milduz 1 | + | - | 0 | 0 | 0 | 54 | 0 | 54 | 0 | 209 | 200 |
| kosep 1 | milduz 2 | - | - | 1 | 0 | 0 | 10 | 10 | 54 | 0 | 219 | 200 |
| milduz 3 | milduz 2 | + | - | 0 | 0 | 0 | 75 | 0 | 75 | 0 | 263 | 200 |
| koseri 1 | milduz 3 | - | - | 1 | 0 | 0 | 10 | 0 | 75 | 0 | 273 | 200 |
| kosep 2 | milduz 3 | + | - | 0 | 0 | 0 | 10 | 10 | 75 | 0 | 328 | 200 |
| milduz 4 | milduz 3 | + | - | 0 | 0 | 0 | 64 | 0 | 59 | 0 | 338 | 200 |
| milduz 5 | milduz 4 | + | - | 0 | 0 | 0 | 64 | 0 | 75 | 0 | 402 | 200 |
| kanalw 1 | milduz 5 | . | . | 0 | 0 | 0 | 38 | 10 | 75 | 50 | 434 | 200 |
| milkonik 1 | milduz 5 | + | - | 0 | 0 | 0 | 64 | 0 | 59 | 38 | 466 | 200 |
| milduz 6 | milkonik 1 | + | - | 0 | 0 | 0 | 75 | 0 | 38 | 0 | 530 | 200 |
| kosep 3 | milduz 6 | + | - | 0 | 0 | 0 | 10 | 10 | 38 | 0 | 595 | 200 |
| kamak 1 | milduz 6 | . | . | 0 | -20 | 0 | 38 | 16 | 0 | 0 | 548 | 200 |
| vidadelikk 1 | vidamil 1 | - | + | 1 | 0 | 0 | 54 | 0 | 10 | 0 | 70 | 200 |
| vidadelikk 2 | milduz 6 | + | + | 0 | 0 | 0 | 38 | 0 | 16 | 0 | 605 | 200 |

Şekil 11. Örnek tasarımdaki unsurların boyut ve koordinat değerleri

SONUÇ

Bu makalede, unsur tabanlı tasarım konusunda yürütülen bir araştırma çalışmasının ilk sonuçları özetlenmekte ve bu amaçla geliştirilen bir bilgisayar yazılım paketi "GUTAT" tanıtılmaktadır. Geliştirilen paket program; unsur kütüphanesi (mevcut hali ile eksenel simetrik 19 unsur içeren), basit bir unsur tanım dil söz dizimi, kullanıcı arabirimi ile analiz ve gösterim araçlarından oluşmaktadır. Bu paket programı kullanacak bir tasarımcı, çeşitli parçaların unsur tabanlı modellerini kolayca oluşturabilmekte, bu modellere yeni unsurlar ekleyebilmekte/çıkarabilmekte veya unsur parametrelerini değiştirebilmekte, sürekli kayıt ortamında saklayabilmekte ve istenildiğinde tekrar çağırarak benzer yeni işlemler yapabilmektedir. Ayrıca tasarımda ilişkiler şeklinde kullanılan unsurların koordinat değerleri (referans veya global koordinat sistemine göre), program tarafından otomatik olarak hesaplanmakta ve istenildiğinde kullanıcıya sunulabilmektedir. GUTAT programı ile oluşturulan bireysel parçaların montajı, bu çalışmaya paralel yürütülen bir başka araştırma çalışmasında ele alınmış ve GUTAT'a eklenecek bir montaj modülü geliştirilmiştir [29]. Bu montaj modülü, GUTAT'la unsur tabanlı modellenen bireysel parçaların uygun montaj sınırlayıcıları ile tanımlanmasından sonra, montaj modellerinin oluşturulması ve görüntülenmesini de sağlamaktadır. Mevcut hali ile GUTAT, geometrik unsurlar kullanılarak dönel simetrik parçaların modellenmesine izin vermekte ise de; yaklaşım, kolayca simetrik olmayan parçalar ve diğer unsurları (tolerans, montaj gibi) kapsayacak şekilde genişletilebilir.

Tasarım niyetini koruma, tasarımdan otomatik üretime geçmeyi destekleme ve zeki tasarım destek sistemleri geliştirmeyi kolaylaştırmaya ek olarak unsur temelli modelleme yaklaşımı, şu avantajları da sağlamaktadır [5]:

- verilen sınırlandırmalara göre tasarımın işlev ve performansını değerlendirme,
 - farklı düzey ve amaçlı bilgi temsili,
 - geometrik muhakeme (reasoning) gibi bazı işlemlere izin verme,
 - tasarıma farklı açılardan bakma ve değerlendirme.
- Bu nedenlerden ötürü unsur temelli tasarım yaklaşımı, günümüz BDT, BDT/BDÜ ve BDM araştırma ve uygulamalarında öncelikli bir yer işgal etmektedir. Bu makalede özetlenen çalışmanın ileri aşamalarında yapılması düşünülen araştırmalar, şu konuları kapsayacaktır:
- 3 boyutlu unsur temelli bir eş zamanlı tasarım destek sistemi geliştirme,
 - tasarıma farklı açılardan (çeşitli tasarım aşamaları veya üretilebilirlik, montaj edilebilirlik analizi v.b.) bakma,
 - çeşitli analiz paketleri (örneğin gerilme) ile geliştirilen sistemin arabirim sağlayabilmesi,
 - yapay zeka teknikleri ile destek ve
 - ürün modelleme, sınırlandırma teknikleri ve STEP standardı kullanımı.

MODELLING OF ROTATIONAL MACHINE PARTS WITH THE USE OF AXISYMMETRIC FEATURES

Models created by the use of low level primitives of the traditional CAD tools not including information about functionality of the parts became insufficient for closing the gap between CAD/CAM systems. The research on the feature-based design commenced after the establishment of this fact and has been carried on up to now. A feature can be defined as "a higher level grouping of geometrical, topological and functional primitives into an entity more suitable or use in design analysis or manufacturing". The feature-based approach provides some advantages such as expressing the design intent, full automatic integration of design and manufacture and easily development of intelligent design systems. This paper summarizes a research work conducted on the feature-based design and describes a software package developed for this purpose. The package program consists of the feature library, a simple language syntax, the user interface, the tools for analysis and visualization. A designer using this package program can easily create feature based models of axisymmetrical rotational parts and develop them.

KAYNAKÇA

1. Sing, N., *Systems Approach to Computer - Integrated Design and Manufacturing*, John Wiley and Sons, Inc., International Ed., 1996.
2. Sutherland, I., *SKETCHPAD: A Man - Machine Communication System*, Ph.D. Thesis, MIT, January 1963.
3. Finger, S. ve Dixon, J.R., A Review of Research in Mechanical Engineering Design, Part II: Representations, Analysis and Design for Life Cycle, *Research in Eng. Design*, 1 (1989) 3, 121-137.
4. Fu, Z., *Geometric Reasoning for Feature-Based Design Using A Graph Grammar*, Ph.D. Thesis, University of Leeds, December 1991.
5. Fu, Z. ve de Pennington, A., Geometric Reasoning Based on Graph Grammar Parsing, *Proc. of the 1991 ASME Design Automation Conference*, Miami, USA, v.2, pp.13-22, 22-25 Sept. 1991.
6. *I-DEAS Product Catalog*, SDRC, World Headquarters, 2000 Eastman Drive, Milford, Ohio 45150, USA, May 1996.
7. Çelik, S., *Unsur Tabanlı Makina Tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, E.Ü. Makina Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Ağustos 1996.
8. Ji, Q. ve Marefat, M.M., Machine Interpretation of CAD Data for Manufacturing Applications, *ACM Computing Surveys*, 24 (1997) 3, 264-311.
9. Guerra, A.R.O. ve Hinduja, S., Modelling Turned Components with Non-axisymmetric Features, *Computer-Aided Design (CAD)*, 29 (1997) 5, 343-359.

- 3
IC
- ves o
nator
nt fo
The
after
on up
level
sion,
oach
esign
and
igent
work
es a
The
/ a
; for
this
dels
- y
ry
1
10. Unger, M.B. ve Ray, S.R., Feature-based Process Planning in the AMRF, *Proc. of the 1988 ASME Int. Computers in Eng. Conference and Exhibition*, v.3, pp.563-569, 1988.
 11. Shah, J.J. ve Mantyla, M., *Parametric and Feature-Based CAD/CAM: Concepts, Techniques and Applications*, John Wiley, New York, 1995.
 12. Shah, J.J., Nau, D.S. Mantyla, M., (eds.), *Advances in Feature Based Manufacturing*, Elsevier, North Holland, 1994.
 13. Han, J.H. ve Requicha, A.A.G., Integration of Feature Based Design and Feature Recognition, *CAD*, 29 (1997) 5, 393-403.
 14. Nezis, K. ve Vosniakos, G., Recognizing 2.5D Shape Features Using a Neural Network and Heuristics, *CAD*, 29 (1997) 7, 523-539.
 15. van Emmerik, M.J.G.M., *Interactive Design of Parametrized 3D Models by Direct Manipulation*, Delft University Press, The Netherlands, 1990.
 16. Zhu, G., Jian, G., Weigand, H. ve Ji Zhou, J.Y., A Product Definition System for Concurrent Design, *Int. Conference on Engineering Design ICED'93*, The Hague, Netherlands Congress Center, Netherlands, August 17-19, 1993, Proc. of ICED'93, v.3, pp.1602-1609, Ed. by N.F.M. Roozenburg, HEURISTA 1993.
 17. Chen, C.S. ve Wu, J., *Product Modelling and Data Exchange, Concurrent Engineering: Methodology and Applications*, P. Gu and A. Kusiak (Editors), *Advances in Industrial Eng.*, 19, pp.299-313, ELSEVIER Science Pub., 1993.
 18. Ko, H. ve Park, M.W., Integration Methodology for Feature-Based Modeling and Recognition, *Advances in Engineering Software*, 20 (1994) 2-3, 75-89.
 19. Perremans, P., Feature-based Description of Modular Fixturing Elements: The Key to an Expert System for the Automatic Design of the Physical Fixture, *Advances in Eng. Software*, 25 (1996) 1, 19-27.
 20. Munns, A., Li, Y.B. ve Wang, X., Rule-based Feature Extraction from CSG Representations and an Application in Construction, *Int. Conference on Intelligent Manufacturing*, SPIE, pp.269-276, Wuhan, China, 1995.
 21. Ismail, H.S., Chen, S.T. ve Hon, K.K.B., Feature-based Design of Progressive Press Tools, *Int. J. of Machine Tools and Manufacture*, 36 (1996) 3, 367-378.
 22. Mantripragada, R., Kinzel, G. ve Altan, T., Computer-aided Engineering System for Feature-based Design of Box-type Sheet Metal Parts, *J. of Materials Processing Tech.*, 57 (1996) 3-4, 241-248.
 23. Sec Toh, K.H., Loh, H.T., Nee, A.Y.C. ve Lee, K.S., Feature-based Flat Pattern Development System for Sheet Metal Parts, *J. of Mat. Proc. Technology*, 48 (1995) 1-4, 89-95.
 24. Kim, D.W., Kishinami, T. Kang, Y.J. ve Saito, K., Feature Based Modeling of a Welded Plate Construction, *J. of Mat. Proc. Technology*, 44 (1994) 3-4, 257-264.
 25. Stokes, V.K., Feature-based Methodology for Mechanical Design with long-fiber Filled Injection-molded Thermoplastic Composites, *Proc. of the 52nd Annual Technical Conference ANTEC 94*, Part 3, pp.3171-3175, San Francisco, CA, USA, Soc. of Plastics Eng., Brookfield, CT, USA, 1994.
 26. Bottoni, P., Cugini, U., Mussio, P., Papetti, C. ve Protti, M., System for Form-feature-based Interpretation of Technical Drawings, *Machine Vision and Applications*, 8 (1995) 5, 326-335.
 27. Suharitdamrong, V. ve Motavalli, S., Feature-Based Model Generation for Reverse Engineering, *Industrial Engineering Research-Conference Proc.*, pp.183-189, IIE, Norcross, GA, USA, 24-25 May 1995.
 28. McHugh, J.A., *Algorithmic Graph Theory*, Prentice-Hall Int., Inc., Int. edition, 1990.
 29. Sinanoğlu, C., *Bilgisayar Destekli Montaj*, Yüksek Lisans Tezi, E.Ü. Makina Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Ağustos 1996.