

GERÇEKLEŞTİRİLEBİLİR TOLERANSLARIN GENETİK ALGORİTMA METODU İLE BELİRLENMESİ

Ayşegül GÜLTEKİN TOROSLU^{1*}, Hüseyin Rıza BÖRKLÜ²

¹M.E.B. Yaygın Eğitim Enstitüsü Emniyet Mah. Boğaziçi Sok. Teknikokullar Ankara

²G.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, Teknikokullar Ankara

Özet

Bu çalışmanın amacı, minimum maliyette elde edilebilecek tolerans atama işlemini gerçekleştirebilmek için, parça katı modellerine ait STEP ve WRL veri dosyaları ile işlenecek unsurları tanıma, gerekli optimizasyonları yaparak işlem planlaması için gerekli parametreleri hesaplamak ve kesme parametrelerinin seçimi ve optimizasyonunu yaparak üretim maliyetlerini hesaplamaktır. Tolerans maliyetine ve montaj özelliklerine dayalı nicel tolerans özelliklerinin tahmini için genetik algoritma metodu kullanılmıştır. Yapılan tüm işlemler bilgisayar destekli olarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada montaj toleransına bağlı kalmak kaydıyla, parçaların minimum maliyette mümkün olabilecek tolerans değerlerinin tahmini için bir işlem anlatılmaktadır. Bu çalışma ile, BDT model tolerans verilerini otomatik değerlendirecek bir yöntem ve imalat esnasında kullanılacak optimum toleransları GA ile tahmine dayalı bir yaklaşım geliştirme amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Unsur tanıma, tolerans, tolerans analizi

DETERMINATION OF ACHIEVABLE TOLERANCES USING GENETIC ALGORITHM METHOD

Abstract

The aim of this study is to determine the minimum cost tolerance assignments in order to determine the optimum manufacturing cost by choosing the optimum cutting parameters and by calculating the optimum process planning parameters using the features of CAD model of STEP and WRL data files generated for the pieces which are going to be used in the manufacturing. Genetic Algorithm approach has been used in order to estimate the tolerances of the components during the manufacturing phase. All these calculations and computations have been done using CAD model. In this study, a new procedure is introduced that describes how tolerances are estimated satisfying the manufacturing tolerance constraints that minimizes the total cost. With this study, a new approach has been developed that automatically evaluates CAD tolerance data and uses optimum tolerance values determined by GA for the production.

Key Words: Feature recognition, tolerance, tolerance analysis

* E-posta: atoroslu@meb.gov.tr

1. Giriş

Bir ürün tasarımı; yük ve gerilme hesapları ile malzeme seçimi dışında birçok işlemi kapsar. Ayrıntılı tasarım aşamasında ise, imalat ve montajı için gerekli tüm bilgileri içeren yapım resimleri hazırlanır. Bu resimlerde yer alan parça biçim ve ölçüleri, imalat öncesi kontrol edilmelidir. Yani yapım resimleri; parçaların biçim ve boyutlarını, uygulanacak ısıl veya özel işlemleri eksiksiz ifade etmeli, sade ve net olmalıdır. Bu resimler, imalat aşamasında ek bir bilgi veya açıklamaya gerek duyulmadan imalata işlemini mümkün kılmalıdır.

Ölçü ve toleranslar gibi detay resim bilgileri imalat açısından oldukça önemlidir. Pratik tecrübelerle göre nominal ölçülerde parça imali olası değildir. Üretim sürecinde bir fiziki sınırlama değişimi (işleme şartları, donanım ve yazılım hassasiyeti, operatör becerileri gibi), malzeme özellik ve montaj işlemleri de, imalat hassasiyetini etkilemektedir.

Tolerans sınırlarına gerçek değerler atanması, bir ürün veya montajın kalitesi ve toplam maliyeti üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Yani toleranslar çok sıkı ise, parça maliyetleri artacaktır. Toleranslar boşluklu ise, monte edilen sistem fonksiyonları gerçekleşmeyebilir veya yeniden işleme gerektirebilir.

Üretim maliyet faktörlerine ilaveten toleranslar, genelde montaj / alt montaj fonksiyon özellikleri karşılama da önemlidir. Birlikte çalışan parçaların alıştıırılma ve düzenli çalışması için, bu parçalar tolerans sınırları içinde üretilmelidir. Ayrıca tolerans değerleri, işlem planlama, montaj işlemleri, kalite kontrolü ile diğer tasarım ve üretim etkinlikleri için de gereklidir.

Tasarım aşamasında belirli bir aralık veya hata payı ile parça boyut değişim miktarına, tolerans denilmektedir. Genelde boyut toleransları, parçalardaki daha hassas veya fonksiyonel kısım ya da unsurlar üzerinde olmaktadır. Bir parçaya ait bu tür boyutsal tolerans ölçüleri, imalat aşamasında gerçekleştirilemez ise, parça fonksiyonunu yapamaz. Böylece bu tür bir üretim kabul edilemez.

Üretim maliyet faktörlerine ilaveten toleranslar, montaj fonksiyonel özellikleri karşılama da belirleyicidir. Birlikte çalışan parçaların ortak unsurlarını alıştıırma ve düzenli çalışmaları için, parçalar tolerans sınırları içinde üretilmelidir. Farklı yerlerde üretilebilen ve sonra montaj için bir araya getirilen parçalardan oluşan parti üretim ve değiştirilebilir parça üretimleri için tolerans verilir. Bugünkü teknolojik şartlarda montajı oluşturan parçaların çoğu hangi elemanla çalışacağı dikkate alınmaksızın partiler halinde ve seri üretilmektedir.

Ancak birlikte çalışacak parçalarda, maliyeti azaltmak ve yedek parça montajını kolaylaştırmak için, bu parçaların boyut toleransları (ölçü) ile şekil ve konum toleransları (geometrik) da uygun tarzda belirlenmelidir. Böylece montajda yer alan her parça makul tolerans veya ölçü / hata sınırları içinde üretilebilir. Bu anlamda imalat için tolerans analizi oldukça önemlidir. Tolerans bilgileri, parçaya ait işlem planlama, montaj işlemleri, kalite kontrolü gibi tasarım ve üretim etkinlikleri için gereklidir. Elle yapılan tolerans analizi, sıkıcı bir işlemdir ve bazı hatalar olabilir. Bu tür olumsuzlukları önlemek ve optimum tolerans değerleri belirlemek için, iyi bir tolerans yazılımı çok faydalıdır. Bu durum, özellikle karmaşık ve hassas yüzeyleri fazla olan parçalar veya bunlardan oluşan sistemlerde daha barizdir [1].

Bilgisayar destekli tasarım ve imalatın gelişmesine paralel 1960'lı yıllardan itibaren "tolerans" konusu da önemli bir kavram / araştırma alanı olmuştur. Teknolojideki hızlı değişim ve gelişme, tasarım ve üretim arası birleşme / bütünleşme çabalarını yoğunlaştırmış ve yeni birçok yaklaşım ortaya çıkmıştır. Örneğin; Esnek Üretim Sistemleri, Üretim İçin Tasarım, Eş Zamanlı Mühendislik ve Yeniden Tasarım Mühendisliği gibi tasarım / imalat bütünleşmesine hitap eden yaklaşım ve araştırma alanları doğmuştur. Tasarım ve üretimde bilgisayar desteğinin etkili bir biçimde kullanılması, bu kavramların tümleşik halde değerlendirilmesine katkı sağlamıştır [1]. Değişen ve gelişen ihtiyaçlara bağlı olarak artık üretim de farklı boyutlar kazanmıştır. Günümüz üretim sektöründe oluşan üç farklı eğilim: üretim ve parça özelliklerinde çeşitlilik ile yüksek hassasiyet şeklinde belirtilebilir. Bu eğilim ve ihtiyaçların karşılanması daha hassas ve esnek bir işlem planlaması ile mümkündür. Ayrıca bu tür özellikleri karşılayacak en önemli tasarım faktörünün "tolerans" olduğu söylenebilir [2].

Bu çalışmada, üretim maliyeti hesabı ve optimum tolerans atamada kullanılacak bilgisayar destekli yeni ve etkin yöntemler geliştirmek amaçlanmıştır. Bu kapsamda; parça katı modellerine ait "STEP" ve "WRL" uzantılı veri dosyaları kullanılarak işlenecek unsurlar tanınmış, işlem planlaması için gerekli parametrelerin optimum değerleri hesaplanmış ve minimum maliyetli tolerans atamaları gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmanın amacı;

- BDT ortamında modellenen parça verilerini okumak,
- Parça yüzey ve yüzey özelliklerini saptamak / unsurları belirlemek,

- Bu unsurlara kesici ve malzeme atamak / uygun kesici takım seçmek,
- Seçilen malzeme / kesici takım ile yapılacak talaş kaldırma işlem parametrelerini optimize etmek (uygun kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliği belirlemek),
- Unsur işleme zamanı belirleme; frezeleme, taşlama ve polisaj operasyon maliyet hesapları yapmak ve
- İşleme maliyetlerine göre tolerans analizi yapma ve minimum maliyetli tolerans atama işlemini genetik algoritma kullanımı ile gerçekleştirmektir.

Bu araştırmada, montajı yapılacak parçaların olası tüm tolerans-maliyet ve işleme türlerini dikkate alınarak en ucuz maliyetli montaj toleranslı işleme biçimi belirleme incelenmektedir. Bu amaçla yeni ve etkin bir yöntem olan Genetik Algoritma (GA) kullanılmıştır. Tolerans-Maliyet-İşleme Türü ve Parça Sayısı varyasyonları ile oluşacak çözüm uzayı çok büyük olabilir. GA, bu uzayın uygun alt kümelerini inceleyerek en iyi veya buna yakın bir çözümü hızlı bir şekilde belirleme sağlar.

Ayrıca maliyet hesabında gerekli talaş kaldırma parametre seçim ve optimizasyonu da bilgisayar destekli yapılabilmektedir. Tolerans maliyet ve montaj şartlarına göre sayısal tolerans özellikleri tahmini amacıyla bir genetik algoritma modeli kullanılmıştır. Bu yöntem, montaj toleransına göre parçaların minimum maliyette olası toleranslarını belirlemede oldukça etkilidir.

2. Kaynak araştırması

Chase ve Greenwood, genel ve ileri düzeyli bir tolerans analiz modeli tanımlamışlardır [3]. Chase ve Parkenson, tolerans analizinde kullanılan metotların geniş değerlendirmesini kapsayan ayrıntılı bir kaynak araştırması yapmışlardır [4]. Gao ve arkadaşları, kinematik montaj sınırlandırma ve vektör döngü esaslı yeni bir tolerans analiz metodu tanıtmaktadır [5]. Aynı araştırmacılar bir başka çalışmada, kinematik özellikli küçük mekanik montajların genel 3 boyutlu (3-D) tolerans analizi için doğrudan linerizasyon metodu kullanmışlardır [6]. Aynı gruba ait ve ADCATS tarafından desteklenen bir başka çalışma, mekanik montajların tolerans analizinde geometrik unsur varyasyonlarını içermektedir. “ANSI Y14.5 M-1982 ve ANSI Y14.5.1M-1982” [7-8], tolerans standartlarına dayalı çalışma DLM metodunu kapsamlı olarak ele almaktadır [9]. Cvetko, yüksek lisans çalışmasında mevcut metotların karşılaştırılmasını yapmıştır [10]. Mark, geometrik değişimleri tahmin ve kontrol etmek için bilgisayar destekli bir tasarım metodolojisi sunmaktadırlar [11]. Shan v.d., tolerans belirlemede tasarımcılara destek sağlayacak sentez amaçlı ve üç boyutlu istatistiksel bir yaklaşım sunmaktadırlar [12]. Zhou v.d., istatistiksel tolerans analiz ve sentez işleminde tolerans dizilerini belirlemek için Monte Carlo Simülasyon tekniğini temel alarak “rasgele-düzenlenmiş sayılar” metodunu kullanmışlardır [13]. Laperriere ve ElMaraghy, mekanik montaj toleransları belirlemede tasarımcılara yardımcı olacak matematiksel bir araç sunmuştur [14]. Gerth ve Hancock, uygun tolerans belirleme metodu olarak dengeli bir tolerans verme işlemi ortaya koymuştur [15]. S. Konakalla ve P. Gavankar, tolerans diyagramı projesini tam otomatik hale getirmek için bir şema geliştirmiştir [16]. L. P. Wickens, parça ve montajlar için teknik resim standartlarına bağlı ölçü, ölçü toleransları, geometrik toleranslar ve yüzey işleme işaretlerinin bilgisayar destekli temsilini incelemiştir [17]. J.I. Ping v.d., işleme boyut anma değerlerini otomatik hesaplayabilen bilgisayar destekli bir ölçülendirme sistemi geliştirmişlerdir [18]. J. Ping, bilgisayar destekli tolerans diyagramı oluşturmada otomatik tolerans atama problemlerini incelemiştir [19]. P. Ji ve K.H. Lau, üretim için tasarım ve eş zamanlı mühendislik ölçülendirme problemlerini tartışmışlardır [20]. H.C. Zhang v.d., işlem planlamada tolerans kontrolü için takım ayar planlama önemini tartışmışlardır [21]. S.H. Huang v.d., takım ayar planlama problemlerini sistematik çözmek için graf teori tabanlı bir yaklaşım geliştirmiştir [22]. Benzer ve tolerans analiz alanında Ngoi, yoğun araştırmalar yapmıştır [24-38]. K. Çavdar, işleme tolerans analiz sürecini kapsamlı ele almıştır [39]. M. S. Tarek v.d., bilgisayar destekli tasarım ve üretime dayalı endüstriyel kontrol alanındaki tolerans temsil ve analiz problemini incelemiştir [40]. L. Rivest v.d., 3 boyutlu tolerans analizinde toplu toleransları belirlemek için kinematik zincir şeklinde bir yaklaşım geliştirmiştir [41].

Tolerans problemlerinin çözümünde öncelikle istatistiksel ve en kötü-durum tolerans belirleme yöntemlerinden biri seçilmelidir. Bu yöntemlerin bazı avantaj ve dezavantajları vardır. En kötü-durum tolerans belirleme yönteminde, tüm toleranslar en kötü tolerans olarak kabul edilir. İstatistiksel tolerans yönteminde ise toleranslar, istatistiksel tolerans şeklinde belirlenir. Gerçekte ise, bazı girdiler en kötü - durum toleransları ile ve bazı girdiler ise istatistiksel toleranslarla daha iyi tanımlanabilir. Ancak bazı başka girdilerin bu tolerans çeşitleri ile yeterli temsili mümkün olmayabilir. W.A. Taylor, bu ikilemi çözmek için “İşlem Toleranslandırma” adlı yeni bir yöntem önermektedir. Burada yukarıda tanıtılan iki yöntemin avantaj ve dezavantajlarını kullanarak, mevcut sistemlerdeki bazı problemleri çözmeye bu yaklaşımları bütünleştiren / birleştiren bir yöntem sunmaktadır. Bir pompa tasarımının temel özelliklerini dikkate alarak bir örnek üzerinde sunulan yöntemin geçerliliğini vurgulamaktadır [42]. O.W. Solomons v.d., tolerans belirleme sonrası montajda en kötü durum kalitesini değerlendirmede tasarımcılara yardımcı olacak bir “tolerans analizi aracı” geliştirmiştir [43].

Geleneksel tolerans analizinde parçaların rijit olduğu kabul edilir ve montajda oluşan deformasyon veya gerilmeler dikkate alınmaz. Esnek parça montajında rijit parça tolerans analizi değişim tahminini güçleştirir. Çünkü esnek parçalar, montaj yükleri altında deforme olarak üretim değişim telafisi gerektirir. Tolerans analizi yaklaşımlarında bu problem de düşünülmelidir. N. Cho v.d., silindirik parça eksantrik kaçıklıklarının montajı zorlaştığı tespiti ile “Fourier Seri Dağılımı” kullanan bir yaklaşım sunmaktadır [44]. C.D. Carr, montaj değişiminde tolerans şart ve üretim sınırlama ilişkilerini incelemiştir [45].

Bir montajdaki tolerans yığılma tahmini, her boyut değişiminde kritik montaj unsur duyarlılık hesabı gerektirir. Bir mekanizmadaki yığılma analizi, konum geometri değişmesinden dolayı çok konumlu bir yöntem gerektirir. P. J. Fearber, geleneksel kinematik analiz yöntemleri ve bir kinematik modeli kullanan, kapalı duyarlılık hesabı sağlayan, tolerans ve hız analizi arası bir benzeşim tanımlanmıştır [46]. H. Chang ve T. W. Lin, dairesel tolerans ölçüm hassasiyetini belirlemek için minimum veri küme heuristik sonuçları ile bir Monte Carlo modeli ve simülasyonu sunmaktadır [47].

U. Roy ve Y. Xu, geometrik veri tolerans analiz algoritmaları geliştirilmeye çalışmışlardır [48]. Burada bir koordinat dizisinden eş merkezli daire çiftleri oluşturmada 2B dışbükey kabuk ve Varonoi diyagramları kullanılmıştır. Bu daireler, muayene edilecek yüzeyi simüle etmek ve biçim tolerans analizlerinde gerekli bölgeyi belirleyen bir silindir çifti bulmada kullanılmıştır [49]. G.A. Britton v.d., “Bilgisayar Destekli Tolerans Diyagramı Oluşturmanın Endüstriyel Uygulaması” (CATCH) adlı tekniği Singapur’daki bir şirket işlem planlamasında kullanmaktadır [50]. Iannuzzi, endüstriyel mekanik montaj tolerans tahminlerinde kullanılmak için bir model geliştirmiştir [51]. Al-Alsary ve Deiab, maliyet-tolerans ilişkisine dayalı optimal tolerans değerleri bulmayı incelemiştir [52]. Ji v.d., benzer amaçlı bir çalışma yapmıştır [53].

Literatürdeki bu çalışmalar, tolerans analizi, sentezi ve tahminine dayalı çalışmalar içermekle beraber parçaları analiz ederek işlenecek unsurlarını belirleyen, unsurlara göre işlem planlaması ve maliyet analizi yapan ve maliyete göre tolerans optimizasyonu yaparak toleransların atamasını yapan (tahmin eden) bir çalışma yoktur.

3. Geliştirilen program

Geliştirilen yazılım, malzeme atama, unsur tanımı, kesici seçme ve kesme parametre optimizasyonu, tolerans atama ve genetik algoritma modüllerini içermektedir. Burada optimum tolerans belirleme, bir dizi işlemler sonrası yapılmaktadır. Bu yazılımın genel akış şeması, Şekil 1’de görülmektedir.

Tolerans atama işlemine, parçaya malzeme seçimi ile başlanır. “Malzeme Atama Modülü” ile parçaya malzeme ve kaba boyut atanması, bu malzemeye uygun uç seçilmesi (uç veri tabanından) ve kesme hızı ile ilerleme aralıklarının belirlenmesi işlemleri yapılır. Bir sonraki basamakta, BDT ortamında modellenmiş .STEP ve .WRL uzantılı parça dosyalarından unsur tanıma işlemi yapılır. Bu amaçla kullanılmak için “Unsur Tanıma Modülü” geliştirilmiştir.

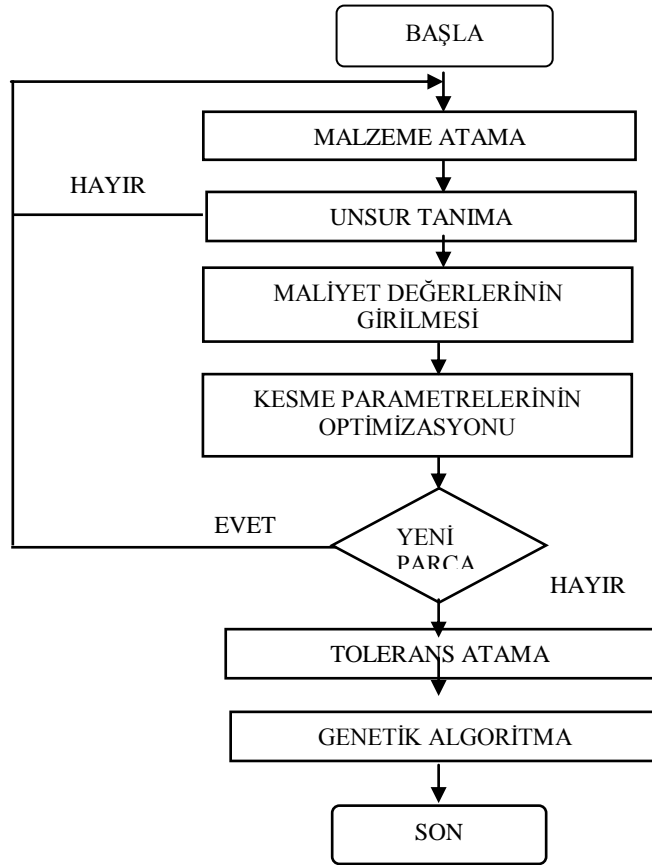
Kesme parametre optimizasyon ve tolerans atama işlemlerinde kullanılmak ve maliyet hesabında gerekli değerlerin kullanıcı tarafından girilmesi için de bir mekanizma geliştirilmiştir. “Kesici Seçme ve Kesme Parametre Optimizasyon Modülü” ise, belirlenen unsurlara uygun kesici atama ve uç seçimi sonrası daha önce atanan kesme hızı, ilerleme aralık ve kesme derinlik parametreleri ile minimum maliyet ve maksimum üretime göre optimizasyon sağlar. Her unsura ait işleme zamanı hesaplanarak frezeleme, taşlama ve polisaj operasyonları için maliyet belirlenir. Montaj ve unsur toleransı atama işlemi “Tolerans Atama Modülü” tarafından ve montaj tolerans ve işleme maliyetlerine göre sistemde yer alan parçalar analiz edilir. Minimum maliyetli tolerans atama işlemi ise “Genetik Algoritma Modülü” ile gerçekleştirilir.

Program tarafından tanımlanabilen unsurlar “Dik Yüzey, Eğik Yüzey, Düz Kanal, V kanal, T Kanal, Kırılmaç Kanal, Düz Kanallı V Kanal ve Merdiven” unsurlarıdır. Bu araştırma kapsamında geliştirilen yazılımla optimum tolerans belirleme işlemi, parçanın yukarıdaki unsurlardan oluşması ön koşulu ile mümkündür.

3.1. Malzeme atama modülü

Modellenen ve işleme tabi tutulacak parçaya bir malzeme belirlenmelidir ve böylece maliyet modülü işlevini yapabilir. Malzeme seçim işlemi “Malzeme Atama” modülü kullanılarak ve veri tabanından uygun bir malzeme belirleme ile yapılır. Parça işlenmesi için gerekli kaba kütük boyutları “Malzeme Boyutları” seçeneği ile belirlenir. Buradaki “Kaba Boyut Atama” seçeneği ile parça X, Y, Z boyutları sisteme girilebilir. Böylece parça işlemede gerekli talaş miktarı hesaplanır. Eğer malzeme döküm gibi ön işlem görmüş bir malzeme ise “İşleme

Payı Verme” bölümü ile parça yüzeylerine talaş payı verilebilir. Atanan malzeme değerleri program unsur tanım penceresine yazdırılır.



Şekil 1. Geliştirilen yazılımın genel akış şeması

3.2. Unsur tanıma modülü

BDT ortamında modellenen parça verilerini okumak, yüzey ve yüzey özelliklerini belirlemek için bir unsur tanıma modülü geliştirilmiştir. Parça verileri, STEP veri yapısı ve .WRL uzantılı dosya kullanımı ile işleme tabi tutulabilmektedir.

Modellenen parçaya ait STEP uzantılı dosyalar, unsur tanıma modülü tarafından yorumlanır. Bu parçanın bütün köşe noktaları STEP formatlı koddan belirlenir. Bu noktalar kullanılarak parça yüzey özellikleri elde edilebilmektedir. Yüzeylerin konumları ise WRL uzantılı dosyasından saptanır.

3.3. Maliyet atama modülü

Kesme parametre optimizasyon ve tolerans maliyet hesapları yapabilmek için işçilik, tezgah, enerji ve kesici gibi maliyeti değerleri kullanıcı tarafından girilmelidir. Böylece güncel veriler sisteme girilebilmekte ve gerçek maliyet hesaplanabilmektedir.

Bu mönülerdeki maliyet ve sisteme girilen her parça unsurları hesaba katılarak toplam parça maliyeti belirlenir. Bu maliyetler, genetik algoritma modülü ile atanan toleransa göre işleme türü değiştirilerek yeniden hesaplanabilmektedir.

3.4. Kesici seçim ve kesme parametre optimizasyon modülü

İşleme maliyetini doğrudan etkileyen kesme parametrelerini belirlemek için de bir optimizasyon modülü geliştirilmiştir. Burada; kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği, takım zamanı ve tezgah gücüne göre optimizasyon yapılmaktadır. Bu işlemde ilerleme ve tezgah güç değerleri artarken, talaş derinliği programa girilen değere bağlı artar. Takım zamanı da azalmaktadır. Minimum maliyette, maksimum takım zamanına karşılık gelen kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği değerleri alınır. Maksimum üretimde ise, kesme hızı ilerleme ve talaş derinliğini

maksimum eden takım zamanı alınır. Bu zamanlar kesici maliyeti hesabında kullanılır. Kesme parametre optimizasyon ara değerlerini ekranda göstermek için optimizasyon veriler modülü geliştirilmiştir. Bu modül yardımıyla sisteme girilen her parça ait tüm unsurlarının kesme parametre optimizasyon ara değerleri görülebilir.

3.4.1.Optimizasyonda kullanılan amaç fonksiyonu

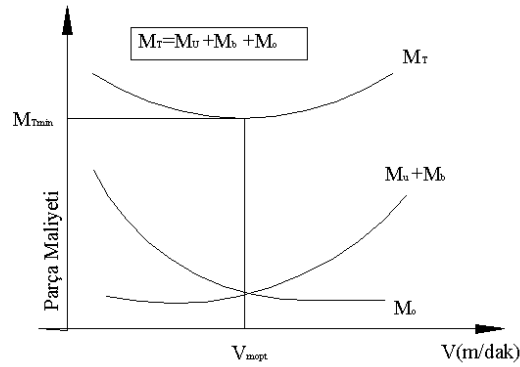
İşleme hesabı birçok yöntemle yapılır. Bunlardan en yaygın kullanılan maliyet hesap eşitliği aşağıda verilmiştir.

$$M_T = M_u + M_b + M_o \quad (1)$$

Bu eşitlikte M_T toplam maliyet, M_u takım, M_b kalıp ve M_o işçilik, tezgah maliyeti ve işçilik giderlerini kapsayan operasyon maliyetidir. Bu değerlerden M_b ve M_o kesme hızına bağlı olarak değişir. Kesme hızının büyümesi ile M_b azalır ve aşınmaya bağlı M_o büyür. Bu ilişkiler, Şekil 2’de verilen maliyet-kesme hızı eğrisinde görülmektedir. Şekil 2’de verilen eğrilerin toplamı maliyet-kesme hızı bağıntısını verir. Maliyetin minimum değerine karşılık gelen hız maliyet bakımından optimum kesme hızıdır (V_{opt}).

$$F(v, f, d, n_p) = T_a n_p + \frac{\pi LHB}{910z} v^{-1} f^{-1} d^{-1} n_p + \quad (2)$$

$$T_a \frac{\pi LHB}{910z \left(\frac{1000}{\pi DN_{max}} \right)} \left(0.91D \right)^2 f^{k-1} v^{p-1} d^{m-1} n_p^{-1}$$



Şekil 2. Optimum kesme hızı [54]

Bu fonksiyona göre birim üretim maliyet ve zaman modeli aşağıdaki gibi olur:

$$C = \frac{M_b + M_o + T_h}{N_s} + M_o T_o + n_p M_o T_a + M_o T_m + (M_o T_o + M_o) \frac{T_m}{T} \quad (3)$$

$$T_t = \frac{T_h}{N_s} + T_b + T_2 + T_m + \frac{T_d T_m}{T} \quad (4)$$

Takım ömrü T , genişletilmiş Taylor bağıntısı kullanılarak ifade edilirse;

$$T = \frac{C_1}{v^k f^p d^m b^n} \quad (5)$$

Bu eşitlikte;

C_1 : İş parçası malzemesi, takım malzemesi, çakı çapı, kesici uç köşe sayısı ve kesme kenar açısı sabiti,

k : Kesme hızı üs değeri,

p : İlerleme üs değeri,

m : Talaş derinliği üs değeri,

n : Kesme genişliğinin üs değerini belirtmektedir.

Eşitlikler 3 ve 4 numaralı eşitliklerde sırasıyla yerine yazıldığında ($b=0.91D$) aşağıdaki amaç fonksiyonu bulunur.

Bu fonksiyondaki;

M_b : Kalıp maliyeti (TL),

M_o : Operasyon maliyeti (TL),

N_s : Kenar sayısını verir.

$$C(v, f, d, n_p) = \frac{M_b + M_o T_b}{N_s} + M_o T_b + n_p M_o T_b + M_o \frac{\pi LHB}{910z} v^{-1} f^{-1} d^{-1} n_p^{-1} \quad (6)$$

$$+ (M_o T_d + M_o) \frac{\pi LHB}{910z C_1} (0.91D)^n v^{k-1} f^{p-1} d^{m-1} n_p^{-1} \quad (7)$$

$$T(v, f, d, n_p) = \frac{T_h}{N_s} + T_b + n_p T_2 + \frac{\pi DLHB}{910z} v^{-1} f^{-1} d^{-1} n_p^{-1} + \frac{\pi LHB}{910z C_1} (0.91D)^n v^{k-1} f^{p-1} d^{m-1} n_p^{-1}$$

4.8 ve 4.9 numaralı eşitliklerdeki sabit değerler grubu, amaç fonksiyonlarını içine alacak şekilde düzenlendiğinde aşağıdaki eşitlikler bulunur.

$$C(v, f, d, n_p) = n_p M_o T_d + M_o \frac{\pi LHB}{910z} v^{-1} f^{-1} d^{-1} n_p^{-1} \quad (8)$$

$$+ (M_o T_d + M_o) \frac{\pi LHB}{910z C_1} (0.91D)^n v^{k-1} f^{p-1} d^{m-1} n_p^{-1} \quad \text{ve}$$

$$T(v, f, d, n_p) = n_p T_4 + \frac{\pi DLHB}{910z} v^{-1} f^{-1} d^{-1} n_p^{-1} + \frac{\pi LHB}{910z C_1} (0.91D)^n v^{k-1} f^{p-1} d^{m-1} n_p^{-1} \quad (9)$$

3.4.2. Minimum maliyete göre amaç fonksiyonu

Minimum maliyete göre optimizasyon modelinde kullanılan işleme zamanını, ayar zamanı ve takım maliyeti dikkate alınarak model yeniden yazılacak olursa, optimizasyon modeli aşağıdaki gibi ifade edebilir:

$$F(v, f, d, n_p) = T_a n_p + \frac{\pi LHB}{910z} v^{-1} f^{-1} d^{-1} n_p^{-1} + T_a \frac{\pi LHB}{910z \left(\frac{1000}{\pi D N_{\max}} \right)} (0.91D)^n v^{k-1} f^{p-1} d^{m-1} n_p^{-1} \quad (10)$$

Bu fonksiyon aşağıda verilen kısıtlamalar kontrol edilerek kullanılmış ve maksimum üretime göre optimizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

Koşulları

$$1 - \left(\frac{1000}{\pi D N_{\max}} \right) v \geq 0 \quad (11)$$

$$1 - \left(\frac{1000z}{\pi D F_{\max}} \right) f^{0.803} v \geq 0 \quad (12)$$

$$1 - \left(\frac{K_p z}{83.89 \pi P_{\text{all}}} \right) f^{0.803} d \geq 0 \quad (13)$$

$$1 - \left(\frac{715K_p z}{F_{all} \pi} \right) f^{0.803} d \geq 0 \quad (14)$$

$$\left(\frac{910C_1 z}{\pi LHN_m} \right) v^{1-k} f^{1-p} d^{1-m} n_p - 1 \geq 0 \quad (15)$$

$$1 - \left(\frac{1}{D_{all}} \right) d \geq 0 \quad (16)$$

$$n_p - 1 \geq 0 \quad (17)$$

$$\left(\frac{1}{H} \right) dn_p - 1 = 0 \quad (18)$$

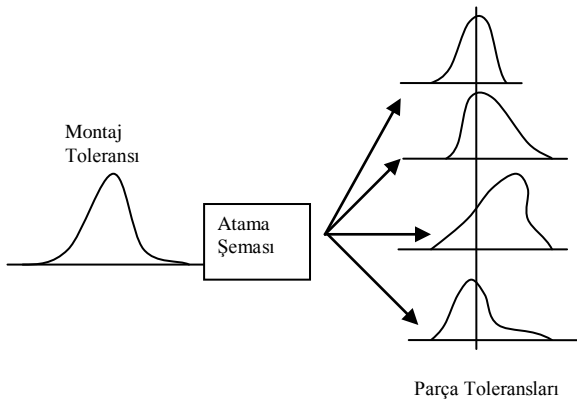
3.5. Tolerans atama modülü

Parçada yer alan her unsura ait işleme zamanları hesaplanarak frezeleme, taşlama ve polisaj operasyon maliyet hesapları yapılır. Bu modüde ilk olarak tolerans atama işlemi yapılacak unsurların geçme ve alıştırma türlerinin belirlenmelidir. Bu işlemin kullanıcı tarafından yapılabilmesi için “montaj analiz” bölümü geliştirilmiştir. Burada birleştirilecek parçaların geçme ve alıştırma çeşit ve montaj yönleri seçilir. Böylece unsurları tanımlanmış parçaların montaj toleransı ve yönleri belirlenmiş olur. İşleme türüne göre ISO tolerans değerleri (IT değerleri) kullanılmıştır. Tolerans değerlerinin işleme türüne göre sınıflandırılması ise, TSE 1845-1 standardına göre yapılmaktadır.

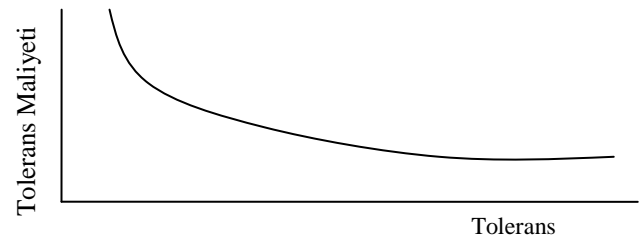
3.5.1. Tolerans atama

Mekanik sistemlerdeki kritik toleranslar, genelde montajı oluşturan parçaların tolerans toplamı veya yığılması sonucu olur. Montajı oluşturan parçalardaki değişimler, son boşluk değişimi, birleştirme uygunluğu, yağlama kanalları, son hareket gibi farklılık gösterir. Parçalardaki toleranslı unsurları işleme şekline bağlı montaj toleransı, genelde performans ihtiyaçlarına göre tanımlanır. Burada tasarımcıların karşılaştıkları en yaygın problem, tolerans atamadır. Bu, belirlenen toleransların montaj parçaları arası dağılımıdır. Tasarım işlemi şekil 4’te gösterilmiştir.

Montajı oluşturan parça toleransları, tüm parçalar arasında eşit dağıtılabilir. Her parça toleransı, işlem farklılığı veya parçanın karmaşık olmasından dolayı farklı maliyette olabilir. Her parça için bir maliyet-tolerans fonksiyon tanımlı, tolerans üretim maliyetini minimuma indirilebilir. Örnek ve genel bir maliyet-tolerans fonksiyonu, Şekil 2’de verilmiştir. Bu fonksiyon, tolerans artışına bağlı maliyetin azaldığını göstermektedir. Bu çalışmada minimum maliyette tolerans atama işlemi için maliyet-tolerans fonksiyonunu kullanılmıştır.



Şekil 3. Tasarım işlemi [55]



Şekil 4. Örnek bir tolerans-maliyet fonksiyonu [55]

3.5.2. Montaj bileşenlerine tolerans atama

Montaj bileşenlerine tolerans atanması için; montajdaki parça sayısı, her parça işleme tipleri, bu işlemlere uygun tolerans-maliyet değerleri ve montaj toleransı kullanılarak her parça montaj toleransını sağlayacak en az maliyetli tolerans değeri belirlenir.

Tolerans-maliyet ($t_{ij} - C_{ij}$) eğrisindeki tolerans değerine karşılık gelen maliyet (tolerans-maliyet eğrisindeki kesikli nokta) değerleri montaj maliyet fonksiyonunda toplanmıştır. Sisteme, montaj toleransı (Tol_{ASM}) ve bu toleransı gerçekleştirecek diğer parçaların (i endeksi) işleme tiplerine (j endeksi) göre tolerans değerleri (t_{ij}) ve maliyetleri (C_{ij}) girilir. Problemin cebirsel olarak ifadesi aşağıda verilmiştir:

Minimum amaç fonksiyonu (en düşük maliyet);

$$\text{Maliyet} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{m_i} b_{ij} C_{ij} \quad (19)$$

Montaj sınırlaması için (parçalar tolerans toplamı < montaj toleransı);

$$Tol_{ASM} \geq \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{m_i} b_{ij} t_{ij} \quad (20)$$

Parça başına bir işlem için ikili uygunluk fonksiyonu sağlama (her parçaya bir işlem türü seçilir);

$$\sum_{j=1}^{m_i} b_{ij} = 1 (i = 1, \dots, N) \quad (21)$$

eşitliklerinde;

C_{ij} : j işlemi ile toleransı belirlenmiş i parça üretim maliyetini

t_{ij} : j işlemi ile maliyeti belirlenmiş i parça toleransını

$$b_{ij} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases} (i=1, \dots, N), (j=1, \dots, m_i) \quad (22)$$

i : parçasının j işlemi ile işlenebilirliğini,

N: Parça sayısını,

m_i : i parçasının işlenebileceği farklı işlem tür sayısını verir.

Yukarıda montaj kısıtlamaları verilen model, en kötü durum veya lineer toplam için kullanılır.

GA ile problem çözümünde sisteme girdi olarak;

- Kitlenin büyüklüğü (farklı çözüm olasılığı verir)
- Çaprazlama olasılığı
- Değiştirme olasılığı
- Nesil sayısı (kaç nesilde işlemin tekrarlanacağını verir) girilir.

3.6. GA ile tolerans atama

Bu bölüm kapsamında makina parça veya sistemlerine en uygun ve minimum maliyetli toleransların atanması için bilgisayar destekli yeni bir metodun kullanımı tanıtılmaktadır. Geliştirilen yazılım, malzeme atama, unsur tanımlama, kesici seçimi ve kesme parametre optimizasyonu, tolerans atama ve genetik algoritma modüllerini içermektedir. Burada optimum tolerans belirleme, bir dizi ve birbirini izleyen işlemler sonrası gerçekleştirilir. Bu metod, montajı yapılacak parçalara ait tüm olası tolerans-maliyet ve işleme türlerine göre en ucuz maliyetle montaj toleransı sağlayacak işleme türü belirlemede GA kullanılmaktadır. Yani toleransların, işleme maliyet analizi ve minimum maliyetli atanması yapılmaktadır.

GA programı tarafından minimum maliyette tolerans atamada kullanılan kromozom sayısı, nesil (iterasyon) sayısı, çaprazlama olasılığı, değiştirme (mutasyon) olasılığı ve rasgele sayı parametreleri, tüm benzer programlarda bulunan bağımsız parametrelerdir. Genel olarak GA çalışma hız ve çözüm kalitesini etkilerler. Bu parametreler kullanıcı tarafından değiştirilebilir. Kromozom ve nesil sayı artışına bağlı çözüm daha hassas, ancak uzun sürede olur.

Tolerans-Maliyet-İşleme Tür ve Parça Sayısı varyasyonlarının oluşturduğu çözüm uzayı çok büyük olabilir. Yani GA, parça sayısı, her parça için farklı işleme tür ve maliyet değerlerini hesaba katarak olası alternatifleri çok

hızlı belirleyebilmekte ve bunlardan en iyi / en iyiye yakın çözümü seçebilmektedir. Örnek olarak 5 parçadan oluşan bir montajı düşünelim. Burada her montaj parçası için 4 tolerans ve buna karşılık gelen 4 maliyet değeri için gerekli işlem sayısı 16^5 olacaktır. GA bu verilerden rasgele seçtiği bazı veriler ile en iyi / en iyiye yakın çözümü bulabilmektedir.

GA'lar, Çizelge 1'de verilen formata uygun bir tarzda çalışır. Burada işlem sabit bir sayıda tekrarlanarak en iyi / buna çok yakın çözüme ulaşılmaya çalışılır.

GA yazılımı Goldberg'in şablon Pascal programının geliştirilmesi ile oluşturulmuştur. Veri tür ve işlemleri genelde standart olmakla birlikte probleme bağlı bazı değişiklikler yapılması gerekebilir.

Kromozomdaki her eleman bir parçanın çözümünü ifade eden "işlem tür" ve buna ait kesikli tolerans-maliyet eğrisinden (çizelgesinden) seçilen bir noktanın "**tolerans**" ve "**maliyet**" değerlerini içerir. Kromozom tüm parça çözümlerini içeren bir dizi şeklindedir. Ayrıca kitledeki (populasyon) her eleman için, o elemanın temsil ettiği çözüme ait "**maliyet**" ve "**uygunluk**" değerleri, çözüm oluşturmada çaprazlama işlemine katılan ön nesil ebeveyn kromozomları ile çaprazlama kromozom kesim nokta bilgileri saklanır. Tüm kromozomlar kitleyi oluşturur ve kitle elemanları dizi şeklinde düzenlenir. Her kromozom bir çözümü (tolerans atama) temsil eder. Her kromozom, bir işlem türü seçimi sonrası bu işleme tolerans-maliyet grafiğinden bir tolerans atama ve ilişkili bilgileri içerir. Aynı noktadan iki kromozom kesilir ve çapraz olarak parçalar birleştirilir. Daha sonra değiştirme işlemine geçilir. Değiştirme olmazsa birey çaprazlama sonrası gibi kalır. Değiştirme ile bazı birey özellikleri değişir. Bu oran %100 olursa bireyin bütün özellikleri değişir.

Her kromozom bir tolerans atamasını ifade eder. Her atanmış tolerans başlangıçta verilen montaj toleransını sağlamayabilir. Bunun için başlangıçta verilen toleransı sağlamayan tüm kromozomlar yok edilerek diğerlerine çözüm aranır veya bu kromozomlara çok düşük uygunluk değerleri atanarak seçimleri engellenmeye çalışılır.

Tolerans atama işleminde kromozom, başlangıçta verilen montaj toleransını sağlıyorsa kromozom uygunluğu tüm parçalar için seçilen işlem türleri ve bu tür için seçilen tolerans-maliyet çiftlerinden maliyet toplamı tersine (1/toplam maliyet) eşit kabul edilir. Burada küçük uygunluk değeri, kötü çözüm olduğunu (yüksek maliyetli) gösterir. Bu durum, kromozomda belirtilen toleranslar istenen toleransı sağlıyorsa geçerlidir. Amaç en düşük maliyet olduğu için, bu yaklaşım seçilmiştir. Kromozomda temsil edilen tolerans atama, istenilen montaj toleransını sağlamıyorsa bu kromozomlara daha küçük uygunluk değerleri atanır.

Kullanılan sistemde bir nesilden diğerine yeni kromozomlar aktarılır. Çaprazlama uygulanacak kromozom seçimi amaçlı bazı yöntemler vardır. Bunlardan rulet-teker yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde yüksek uygunluk değerli kromozomlara çaprazlama uygulanır ve iyi uygunluk değerine sahip yenileri oluşturulur.

Yeni nesil kromozom oluşturma işlemi standart olmakla birlikte değişik uygulamalar da bulunmaktadır. Kullanılan yöntemde her nesil içerisinde kromozomlar çaprazlama işlemi için seçilir ve çaprazlanır. Bu esnadaki değişim ile yeni nesil / yeni kromozomlar oluşur. Bu yeni kromozomların uygunluk değerleri, temsil ettikleri çözümlerin toplam maliyetlerini belirlemede kullanılır. Daha sonra eski nesildeki en iyi küçük bir miktar da, yeni nesildeki en kötü uygunluk değerine sahip kromozomlara aktarılır.

GA yazılımının ana döngüsü bir döngü içerisinde nesil işlemlerini yapan fonksiyonu çağırır. Ayrıca her nesil için kütüğe detaylı bilgileri yazar. En son nesil ise hem kütüğe hem de ekrana yazdırılır. GA'nın algoritma işlem formatı Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Genetik algoritma işlem formatı

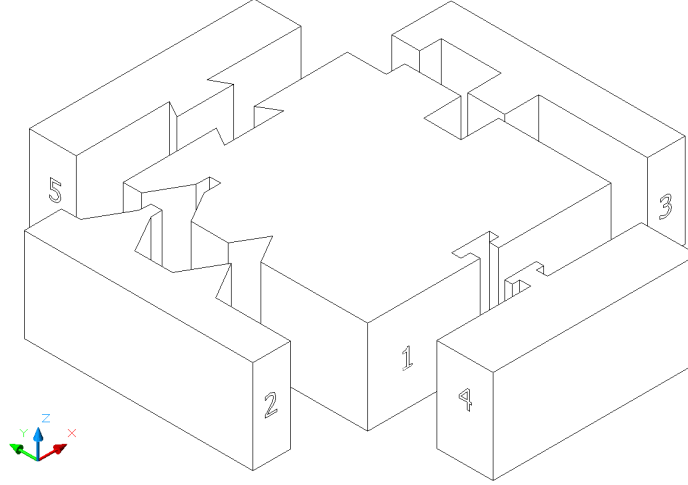
-Başlangıç kitesini gelişigüzel kromozomlarla yarat.
-Döngü başlangıcı;
- çaprazlama kromozomları seç ve yeni kromozomlar oluştur
- değişime (mutasyona) uğrayacak kromozomları seç ve değişimi uygula
- gelecek nesle yeni kromozomları taşı.
-Döngü durdurma koşuluna kadar döngüye devam et.
-Son döngü içinde en iyi çözümü " Tolerans Ataması " olarak yazdır.

3.6.1. GA'nın çalışması

GA, verilen montaj toleransını sağlayacak şekilde birleştirilecek parçalara en az maliyette atanacak tolerans değerini bulmak için geliştirilmiştir. Montajı oluşturan her parça için işleme tür ve bu işleme türleri ile elde edilebilecek tolerans-maliyet değerleri girdi olarak seçilir. Böylece en düşük maliyette tolerans sağlayacak montaj parça tolerans değerleri belirlenir. Tolerans değerleri GA tarafından seçilen işleme türüne bağlı bulunur ve bunlara karşılık seçilmiş olan işleme tür maliyet değeri de bulunmuş olur.

3.6. Örnek uygulama

Geliştirilen modelin çalışma prensiplerinin anlaşılması için Şekil 6’da verilen montaj kullanılmıştır. Parçalar X ve Y yönünde montaj edilmiştir. Parçalar X yönünde montaj edilirken 2-1-3 nolu parçaların, Y yönünde montaj edilirken 4-1-5 nolu parçaların BDT modelleri kullanılmıştır. 1 nolu parça, iki montaj yönünde de ortak olduğundan temel parça kabul edilmiştir. Tolerans atama modülünde işlem yapabilmek için, 1 nolu parça harici parçaların gerekli veri dosyaları, gerekli işlemler uygulanarak, oluşturulması gerekmektedir.



Şekil 6. Örnek uygulama

Örnek uygulamada GA'nın çalışmasını göstermek için üç ayrı tolerans atama yapılmıştır. Bu üç döngü sonucu en iyi çözüm, 200 kromozom sayısı ve 10 döngü sayısı olduğu durumda elde edilmiştir. Girdi dosyası ve atanan tolerans değerleri aşağıda verilmiştir.

Montaj Toleransı: H6/m5

Yazılım tarafından oluşturulan GA için "Girdi" dosyası:

PARÇA SAYISI	3	TOLERANS- MALİYET	TOLERANS- MALİYET	TOLERANS- MALİYET
TOPLAM TOLERANS	2.9000000000E-0002	8.70000000000000E-0002 9.07287258777029E+0001 1.40000000000000E-0001	2.50000000000000E-0003 1.58738182987770E+0003 4.00000000000000E-0003	2.39839367272727E+0001 8.70000000000000E-0002 9.07287258777029E+0001
HERPARÇA İÇİN İŞLEME TÜRÜ SAYISI	3 3 3 3	4.04372239014183E+0001 2.20000000000000E-0001 1.83824110671937E+0001 3.50000000000000E-0001	7.91050442187133E+0002 6.00000000000000E-0003 3.95975686495765E+0002 1.00000000000000E-0002	1.40000000000000E-0001 4.04372239014183E+0001 2.20000000000000E-0001 1.83824110671937E+0001
HER İŞLEM TÜRÜ İÇİN İŞLEME- MALİYET KESİKLİ NOKTASI	4 4 4 4 4 4 4 4 4 4	7.97727272727273E+0000 1.50000000000000E-0002 1.86768709877703E+0002 2.20000000000000E-0002 9.07438821871326E+0001 3.50000000000000E-0002 4.58224064957651E+0001 5.40000000000000E-0002 2.39839367272727E+0001 2.50000000000000E-0003 1.58738182987770E+0003 4.00000000000000E-0003 7.91050442187133E+0002 6.00000000000000E-0003 3.95975686495765E+0002 1.00000000000000E-0002 1.99060576727273E+0002	1.99060576727273E+0002 8.70000000000000E-0002 9.07287258777029E+0001 1.40000000000000E-0001 4.04372239014183E+0001 2.20000000000000E-0001 1.83824110671937E+0001 3.50000000000000E-0001 7.97727272727273E+0000 1.50000000000000E-0002 1.86768709877703E+0002 2.20000000000000E-0002 9.07438821871326E+0001 3.50000000000000E-0002 4.58224064957651E+0001 5.40000000000000E-0002 2.39839367272727E+0001 2.50000000000000E-0003 1.58738182987770E+0003 4.00000000000000E-0003 7.91050442187133E+0002 6.00000000000000E-0003 3.95975686495765E+0002 1.00000000000000E-0002 1.99060576727273E+0002	3.50000000000000E-0001 7.97727272727273E+0000 1.83824110671937E+0001 3.50000000000000E-0001 1.86768709877703E+0002 2.20000000000000E-0002 9.07438821871326E+0001 4.58224064957651E+0001 5.40000000000000E-0002 2.39839367272727E+0001 2.50000000000000E-0003 1.58738182987770E+0003 4.00000000000000E-0003 7.91050442187133E+0002 6.00000000000000E-0003 3.95975686495765E+0002 1.00000000000000E-0002 1.99060576727273E+0002

Atanan Parça Toleransları (en iyi çözüm):

	PARÇA ADI	PARÇA TOLERANSI	PARÇANIN MALİYETİ	İŞLEME TÜRÜ	TOPLAM MALİYET
Kromozom Sayısı: 200, İterasyon Sayısı:10, Çaprazlama Olasılığı: 0.6, Değiştirme Olasılığı: 0.01	<i>ornek2.uns</i>	<i>0.006</i>	<i>395.975686495765</i>	<i>Polisaj</i>	<i>978.720082869233</i>
Kromozom Sayısı: 200, İterasyon Sayısı:10, Çaprazlama Olasılığı: 0.6, Değiştirme Olasılığı: 0.01	<i>ornek1.uns</i>	<i>0.006</i>	<i>395.975686495765</i>	<i>Polisaj</i>	
Kromozom Sayısı: 200, İterasyon Sayısı:10, Çaprazlama Olasılığı: 0.6, Değiştirme Olasılığı: 0.01	<i>ornek3.uns</i>	<i>0.015</i>	<i>186.768709877703</i>	<i>Taşlama</i>	
Kromozom Sayısı: 100, İterasyon Sayısı:10, Çaprazlama Olasılığı: 0.6, Değiştirme Olasılığı: 0.01	<i>ornek2.uns</i>	<i>0.0025</i>	<i>1587.3818298777</i>	<i>Polisaj</i>	<i>2565.20098194254</i>
Kromozom Sayısı: 100, İterasyon Sayısı:10, Çaprazlama Olasılığı: 0.6, Değiştirme Olasılığı: 0.01	<i>ornek1.uns</i>	<i>0.004</i>	<i>791.050442187133</i>	<i>Polisaj</i>	
Kromozom Sayısı: 100, İterasyon Sayısı:10, Çaprazlama Olasılığı: 0.6, Değiştirme Olasılığı: 0.01	<i>ornek3.uns</i>	<i>0.015</i>	<i>186.768709877703</i>	<i>Taşlama</i>	
Kromozom Sayısı: 20, İterasyon Sayısı:20, Çaprazlama Olasılığı: 0.6, Değiştirme Olasılığı: 0.01	<i>ornek2.uns</i>	<i>0.0025</i>	<i>1587.3818298777</i>	<i>Polisaj</i>	<i>1973.21111648268</i>
Kromozom Sayısı: 20, İterasyon Sayısı:20, Çaprazlama Olasılığı: 0.6, Değiştirme Olasılığı: 0.01	<i>ornek1.uns</i>	<i>0.015</i>	<i>186.768709877703</i>	<i>Taşlama</i>	
Kromozom Sayısı: 20, İterasyon Sayısı:20, Çaprazlama Olasılığı: 0.6, Değiştirme Olasılığı: 0.01	<i>ornek3.uns</i>	<i>0.01</i>	<i>199.060576727273</i>	<i>Polisaj</i>	

4. Sonuç

Yapılan kaynak araştırması, parça analizi ile işlenecek unsurları belirleyen, gerekli işlem plan ve maliyet analizi ile optimum tolerans atama yapan bir sistem olmadığını göstermiştir. Bu çalışma, BDT model tolerans verilerini otomatik değerlendirecek bir yöntem ve imalat esnasında kullanılacak optimum toleransları GA ile tahmine dayalı bir yaklaşım geliştirmeyi amaçlamıştır. Çalışma prizmatik parçalarla sınırlandırılmıştır. Hazırlanan yazılım, unsur tanımlama, malzeme atama, kesici seçimi, kesme parametre optimizasyonu, tolerans atama ve genetik algoritma modüllerinden oluşmaktadır. Unsur tanımlama modülü, dik yüzey, eğik yüzey, düz kanal, V kanal, T kanal, kırlangıç kanal, düz kanallı V kanal ve merdiven unsurları tanımaktadır.

Hazırlanan yazılımda gerçekleştirilen işlemler;

- STEP ve WRL uzantılı BDT dosya verileri kullanarak unsur tanıma,
- Bu unsurlara uygun kesici takım ve uç seçimi,
- Modellenen parçalara malzeme atama ve uygun türde uç seçme,
- Bu uç tür ve malzemeye göre kesme hız, ilerleme miktar ve kesme derinlik değerleri kullanılarak minimum maliyet ve maksimum üretime göre kesme parametreleri optimizasyonu,
- Her unsura ait işleme süre belirleme sonrası frezeleme, taşlama ve polisaj operasyonları için maliyet hesabı,
- Montaj tolerans ve işleme maliyetine dayalı montaj parça analizi ve GA ile minimum maliyetli tolerans atama ve
- Parça sayısı, uygun işleme tür ve maliyet değerlerine göre olası alternatifler içinden en iyi / en iyiye yakın çözüm belirleme.

Yazılım, kullanıcı tarafından son derece kolay kullanılabilir tarzda hazırlanmıştır. Burada katı modelleri oluşturulmuş parça resimleri kullanılarak ve çok az girdiyle tolerans atama işlemi gerçekleştirilebilir. Bu yazılım, tasarımcılara, hatasız / en az hata ile ve en ucuz maliyetli tolerans atama işleminde destek sağlayacaktır.

Kaynaklar

- [1] Ibrahim Z., "CAD/CAM Theory and Practice," *McGraw-Hill, Inc.* USA, (1991).
- [2] Şeker U., "Bilgisayar Destekli Bağlama Kalıbı Tasarımı", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (1995).
- [3] Chase K.W., Greenwood W.H., "Design Issues in Mechanical Tolerance Analysis", *ASME*, 1(1): 50-59 (1988).
- [4] Chase K.W., Parkenson A. R. "A Survey In The Application Of Tolerance Analysis To The Design Of Mechanical Assembly", *ADCATS Report 91-1*, Brigham Young University (1991).
- [5] Gao J., Chase K.W., Magleby S.P., "A New Monte Carlo Simulation Method for Tolerance analysis of Kinematically Constrained", *ADCARS Report, 2*, Brigham Young University (1991).
- [6] Gao J., Chase K.W., Magleby S.P., "General 3-D Tolerance Analysis of Mechanical Assemblies with Small Kinematic Adjustments", *ADCARS Report, 94-2* (1994).
- [7] ASME Y14.5M, "Dimensioning and Tolerancing", The American Society of Mechanical Engineers (ASME) National Standard, USA (1994).
- [8] ASME Y14.5.1M, "Mathematical Definition of Dimensioning and Tolerancing Principles", The American Society of Mech Eng (ASME) National Standard, USA (1994).
- [9] Gao J., Chase K.W., Magleby S.P., Sorensen C.D., "Including Geometric Feature Variations in Tolerance Analysis of Mechanical Assemblies", *ADCARS Report, 94-3* (1994).
- [10] Cvetko R., "Characterization of Assembly Variation Analysis Methods", MS Thesis, *Brigham ung Universty* (1997).
- [11] Mark I., "Variation Simulation For Tolerance Analysis And Synthesis", *Proc Of the 1998 ASQ's 52'nd Annual Quality Congress*, 501-502, Philadelphia, USA (1988).
- [12] Shan A., Roth RN., Wilson RJ., "New Approach To Statistical Geometrical Tolerance Analysis", *Int. J. of Adv. Man. Technology*, 15(3): 222-230 (1999).
- [13] Zhou Z., Huang W., Zhang L., "Application of Number Theoretic Methods in Statistical Tolerance Analysis", *Jixie Gongcheng Xuebao Chinese J. of Mech Eng.* 36(3): 69-72 (2000).
- [14] Laperriere L., ElMaraghy H. A., "Tolerance Analysis and Synthesis Using Jacobian Transforms", *CIRP Annals Man. Technology*, 49(1): 359-362 (2000).
- [15] Gerth R. J., Hancock W. M., "Computer Aided Tolerance Analysis for Improved Process Control", *Pergamon – Computer & Ind Engineering*, 38, 1-19 (2000).
- [16] Konakalla S., Gavankar P., "Object-Oriented System For Tolerance Charting", *Journal of Intelligent Manufacturing*, 8(4) 239-250 (1997).
- [17] Wickens L. P., "A Syntax for Dimensioning and Tolerances", Doktora Tezi, *Universty of Leeds LS2 9JT* (1990).
- [18] Ping J.I., Mingyang K.E., Ahluwalia R.S., "Computer-Aided Dimensioning For Process Planning", *Int. J. of Mach. Tools Manufact.*, 35(10), 1353-1362 (1995).
- [19] Ping J., "Automatic Tolerance Assignment approach For Tolerance Charting", *Int. J. of Advanced Manufacturing Technology*, 9(6), 362-368 (1994).
- [20] Ji P., Lau K.H., "Design for Manufacturing: A Dimensioning Aspect", *Journal of Materials Processing Technology*, 91(1-3): 121-127 (1999).
- [21] Zhang H.C., Huang S.H., Mei J., "Operational Dimensioning And Tolerancing In Process Planning: Setup Planning", *Int. J. of Prod. R.*, 34(7):1841-1858 (1996).
- [22] Huang S.H., Zhang H.C., Oldham W.J.B., "Tolerance Analysis For Setup Planning: A Graph Theoretical Approach", *Int. J. of Prod. R.*, 35(4): 1107-1124 (1997).
- [23] Juster N. P., "A Graph Based Approach To tolerance Analysis", Doktra Tezi, *University of Leeds*, (1988).
- [24] Ngoi B.K.A., Seow M. S., "Tolerance Control for Dimensional and Geometrical Specifications", *Int. J. of Advanced Manufacturing*, 11(1) 34-42 (1996).
- [25] Ngoi B.K.A., Tan C. S., Goh L. C., "Graphical Approach To Assembly Tolerance Stack Analysis the 'Quickie' GDT Method", *Proc. of the Ins. of Mech. Eng. Part B: J. of Engineering Manufacture*, 211(B6) 463-466 (1997).
- [26] Ngoi B.K.A., Tan K. C. K., "Tolerance Stack Analysis For Assembly", *Proc. of the Ins. of Mech. Eng. Part B: J. of Eng. Manufacture*, 210(B3) 279-289 (1996).
- [27] Ngoi B.K.A., Ong C. T., "Optimum Assembly Using A Component Dimensioning Method", *Int. J. of Advanced Manufacturing Technology*, 11(3) 172-178 (1996).
- [28] Ngoi B.K.A., E. N. L. Lennie, H. K. Cheong, "Analysis in Tolerance Design For Assembly", *Int. J. of Com. Application in Technology*, 10(5-6) 263-270 (1998).
- [29] Ngoi B.K.A., Gob L. C., " 'Stepper' Approach to Tolerance Charting", *Proc. of the Ins of Mech. Eng. Part B: J. of Eng. Manufacture*, 211(B7) 539-546 (1997).

- [30] Ngoi B.K.A., Tan C. S., “Graphical Approach To Tolerance Charting – A ‘Maze Chart’ Method”, *Int. J. of Advanced Manufacturing*, 13(4) 282-289 (1997).
- [31] Ngoi B.K.A., Min O. J., “Concurrent Tolerance Charting For Component and Assembly Using ‘Modified Tree’ Ap”, *Int. J. of Ad. M.*, 13(10) 729-737 (1997).
- [32] Ngoi B.K.A., Cheong K. C., “Apparent Path Tracing Approach To Tolerance Charting”, *Int. J. of Ad. Manufacturing*, 14(8) 580-587 (1998).
- [33] Ngoi B.K.A., Agarwal M., Chua C.S., “Nonlinear Optimization in Tolerance Chart—A Study Of Objective Functions”, *Int. J. of Ad. M.*, 14(6) 423-427 (1998).
- [34] Ngoi B.K.A., Agarwal M., Chua C.S., “Noded Graph Approach To Stack Analysis”, *Int. J. of Ad. Man.*, 14(5) 343-349 (1998).
- [35] Ngoi B.K.A., Agarwal M., Chua C.S., “The Generic Capsule Approach To Tolerance Stack Analysis”, *Int. J. of Prod. Research*, 36(12) 3273-3293 (1998).
- [36] Ngoi B.K.A., Lim L. E. N., A.S. Ong, B. H. Lim, “Applying The Coordinate Tolerance System to Tolerance Stack Analysis”, *Int. J. of Ad. M.*, 15(6) 404-408 (1999).
- [37] Ngoi B.K.A., Lim L. E. N., P.S. Ang, A.S. Ong, “Assembly Tolerance Stack Analysis For Geometric Characteristics in From Control –The Catena Method”, *Int. J. of Ad. Man.*, 15(4) 292-298 (1999).
- [38] Ngoi B.K.A., Lim B. H., A.S. Ong, “Nexus Method For Evaluation Geometric Dimensioning and Tolerancing Problems With Position Callout”, *Proc. of the Ins. of Mech. Eng. Part B: J. of Engineering Manufacture*, 214(3) 253-241 (1999).
- [39] Çavdar K., "Bilgisayar Destekli Tolerans Analizi", Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü* (1993).
- [40] Tarek M. S., Hendersen T. C., Zana F., “ A Unifying Framework for Tolerance Analysis in Sensing, Design, And Manufacturing“, *University of Utah* (1994).
- [41] Rivest L., Fortin C., Morel C., “Tolerancing a Solid Model With A Kinematic Formulation”, *Computer Aided Design*, 26(6) 465-476 (1994).
- [42] Taylor W.A., “Process Tolerancing: A Solution to the Dilemma of Worst-Case Versus Statistical Tolerancing”, *Fall Tech. Con., Masatomo INUI*, (1995).
- [43] Solomons O. W., Haalboom F. J., Poerink H. J. J., van Slooten F., van Houten F. J. A. M., HKals. J. J., “A Computer Aided Tolerancing Tool II: Tolerance Analysis”, *Computers In Industry*, 31 175-186 (1996).
- [44] Cho N., Tu J., “Roundness Modeling Of Machined Parts For Tolerance Analysis”, *Computer Aided Design*, 35-47 (2001).
- [45] Carr C. D., “A Comprehensive Method for Specifying Tolerance Requirements for Assemblies”, MS Thesis, *Brigham Young University*, (1993).
- [46] Feaber P. J., “Tolerance Analysis of Assemblies Using Kinematic Delived Sensitivities”, MS Thesis, *Brigham Young University*, (1999).
- [47] Chang H., Lin T. W., “Evaluation Of Circularity Tolerance Using Monte Carlo Simulation For Coordinate Measuring Machine”, *Int. J. of Prod. Res.*, 31(9): 2079-2086 (1993).
- [48] Roy U., Xu Y., “Form and Orientation Analysis For Cylindrical Surfaces in Computer-Aided Inspection” , *Com. in Industry (Elsevier)*, 26 127-134, (1993).
- [49] Roy U., Zhang X., “Establishment Of A Pair Of Concentric Circles With The Minimum Radial Separation For Accessing Roundness Error”, *CAD*, 24(3): 161-168 (1992).
- [50] Britton G.A., Whybrew K., Tor S.B., “Industrial Implementation Of Computer Aided Tolerance Charting”, *Int. J. of Ad. Man. Tech.*, 12(2) 122-131 (1996).
- [51] Iannuzzi M. P., Sandgren E., “Tolerance Optimization Using Genetic Algorithms: Benchmarking with Manuel Analysis”, Part Five Tolernace System, Computer-Aided Tolernacing, Fumihiko Kimuna, *Chapman&Hall*, Tokyo, 219-234, (1995)
- [52] Al-Ansary M, D., Deiab I, M., “Concurrent Optimization of Design and Machining Tolerances Using Genetic algorithm Mtehod”, *Int. Journal Mach. Tools Manufact.*, 37(12): 1721-1731 (1997).
- [53] Ji S., Li X., Cai H., “Optimal Tolernace Allocation Based on Fuzzy Comprehensive Evaluation and Genetic Algorithm”, *Int. J. Advanced Manufacturing Technology*, 16 461-468 (2000).
- [54] Modern Metal Cutting, *AB Sandvik Coromant*, (1994).
- [55] Kenneth W. Chase, Dep. of Mech. Eng. Brigham Young University, Tolerance Allocation Methods For Designers, *ADCATS Report 99-6*, (1999).