KOCAELİ 2003
DEPREM SEMPOZYUMU

12-14 MART 2003

TAM METİN KİTABI

düzenleyen

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

yer

GRAND MARMARA HOTEL

yubam.kou.edu.tr

KASIM_2003

düzenleme kurulu

Özer KENAR (Başkan)
M.Fırat ÖZER
Selçuk TOKEL
Resmi YILDIZ
Savaş AYBERK
Kamuran ÖZTEKİN
Haluk KONAK
Aydın KAVAK
Nureddin KAYMAKÇI
Ercan ALDANMAZ
İbrahim SERTÇELİK
Ö. Feyzi GÜRER
Fadime SERTÇELİK
Talih GÜVEN
Serkan IRMAK
Berna TUNÇ
Ergin ULUTAŞ
Taciser ÇETİNOL
Süleyman TUNÇ
Deniz ÇAKA
Şenay ÇEVİK
Utkan MUTMAN
Erdinç KESKİN
Ercan SANGU

editörler

Özer KENAR
M.Fırat ÖZER
Selçuk TOKEL
Resmi YILDIZ
Savaş AYBERK
Kamuran ÖZTEKİN
Haluk KONAK
Aydın KAVAK
Nureddin KAYMAKÇI
Ercan ALDANMAZ
İbrahim SERTÇELİK
Ö. Feyzi GÜRER
Fadime SERTÇELİK
Talih GÜVEN
Serkan IRMAK
Berna TUNÇ
Ergin ULUTAŞ
Taciser ÇETİNOL
Süleyman TUNÇ
Deniz ÇAKA
Şenay ÇEVİK
Utkan MUTMAN
Erdinç KESKİN
Ercan SANGU

İÇİNDEKİLER

SİSMOTEKTONİK VE BÖLGESEL TEKTONİK

Sultandağı Bölgesinin P - Dalgası Hız Yapısının Yerel Deprem Tomografisi Yöntemi ile Belirlenmesi 1
Aysun Nilay DİNÇ, Abdullah KARAMAN, Serdar ÖZALAYBEY

Sakarya Havzasında Tektonik Kökenli Taban-Akımı Değişimlerinin İncelenmesi 8
Abdullah KARAMAN

Türkiye ve Çevresinde Oluşan Tarihsel ve Aletsel Dönem Depremlerin Çeşitli Kataloglardan Derlenerek ve Tekdüzeleştirilerek Yeni Bir Katalog Oluşturulması 14
Ergin ULUTAŞ, İ.Talih GÜVEN, T.Serkan IRMAK, Fadime SERTÇELİK, Berna TUNÇ, Taciser ÇETİNOL, Deniz ÇAKA, M.Fırat ÖZER, Özer KENAR

03.02.2002 Çay (Afyon) Depremi Sonrası Mühendislik Parametrelerine Yönelik Jeofizik Ölçümler 27
Ahmet T. BAŞOKUR, U. Emin ULUGERGERLİ, Emin CANDANSAYAR, Engin TOKGÖZ

Avcılar ve Yakın Çevresinde Derin Sediman Rezonansının Mikrotremörler ve Deprem Verileri ile İncelenmesi 37
Çağrı İMAMOĞLU, Aysun BOZTEPE GÜNEY

Türkiye'nin Milli Kuvvetli Yer Hareketi Kayıt Sisteminin Genişletilmesi ve Yoğun Mahalli Ağların Kurulması Projesi 45
Ulubey ÇEKEN, Tülay URAN, Zahide ÇOLAKOĞLU, Aytaç APAK, Turgay KURU,Polat GÜLKAN, John G. ANDERSON, Haluk SUCUOĞLU, Mehmet ÇELEBİ

03.02.2002 Çay (Afyon) Depreminin Mekanizması ve Bölgenin Sismik Riski 55
Ergun GÖKTEN, Gürol SEYİTOĞLU, Baki VAROL, Veysel IŞIK

Sabonet, 17 Ağustos 1999, İzmit Depremi ve 12 Kasım 1999, Düzce Depremi Artçıdeprem Çalışmaları : Günümüze Kadar Olan Etkinlik Durumu (Mart 2003) 62
Sami ZÜNBÜL, Salih KARAKISA, Claus MILKEREIT

Yatay Türev Analitik Sinyalleri ile Üç Boyutlu Manyetik Kaynakların Sınır Lokasyonlarının Saptanması 70
Bülent ORUÇ

DEFORMASYON VE SİMÜLASYON MODELLERİ

Jeodezik Altyapı'dan Yaralanarak Yerkabuğu Yüzeyindeki Deprem Hasarlarının Belirlenmesi 78
Rahmi Nurhan ÇELİK, Şebnem ALİOSMANOĞLU, M. Tevfik ÖZLÜDEMİR

Yubam (Yer ve Uzay Bilimleri Araştırma Merkezi) Sismik Ağı 86
Özer KENAR, M. Fırat ÖZER, Metin AŞÇI, Fadime SERTÇELİK, T. Serkan IRMAK, İ. Talih GÜVEN,Ergin ULUTAŞ, Berna TUNÇ, Süleyman TUNÇ, Taciser ÇETİNOL, Deniz ÇAKA

Ikonos Renkli Uydu Görüntüsünün Yüksek Yersel Çözümlenmesinin (1 Metre) Deprem Sonrası Çalışmalarda Kullanımı 90
Tunç ŞİRİNYILDIZ

Kütle Hareketlerinin Jeodezik Yöntemlerle Belirlenmesi 97
Temel BAYRAK, Mualla YALÇINKAYA

Deformasyonların Belirlenmesinde ve Modellenmesinde Kullanılan Yöntemler 107
Orhan AKYILMAZ, Tevfik AYAN

ZEMİN MEKANİĞİ VE GEOTEKNİK

Zeminlerin Elastik Parametrelerin Laboratuar Koşullarında Ultrasonik Dalgalar Yardımı ile Elde Edilmesi 115
Ömer Faruk ÇAPAR

Alüvyonal Zeminlerin Sismik Hızları ile Gözeneklilik Arasında Bir Yaklaşım 125
O. UYANIK, S. ALTUNCU, Ü. Y. KALYONCUOĞLU, N.A. UYANIK

Zemin İçindeki Süreksizliklerin Üç Boyutlu Sunumu 134

Alparslan TURANBOY, M.Kemal GÖKAY

Eurocode-8/5 ile Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmeliğin (TDY-98) Karşılaştırılması 141
Aydın KAVAK, Utkan MUTMAN, Umut AKGÜZEL

Hasar Risk Değerlendirme Çalışmalarında Zemin Özelliklerinin Etki Seviyesi 147
S.Feyza ÇİNİCİOĞLU, İlknur BOZBEY, M. Kubilay KELEŞOĞLU, Cemil ÖZYAZGAN, Sadık ÖZTOPRAK

Yerleşime Uygunluk Haritalarında Gereklilik ve Yeterlilik Ölçütlerinin Tartışılması -Farklı Bölgelerden Örnekler 155
S. Feyza ÇİNİCİOĞLU, Sadık ÖZTOPRAK, M. Kubilay KELEŞOĞLU

17 Ağustos Depreminde İzmit Büyükşehir Belediyesi Sınırlarındaki Hasar Dağlımı ve Bölgesel Zemin Etütlerinde Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar 165
Mustafa CEVHER, Fügen AVDAN, Özkul İPEK, D. Ali KEÇELİ

Deprem Bölgelerinde Parsel Bazında Geoteknik Rapor Hazırlanması ve Yorumlanmasına Dair Esaslar : *Öneri* 177
Akın ÖNALP, Turan ÖZTURAN, Şevket ÖZDEN, Kemal BEYEN

Kocaeli 1999 Depremi Öncesi Zemin Koşullarına Bağlı Bina Hasarlarının İncelenmesi 184
Aydın KAVAK, Erdinç KESKİN

YAPI VE YERLEŞİMLER

Yan Yatmış Bir Yapının Deprem Yükü Tesirindeki Davranışı 190
Ayhan NUHOĞLU, B. Kanat BOZDOĞAN

Tek ve Çok Serbestlik Dereceli Sistemlerin Deprem Davranışlarının Karşılaştırılması 197
Bülent AKBAŞ, Ülgen M. TUĞSAL, F.İlknur KARA, M. Kemal GÜNAY

Yapılar Nasıl Depreme Dayanıklı Yapılabilir ? 205
M.Celâlettin ÇİFTÇİ

Yaşamsal İhtiyaçlar Doğrultusunda Kullanıcıların Proje ve Uygulama Süreçlerinde Bina İç Mekanlarında Bilinçsizce Yaptıkları Değişikliklerin Depremde Ortaya Çıkan Bina Hasarlarına Etkileri 210
Deniz DEMİRARSLAN

Çok Katlı Yapıların Mod Birleştirme Yöntemine Göre Dinamik Hesabı İçin Pratik Bir Yöntem 219
Kanat Burak BOZDOĞAN, Erkan KAYA

Çok Katlı Çerçeve Yapıların Taşıma Matrisi Yöntemiyle Kritik Burkulma Yükünün Tayini 228
Kanat Burak BOZDOĞAN, Erkan KAYA

Çok Katlı Yapıların Taşıma Matrisi Kullanılarak Dinamik Analizi İçin Bir Yöntem 235
Kanat Burak BOZDOĞAN, Erkan KAYA

Yatay Rijitliği Yetersiz Betonarme Binaların Çelik Kafes Kiriş ve Viskoz Sönümleyici ile Güçlendirilmesi 242
M. Metin KÖSE, Hatip TOK

Aderans Boyu Hesap Yöntemlerinin Deneysel Verilerle Karşılaştırılması 249
Şevket ÖZDEN, Erkan AKPINAR

Yüksek Yapılarda Cephe Sistemlerinin Depreme Dayanıklı Tasarımı 259
Volkan GÜR, Ayşin SEV

Depreme Dayanıklı Yapıda, Taşıyıcı Olmayan Düşey Elemanların Dayanımının İncelenmesi 270
Yaşar SUBAŞI DİREK

Depreme Dayanıklı Çok Katlı Yapı Tasarımında Japon Prefabrikasyon Teknolojisi Ala-Sawa Sistemi 275
Fatih SAYAN, Birol DOYRANLI

Kahramanmaraş'ta Kentleşme ve Yapı Sistemlerinin İncelenmesi 279
Melike ÖZKAN, C. D. KUŞAT GÜRÜN, H. TEMİZ

Silika Dumanı ve Akışkanlaştırıcı Kimyasal Katkı Kullanımının Betonda Kendiliğinden Yerleşebilirlik ve Basınç Dayanımı Üzerine Etkileri 286
Selçuk TÜRKEL, Burak FELEKOĞLU

Lifli Betonlarda Yorulma Tesirlerinin Araştırılması 294
S. Taner YILDIRIM

Çelik Tel Donatılı Betonların Deprem Etkisi Altında Davranışları 302
Mehmet YERLİKAYA

Türkiye'de Kalıcı Deprem Konutlarında Kullanılan Yapım Teknolojilerinin Kullanıcı Gereksinmelerine Uygunluğunun İrdelenmesi 305
Kamuran ÖZTEKİN

Türkiyede, Deprem Sonrası Hemen Kurulması Gereken Acil Yapıların Mimari ve Yapısal Elverişlilik Kriterlerinin Çok Yönlü Olarak İrdelenmesi 313
S. Cengiz YESÜGEY

17 Ağustos 1999 Marmara Depremi Sonrası Ortaya Çıkan Geçici ve Kalıcı Yerleşimler ile Mevcut Yerleşimlerin Planlama ve Kimlik Sorunları Açısından İrdelenmesi – Kocaeli Geçici ve Kalıcı Yerleşimlerinde Görülen Kimliksizlik Sorunu 323
Kamuran ÖZTEKİN, Deniz DEMİRARSLAN, Didem Erten BİLGİÇ

Planlama Sürecinde Yönetmeliklerin Etkin Hale Getirilmesi 333
Erkin ERTEN, Mustafa YEĞİN, Gülertan AKYÜZLÜER, Tolga UZUN, Mert Nezih RİFAİOĞLU

Depreme Karşı Dayanıklı Yapılaşmada Mimari Planlamanın Önemi ve 1999 Kocaeli Depremi Örneği 343
Mustafa KAVRAZ

Afet Sonrası Geçici Barınma Sorununun Planlama ve Organizasyon Açısından İrdelenmesi 354
Nilay COŞGUN, Hakan ARSLAN

Düzce İli Kalıcı Konut Planlamasının Değerlendirilmesi 364
S. Taner YILDIRIM, Hakan ARSLAN

Yapı Denetimi ve Afetler Konusunda Ülkemizde Çıkan Yasa ve Yönetmeliklerin İrdelenmesi 371
Kamuran ÖZTEKİN, Deniz DEMİRASLAN, Didem ERTEN BİLGİÇ, Tevfik İLTER

Depremin Kültürel Miraslar Üzerindeki Etkisi: Adana Tepebağ Örneği 376
Gülin Payaslı OĞUZ, Nursen IŞIK

Mevcut Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi 386
Hasan KAPLAN

Betonarme Taşıyıcı Sistemlerin Yatay Rijitliklerinin Çelik Kafes Sistemlerle Güçlendirilmesi 396
Hatip TOK, M. Metin KÖSE

1999 Kocaeli Deprem Bölgesindeki Yapı Hasarları Üzerine Bir Çalışma 400
Mustafa KAVRAZ, Ramiz ABDÜLRAHİMOV

Halihazırdaki Betonarme Kolonların Depreme Karşı Yeni Bir Yöntemle Güçlendirilmesi 411
Cem YALÇIN, Osman KAYA

Kocaeli – İzmit İlçesi Bahçecik Beldesi ve Civarının Yermühendislik Özelliklerinin Jeolojik Gözlemler, Jeofizik Ölçümler ve Jeoteknik Deneylerle Belirlenmesi 417
Cengiz KURTULUŞ, Ali BOZKURT, Metin AŞÇI

Mevcut Yapı Stoğunun Deprem Riski Açısından Durum Tespiti İçin Bakırköy İlçesi Örneği ile Önerilen Yöntem 428
Barış YILDIZLAR, M. Gözde GÜRSOY, Namık K. ÖZTORUN, Tuncer ÇELİK

COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ VE UZAKTAN ALGILAMA

Uydu Görüntülerinin Jeolojik Amaçlı Sayısal Değerlendirilmesi 438
Ali Can DEMİRKESEN

Doğu Marmara Bölgesi İçin Şiddet-Uzaklık Azalım İlişkisinin Belirlenmesi 447
Berna TUNÇ, Talih GÜVEN, Ergin ULUTAŞ, Tahir Serkan IRMAK, Fadime SERTÇELİK, Taciser ÇETİNOL, Deniz ÇAKA, Mithat Fırat ÖZER,Özer KENAR

Depremde Hasar Görmüş Yapıların Beton Kalitesinin İncelenmesi 459
Mansur SÜMER Mehmet SARIBIYIK, Seyhan FIRAT, Ferhat AYDIN

17 Ağustos 1999 Marmara Depremi Sonrası Ortaya Çıkan Acil Barınma İhtiyacının Çözümlenmesine Yönelik Barınma Mekanı Çalışmaları ve Afet Sonrası Belirlenen Kullanıcı İhtiyaçlarının Konut Tasarımına Etkilerinin İrdelenmesi: Kocaeli Örneği 467

Kamuran ÖZTEKİN, Deniz DEMİRARSLAN, Tevfik İLTER

Deprem Zararlarının Azaltılması İçin Kent / Bölge Planlama Sürecinde Mikro-Bölgeleme Çalışmaları İlkeleri 477
Ferhat ÖZÇEP, Savaş KARABULUT, Nuray ALPASLAN, Umut CEYHAN, Oğuz GÜNDOĞDU

İzmit ve Civarının Zemin Özelliklerinin Mikrotremor Ölçümleriyle Belirlenmesi 487
Taciser ÇETİNOL, Metin AŞCI, Talih GÜVEN, Ergin ULUTAŞ, Berna TUNÇ Deniz ÇAKA, Serkan IRMAK, Fadime SERTÇELİK, Ahmet KARAKAŞ , Mithat Fırat ÖZER, Özer KENAR

MÜHENDİSLİKTE YENİ YAKLAŞIMLAR VE UYGULAMALARI

Değer Kodlaması Kullanarak Uzay Kafes Sistemlerin Genetik Algoritma ile Optimum Tasarımı 498
Tayfun DEDE, Yusuf AYVAZ, Serkan BEKİROĞLU

Genetik Algoritma (Ga) ile Paralel Başlıklı Düzlem Kafes Sistemlerin Şekil ve Boyut Optimizasyonu 508
Vedat TOĞAN, Ayşe DALOĞLU

Jeodezik Veri Değerlendirmesinde Bayesci Yaklaşım ile En Küçük Kareler Yaklaşımının Karşılaştırılması 516
Mualla YALÇINKAYA, Emine TANIR

Gölcük İlçesinde Deprem Hasarının ve Deprem Sonrası Rehabilitasyon Çalışmalarının Uydu Teknolojisiyle İzlenilmesi 526
Erhan ALPARSLAN

Gps ile Deformasyon Belirleme Amaçlı Jeodezik Çalışmalarda Başlangıç Faz Belirsizliği Çözüm Yönteminin Ölçü Süresinin Kısaltılmasındaki Önemi 533
Orhan KURT

DEPREM TEHLİKESİ, RİSKİ VE DEPREM SENARYOLARI

Deprem Gibi Afet Durumlarında Karşılaşılan Çevre Problemleri ve Çözüm Yolları 546
Ali BERKTAY, Bilgehan NAS, Tuba ERTUĞRUL

17 Ağustos 1999 Depremi Sonrası Klinik Atıkların Yakma ile Bertaraf Edilmesi Üzerine Bir Değerlendirme 553
Fatih TAŞPINAR, Aykan KARADEMİR, Mithat BAKOĞLU, Savaş AYBERK

Depremin Yeraltı Sularına Etkisinin İncelenmesi 561
Seda ASLAN, Mithat BAKOĞLU, Savaş AYBERK, Erdem BAŞARAN

Q100 ile Kocaeli ve Çevresinin Deprem Risk Analizi 569
Mehmet UTKU

Doğu Anadolu'nun Depremselliğinin İncelenmesi 580
Nilgün SAYIL, İlhan OSMANŞAHİN

Bölge İçi Depremselliğin Belirlenmesinde Gutenberg-Richter Bağıntısına Yeni Bir Yaklaşım 590
Ü. Y. KALYONCUOĞLU, O. UYANIK, T.C. DESTİCİ

Afet Yönetiminde Etkin Çözümler: Coğrafi Bilgi Sistemleri (Cbs), Uzaktan Algılama ve İnternet Teknolojilerinin Depremde Kullanılması 601
Şule KARAASLAN, Özge YALÇINER

Afet Yönetimi Sistemini Değerlendirmede Kullanılabilecek Kriterler 612
Yusuf ŞAHİN

SDC Swiss Development and Cooperation İsviçre Kalkınma ve İşbirliği Dairesi İzmit Ofisi Faaliyetleri 622
Simon TSCHURR, Gönül İÇTEN

DEĞER KODLAMASI KULLANARAK UZAY KAFES SİSTEMLERİN GENETİK ALGORİTMA İLE OPTİMUM TASARIMI

Tayfun DEDE[1], Yusuf AYVAZ[2], Serkan BEKİROĞLU[1]
dtayfun@ktu.edu.tr, ayvaz@ktu.edu.tr, bserkan@ktu.edu.tr

Özet: *Genetik algoritma doğal seçim ilkesine dayanan bir optimizasyon yöntemidir. Bu yöntem, diğer optimizasyon tekniklerinin aksine ayrık tasarım değişkenlerini kullanmaktadır. Genetik algoritma, çözüm dizilerinden oluşan bir başlangıç nesli ve kopyalama, çaprazlama ve mutasyon gibi doğal seçim operatörlerini kullanmaktadır. Bu çalışmada genetik algoritmada değer kodlaması kullanılarak uzay kafes sistemlerin minimum ağırlıklı tasarımı amaçlanmıştır. Bu amaçla FORTRAN dilinde kodlanan program yerdeğiştirme, gerilme ve stabilite sınırlayıcılarını içermektedir. Literatürde sıkça görülen 25 çubuklu ve 72 çubuklu uzay kafes sistemleri çözülüp elde edilen sonuçlar litaratürde verilenlerle karşılaştırılmıştır. Bunun sonucunda, değer kodlaması kullanılarak oluşturulan genetik algoritma programının kafes sistemlerin optimizasyonunda etkili bir şekilde kullanılabileceği görülmüştür.*

Anahtar Kelimeler: Optimizasyon, Genetik Algoritma, Değer Kodlaması, Ayrık Tasarım Değişkenleri, Kafes Sistemler.

Giriş

Yapı tasarımı optimizasyonu enerji, malzeme ve parasal kaynakların sınırlı olmasından dolayı gittikçe önem kazanan bir konu olmaktadır. Günümüze kadar bir çok optimizasyon yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin çoğu çözüme ulaşmak için bir takım matematiksel ifadeler gerektirmekte ve tasarım değişkenlerinin sürekli olması esasına dayanmaktadırlar. Ancak, pratikte çoğu alanda yapılan standart üretimlerden dolayı tasarım değişkenleri ayrık değerli olmaktadır.

Genetik algoritmalar ayrık tasarım değişkenlerini kullanan bir optimizasyon yöntemidir. Goldberg tarafından ortaya atılan genetik algoritma düşüncesi çeşitli alanlardaki problemlerde optimize edici olarak kullanılmaktadır. Darwin'in evrim teorisi esasına dayanan genetik algoritmalar başlangıçta rasgele oluşturulan ilk çözüm dizileri topluluğunu etkili bir şekilde sömürerek probleme çözüm olacak diziyi bulmaktadır. Genetik algoritmalar her zaman optimum sonucu bulacağını garanti edemez. Buna rağmen diğer optimizasyon yöntemlerine göre daha kısa zamanda pratik çözümler üretir. Düzlem ve uzay kafes sistemlerin genetik algoritma ile optimizasyonu bir çok araştırmacı tarafından gerçekleştirilmiştir. (Rajaev ve diğ., 1992, Daloğlu ve diğ., 1997, Adeli ve diğ., 1986, Groenwold ve diğ., 1999, Saka ve diğ., 1991).

Bu çalışmada, genetik algoritmada literatürde yaygın olarak kullanılan ikili kodlama sistemi yerine gerçek değer kodlaması kullanılmaktadır. Değer kodlamasında tasarım değişkenleri tek bir tamsayı ile temsil edilip, dizi uzunluğu tasarım değişkeni sayısından bağımsız olarak eleman yada grup sayısına eşit olmaktadır. Oysa alışılagelmiş ikili kodlamada bir tasarım değişkeni 1 ve 0 tamsayılarından oluşan bir dizi uzunluğu ile kodlanmaktadır. Değer kodlamasının bu özelliği, özellikle tasarım değişkenlerinin ve sistemdeki eleman sayısının çok fazla olduğu durumlarda algoritmaya hız kazandırmaktadır. Ayrıca optimizasyon sürecinde bilgisayar hafızası bakımından kolaylıklar sağlamaktadır.

Genetik Algoritma

Yapay zekanın alt dallarından biri olan genetik algoritma Darwin'in evrim teorisinden esinlenerek oluşturulmuştur. Bu teoriye göre bir toplumda güçlü bireyler hayatta kalırken zayıf bireyler ölmektedir. Benzer şekilde genetik algoritma, en iyi bireylerin hayatta kamasına ve adaptasyonuna dayanmaktadır. Her hangi bir bireyin genetik algoritma ile çözümü, o problemi sanal olarak bir evrim sürecinden geçirmek suretiyle gerçekleştirilmektedir.

[1] *Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon*
[2] *Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon*

Genetik algoritmada, bir problemin çözümü olabilecek parametrelerin belirli kurallara göre dizilmesiyle oluşan çözüm dizisine birey adı verilir. Başlangıçta bilgisayar tarafından rasgele oluşturulan belli sayıdaki bireyler arasında bir takım genetik operatörler uygulanarak en iyi birey genetik algoritma tarafından bulunur. Bu çalışmada kopyalama, çaprazlama ve mutasyon operatörleri kullanılmıştır. Genetik algoritmanın en belirgin özellikleri şunlardır.

- Genetik algoritma sonlu sayıda dizi üzerinde çalışır. Bu diziler belirli sıraya göre dizilmiş olan tasarım değişkenlerinden oluşur (Cao,1996).
- Genetik algoritma tek bir dizide değil tüm dizilerin oluşturduğu toplulukta araştırma yapar. Böylece kısmi yakınsamaların önüne geçilir.
- Genetik algoritmadaki operatörlerde tasarım değişkenlerinin seçilme işlemleri rasgele yapılır. Böylece veri topluluğundaki tüm değerler araştırmaya katılır (Goldberg, 1989).
- Sınırlayıcılarla ilgili bilgiler araştırma sürecinden bağımsızdır. Bu özellik çok zor problemlerde genetik algoritmayı pratik kullanımlı yapar.
- Genetik algoritma ayrık tasarım değişkenleriyle çalıştığı için bulduğu sonuçlar değiştirilmeden kullanılır.

Başlangıç toplumundaki bireylere genetik operatörler uygulanarak yeni bir topluluk oluşturulur. Topluluktaki bireyler amaç fonksiyonunda değerlendirilerek probleme çözüm olup olamayacağı yani Darwin'in teorisine göre o bireyin toplulukta hayatta kalıp kalamayacağına karar verilir. Oluşturulan her yeni topluluğun bir öncekine göre daha iyi bireylerden oluşacağı ümidiyle iterasyonlar devam ettirilir. Topluluktaki iyi birey sayısı kabul edilebilir bir çoğunlukta ise ve bu bireyler sınırlayıcıları ihlal etmiyorsa problemin optimum çözümü olarak atanır.

Değer kodlamasında tasarım değişkeni olarak kullanılan çelik profil enkesit alanları tek bir tamsayı ile temsil edilmektedir. Bu tamsayılar enkesit alanlarının sıralanması sonucu oluşan sıra nolarıdır. Örnek olarak, bir kafes sistem 4 çubuk elemandan oluşuyorsa ve tasarım değişkeni olarak 20 adet enkesit alanı mevcutsa 5 8 12 19 şeklindeki bir dizi 1., 2., 3. ve 4. çubuğun sırasıyla 5 nolu, 8 nolu, 12 nolu ve 19 nolu enkesit alanına sahip olacağını göstermektedir.

Kopyalama işlemi uyum derecesi kötü olan bireylerin yerine iyi uyumlu bireylerin getirilmesini sağlar. Uyum derecesi, bir bireyin amaç fonksiyonuna uygun olup olmadığının ve sınırlayıcıları ihlal edip etmediğinin bir ölçüsüdür. Uyum derecesi belli bir değerin altında olan bireyler topluluktan atılırlar. Topluluktan atılan birey sayısı kadar, uyum derecesi yüksek olan bireylerden kopya bireyler üretilir. Böylece yeni topluluklar iyi bireylerden oluşmaktadır. Çözüme erken yakınsama olmaması için bir bireyden yapılacak kopya sayısı birden fazla olmamalıdır.

Çaprazlama operatörü genetik algoritmada optimum çözüme yakınsama şansını artırdığı ve topluma yeni bireyler kazandırdığı için kullanılmaktadır. Çaprazlanmak üzere eşleşme havuzuna alınan bireyler rasgele eşleştirilip, eşlenen çift bireylere yine rasgele çaprazlama noktaları belirlenir. Mevcut çaprazlama yöntemlerinden bu çalışmada iki noktalı çaprazlama uygulanmaktadır. Çaprazlama noktaları arasında kalan tasarım değişkenleri eş bireyler arasında karşılıklı olarak değiştirilir.

Birey	:	14	7	8	19	24	32	5
Eş birey	:	1	9	4	30	3	12	13
1. çocuk	:	14	7	4	30	3	32	5
2. çocuk	:	1	9	8	19	24	12	13

Yukarıda örnekte gösterilen bireylerin çaprazlama noktaları rasgele 3 ve 6 olarak belirlenmiştir. Bireylerin 3. ve 6. karakterleri arasında kalan 3., 4. ve 5. tasarım değişkenleri karşılıklı değiştirilmiştir. Çaprazlama sonucu 2 adet yeni birey (çocuk) oluşturulmuştur. Bu yeni bireyler eski eş bireylerin yerine geçmişlerdir. Eski eş bireyler ise doğal olarak topluluktan atılmışlardır.

Mutasyon operatörü çaprazlamadan sonra uygulanmaktadır. Mutasyon genetik algoritmada erken yakınsamanın önüne geçerek daha iyi tasarım sonuçlarının bulunmasını sağlamaktadır. Ancak mutasyon operatörü en iyi bir bireyi topluluktan atabilmektedir. Bu yüzden mutasyon oranı düşük tutulmalıdır. Değer kodlamasında birey mutasyona uğratılırken, bireyin sahip olduğu tasarım değişkenlerinden rasgele belirlenen bir tanesi yine rasgele belirlenen başka bir tasarım değişkeniyle değiştirilmektedir.

Mutasyondan önce : 17 24 8 5 13 34

Mutasyondan sonra : 17 24 15 5 13 34

Yukarıdaki örnekte görüldüğü gibi bireyin 3. karakteri olan 8 nolu tasarım değişkeni rasgele belirlenen 15 nolu bir tasarım değişkeni ile değiştirilmiştir.

Uzay Kafes Sistemlerin Genetik Algoritma ile Optimizasyonu

Yapı maliyetini artırmaması için yapı toplam ağırlığının en az olması arzulanır. Optimum tasarım için minimum yapı ağırlığı aşağıdaki bağıntıyla verilmektedir.

$$\min W = \sum_{i=1}^{nm} \rho_i L_i A_i \tag{1}$$

Bu ifadede W toplam yapı ağırlığını, nm sistemdeki eleman sayısını ve ρ, L ve A sırasıyla elemanların birim hacim ağırlığını, boyunu ve enkesit alanını göstermektedir. Eğer sistemde bazı elemanların aynı özelliklere sahip olmasından dolayı gruplandırma yapılmışsa ng grup sayısını göstermek üzere minimum ağırlık şöyle ifade edilmektedir.

$$\min W = \sum_{k=1}^{ng} A_k \sum_{i=1}^{nm} \rho_i L_i \tag{2}$$

Optimum tasarım aranırken yerdeğiştirme ve gerilme sınırlayıcıları ihlal edilmemelidir. δ_i, δ_u düğüm noktasında oluşan yerdeğiştirme ve müsaade edilen maksimum yerdeğiştirme, p yerdeğiştirmesi sınırlandırılmış düğüm noktası sayısını, σ_i elemanda oluşan gerilmeyi, σ_u, σ_a sırasıyla müsaade edilen emniyet gerilmesini ve akma gerilmesini göstermek üzere çekme elemanlarında $\sigma_u = 0{,}6\sigma_a$ olmak şartıyla aşağıdaki ifadeler sağlanmalıdır

$$\begin{aligned} &\delta_i \le \delta_u \qquad i = 1,2,\ldots,p \\ &\sigma_j \le \sigma_u \qquad j = 1,2,\ldots,nm \end{aligned} \tag{3}$$

Basınç çubuklarında ise narinlik hesabı yapılmaktadır. S_k burkulma boyunu, i atalet yarıçapını göstermek üzere λ burkulma katsayısı aşağıdaki bağıntıyla bulunur.

$$\lambda = \frac{S_k}{i} \tag{4}$$

Burkulmanın elastik yada plastik bölgede olduğuna karar vermek için, E elastisite modülünü göstermek üzere λ_p plastik burkulma katsayısı bulunur. Karşılaştırma sonucu basınç emniyet gerilmesi σ_{bem} hesaplanır.

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{\sigma_a}} \tag{5}$$

$$\lambda < \lambda_p \text{ ise,} \qquad \sigma_{bem} = \sigma_a \frac{\left[1 - \frac{1}{2}\left(\frac{\lambda}{\lambda_p}\right)^2\right]}{n} \tag{6}$$

$$\lambda > \lambda_p \text{ ise,} \qquad \sigma_{bem} = \frac{2\pi^2 E}{5\lambda^2} \tag{7}$$

Yukarıdaki formülde n emniyet katsayısını göstermek üzere TS 648'e göre aşağıdaki bağıntıdan hesaplanır.

$$n = 1{,}5 + 1{,}2\left(\frac{\lambda}{\lambda_p}\right) - 0{,}2\left(\frac{\lambda}{\lambda_p}\right)^3 \tag{8}$$

Kafes sistemlerin analizi yapıldıktan sonra genetik algoritmada optimizasyon süreci başlatılır. Genetik algoritma topluluktaki her birey için bu analizi gerçekleştirip, bireylerin sınırlayıcıları ihlal etme durumlarını araştırmaktadır. Sınırlayıcıları ihlal eden bireylere ceza verilir. Bunun için sınırlayıcıların normalize edilmiş halleri aşağıdaki ifadeyle belirlenir.

$$g_j = \frac{\delta_j}{\delta_u} - 1 \le 0 \qquad j=1,2,\ldots,p \tag{9}$$

$$g_i = \frac{\sigma_i}{\sigma_u} - 1 \le 0 \qquad i=1,2,\ldots,ncm \tag{10}$$

$$g_i = \frac{\sigma_i}{\sigma_{bem}} - 1 \le 0 \qquad i=1,2,\ldots,nbm \tag{11}$$

Bu bağıntılarda ncm, nbm sırasıyla çekme çubuğu sayısı ve basınç çubuğu sayısını göstermektedir. Sınırlayıcıların normalize edilmesinin ardından, m, sınırlayıcı sayısını göstermek üzere ceza katsayıları c_i ve ceza fonksiyonu, C, aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\begin{aligned} c_i &= 0 \quad \text{eğer} \quad g_i \le 0 \ \text{ise,} \\ c_i &= g_i \quad \text{eğer} \quad g_i > 0 \ \text{ise} \end{aligned} \tag{12}$$

$$C = \sum_{i=1}^{m} c_i \tag{13}$$

Genetik algoritmada ceza fonksiyonu kullanılarak başlangıçta sınırlayıcılara sahip olan problem sınırlayıcısız probleme dönüştürülür. (Chen, 1997) P, her probleme ait bir sabit olmak üzere cezalandırılmış amaç fonksiyonu $\Phi(x)$ şöyle hesaplanır.

$$\Phi(x) = W(x)[1 + P.C] \tag{14}$$

Optimum çözümü belirlemekte sınırlayıcıların etkisi P sabitinin değiştirilmesi ile ayarlanabilir. $\Phi(x)_{max}, \Phi(x)_{min}$ cezalandırılmış amaç fonksiyonunun maksimum ve minimum değerlerini göstermek üzere bir bireyin uyum derecesi F_i aşağıdaki ifadeyle belirlenmektedir.

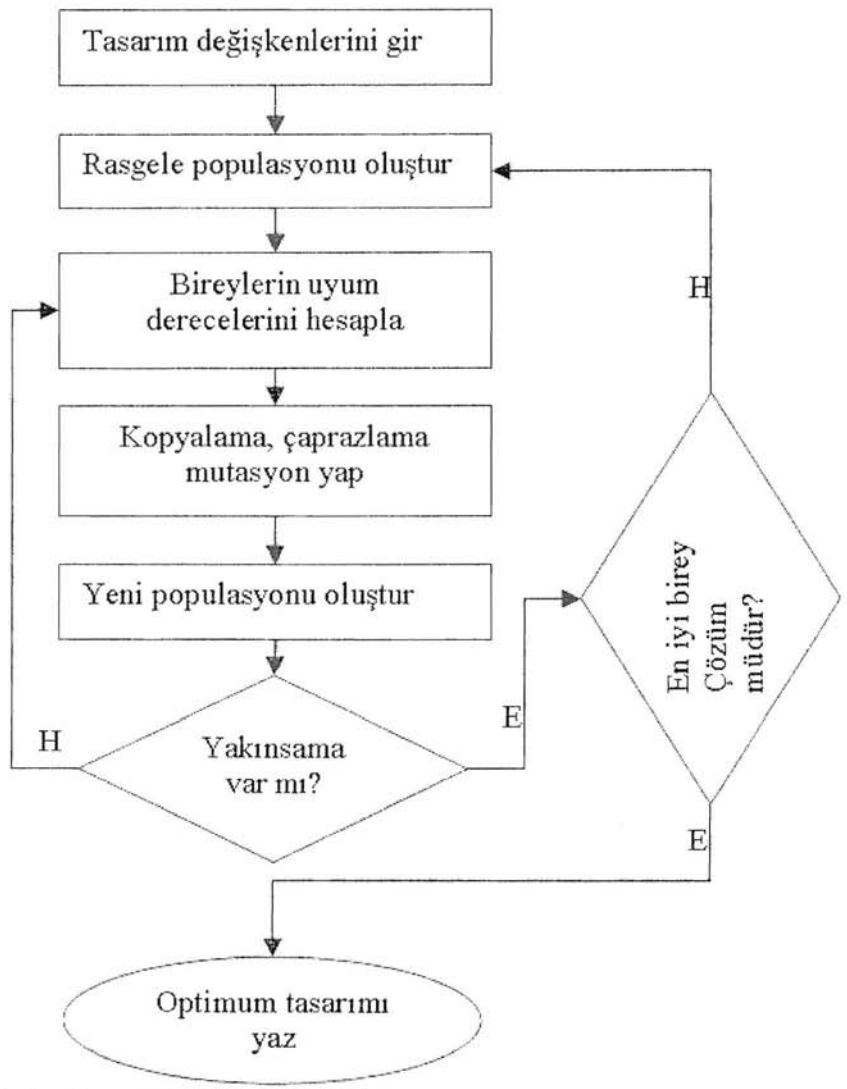
$$F_i = \left(\Phi(x)_{max} + \Phi(x)_{min}\right) - \Phi(x)_i \tag{15}$$

Bireylerin eşleşme havuzuna kaç adet kopyalanacağına karar veren F_c uyum faktörü, bireyin uyum derecesinin tüm bireylerin uyum dereceleri ortalamasına oranı olarak aşağıdaki bağıntıyla belirlenir. Uyum faktörü 0,5'den küçük olan bireyler toplumdan atılırlar. Kalan bireylerden uyum faktörü 1,5 ve yukarı değerde olanlardan ikişer, 0,5-1,5 arasında olanlardan ise birer tane kopya yapabilmek şartıyla toplumdan atılan birey sayısınca kopya bireyler üretilir.

$$F_c = \frac{F_i}{\sum F_i / n} \tag{16}$$

Bireylerin kopyalanmasıyla yeni bir topluluk oluşturulur. Genetik algoritma ilk toplulukta yaptığı gibi yeni topluluğa da genetik operatörleri uygulayıp ilgili analizleri yaparak optimum çözümü bulmaya çalışır.

Böylece devam ettirilen iterasyonlarda oluşturulan yeni topluluk içerisinde probleme çözüm olabilecek bir bireyin baskınlığı arttığında, istenilen yakınsama oranı sağlandığında ve bu birey sınırlayıcıları ihlal etmiyorsa optimum çözüm olarak kabul edilir. Genetik algoritmanın genel akış diyagramı aşağıdaki gibidir (Şekil 1).



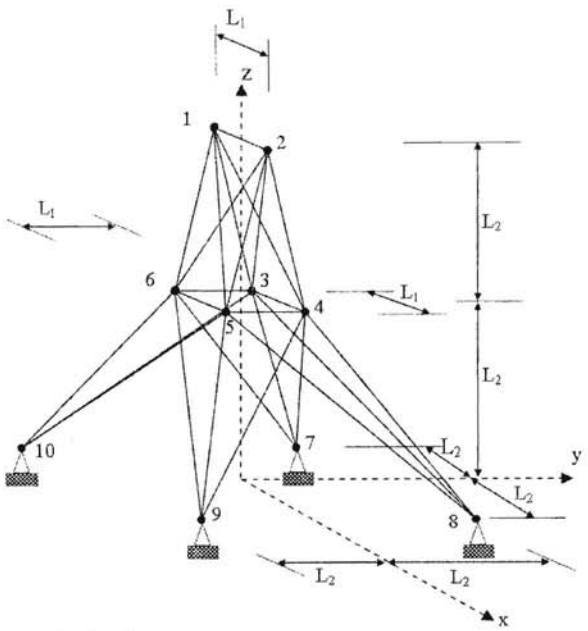
Şekil 1. Genetik algoritmanın genel akış diyagramı

Tasarım Örnekleri

Bu çalışmada literatürden alınan örneklerin genetik algoritmada değer kodlaması kullanılarak tekrar tasarımları yapılmıştır. Sonuçların karşılaştırmasını yapabilmek amacıyla tasarım değişkenleri ve ilgili diğer veriler literatürdeki değerlerle aynı alınmıştır.

Yirmibeş Çubuklu Uzay Kafes Sistem

Şekil 2'deki sistem için $L_{1=}$ 190,5 cm, $L_{2=}$ 254 cm, elastisite modülü E=68950 Mpa (10^7 psi), emniyet gerilmesi σ_{em}=241,3 Mpa (35 ksi), çelik çubukların birim hacim ağırlığı ρ=0,02714 N/cm^3 (0,1 lb/in^3) olarak alınmıştır. Sistemde 1 ve 2 nolu düğüm noktalarında x ve y doğrultularında 0.889 cm (0.35 inç) yerdeğiştirmeye müsaade edilmiştir. Literatürle karşılaştırabilmek amacıyla eksenel stabilite dikkate alınmamıştır. Sisteme x, y ve z ekseni doğrultularında uygulanan yükler Tablo 1'de verilmektedir. Tasarım değişkeni olarak kullanılan enkesit alanları: 0.65, 1.29, 1.94, 2.58, 3.23, 3.87, 4.52, 5.16, 5.80, 6.45, 7.10, 7.74, 8.39, 9.03, 9.68, 10.32, 10.96, 11.61, 12.26, 12.90, 13.55, 14.19, 14.84, 15.48, 16.13, 16.77, 18.06, 19.35, 20.65, 21.94 cm^2 dir.



Şekil 2. Yirmibeş çubuklu uzay kafes sistem

Tablo 1. Yirmibeş çubuklu sisteme uygulanan yükler

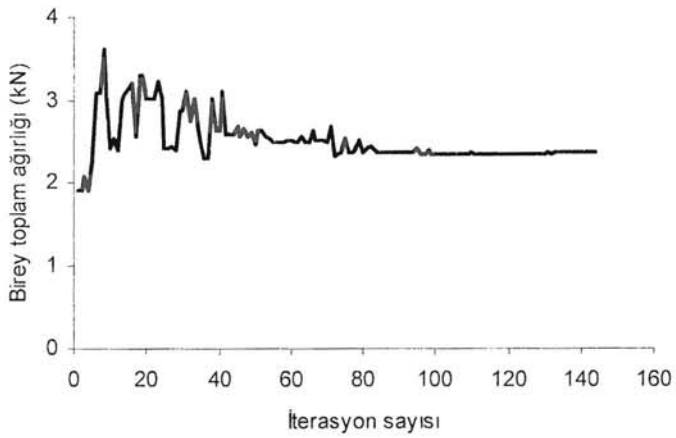
Düğüm noktası	Fx (kN)	Fy (kN)	Fz (kN)
1	4.448	-44.480	-44.480
2	0.000	-44.480	-44.480
3	2.224	0.000	0.000
6	2.669	0.000	0.000

Daha öncede belirtildiği gibi değer kodlamasında bir bireyin dizi uzunluğu eleman yada grup sayısına eşit olmaktadır. 25 elemanlı bu sistem için birey dizi uzunluğu 25 olması gerekirken yapılan gruplandırmayla dizi uzunluğu 8'e düşürülmüştür. Oysa ikili kodlamada dizi uzunluğu aynı örnek için 40 olacaktı. Bu özelliği ile değer kodlaması, özellikle çok elemanlı sistemlerde bilgisayarı büyük boyuttaki dizilerle uğraşmaktan kurtarmaktadır. Yapılan gruplandırma ve elemanların hangi gruplara ait olduğu Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 2. Yirmibeş çubuklu sisteme ait eleman ve gruplar

Eleman				Eleman			
No	Uc noktaları		Grup no	No	Uc noktaları		Grup no
	1.	2.			1.	2.	
1	1	2	1	14	3	10	6
2	1	4	2	15	6	7	6
3	2	3	2	16	4	9	6
4	1	5	2	17	5	8	6
5	2	6	2	18	4	7	7
6	2	4	3	19	3	8	7
7	2	5	3	20	5	10	7
8	1	3	3	21	6	9	7
9	1	6	3	22	6	10	8
10	6	3	4	23	3	7	8
11	4	5	4	24	4	8	8
12	3	4	5	25	5	9	8
13	6	5	5				

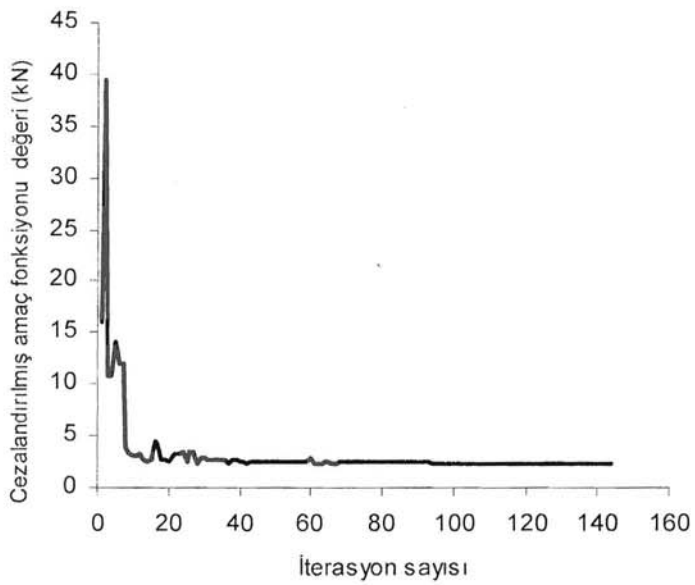
Bu sistem için toplam 30 adet birey rasgele oluşturulmuştur. Cezalandırılmış amaç fonksiyonu için ceza katsayısı P=5.0 alınıp %80 lik yakınsama yeterli görülmüştür. Genetik algoritma programı 144. iterasyon sonucunda W=2,334 kN'luk bir tasarım elde etmiştir. Aşağıdaki grafikte (Şekil 3.) tasarım sürecinde birey toplam ağırlığının iterasyon sayısına bağlı olarak değişimi verilmektedir.



Şekil 3. Yirmibeş çubuklu sistem için birey ağırlığının iterasyon sayısıyla değişimi

Şekil 3'den görüldüğü gibi, birey toplam ağırlığı, başlangıçta bireylerin rasgele oluşturulmasından dolayı, ilk iterasyonlarda sürekli değişmektedir. Ancak iterasyon sayısı arttıkça genetik algoritma, topluluğu sömürerek en iyi bireyleri seçmektedir.

Sekseninci iterasyondan sonra grafik pratik olarak değişmemektedir yani sabit kalmaktadır. Eğride görülen küçük dalgalanmalar mutasyon operatörünün yaptığı değişimdir. Sabitleşmeye karşılık gelen birey ağırlığı aynı zamanda optimum tasarım sonucunun ağırlığıdır. Şekil 4'de tasarım sürecinde 3. bireyin iterasyon sayısına bağlı olarak cezalandırılmış amaç fonksiyonun değişimi verilmektedir.



Şekil 4. Yirmibeş çubuklu sistemde cezalandırılmış amaç fonksiyonunun iterasyon sayısına bağlı olarak değişimi

İterasyon sayısı arttıkça, toplumun iyi bireylerden oluşmasından dolayı cezalar giderek sıfırlanacağı için, (14) nolu bağıntıdan da anlaşılacağı gibi cezalandırılmış amaç fonksiyonunun gittikçe azalması ve optimum tasarım sonucunda bulunan birey ağırlığında sabitleşmesi beklenmektedir.

Şekil 4'den bu fonksiyonun iterasyon sayısına bağlı olarak azaldığı ve W=2,334 kN değerinde sabitleştiği görülmektedir. Bu değer Şekil 3'den de görüldüğü gibi optimum tasarım sonucu bulunan toplam ağırlıktır.

Tablo 4'de, elde edilen tasarım sonuçlarının Adeli ve diğ., 1986 tarafından yapılan çalışma ile detaylı olarak karşılaştırılması verilmektedir. Bu tablodan görüldüğü gibi, bu çalışmadan elde edilen tasarım daha az ağırlıklıdır.

Tablo 4. Yirmibeş çubuklu sistemin tasarım sonuçları

Grup no	Enkesit alanları (cm^2)	
	Bu çalışma	Adeli ve diğ., 1986
1	0,65	0,65
2	12,90	11,61
3	16,13	14,84
4	0,65	1,29
5	1,29	0,65
6	4,52	5,16
7	7,74	11,61
8	20,65	19,35
Toplam ağırlık (kN)	**2,334**	**2,428**

Yetmişiki Çubuklu Uzay Kafes Sistem

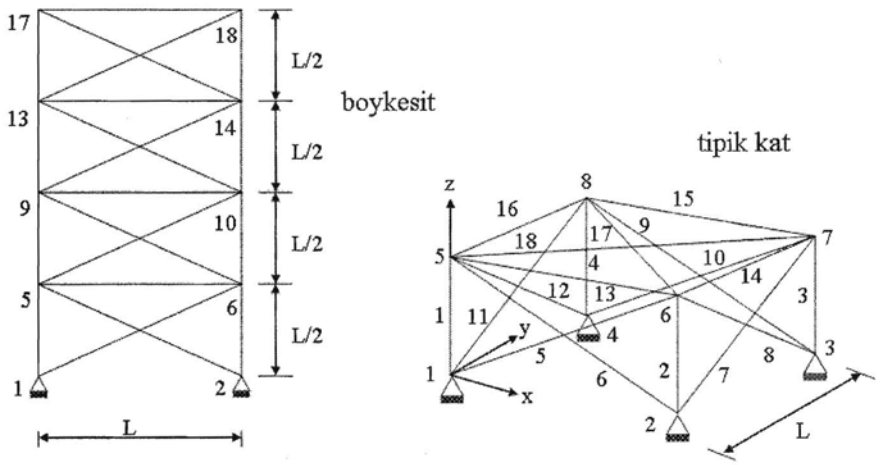
Yetmişiki çubuklu uzay kafes sistem için elastisite modülü E=68950 Mpa (10000 ksi), literatürle karşılaştırma yapmak amacıyla burkulmasız tasarım yapıldığından dolayı çelik çubuklarda basınç ve çekme durumlarında emniyet gerilmesi σ_{em}=172,375 Mpa ($\mp$25 ksi) alınmıştır.

Sözkonusu sistemin 17, 18, 19 ve 20 nolu düğüm noktalarında maksimum 0,635 cm (0,25 inç) yer değiştirmeye izin verilmiştir. Malzeme birim hacim ağırlığı ρ= 0,02714 N/cm^3 (0,1 lb/in^3) ve L=304,8 cm'dir.

Tasarım değişkeni olarak 32 adet en kesit alanı kullanılmıştır. Başlangıç neslinde 30 adet birey oluşturulup, programın çalıştırılması sırasında %80 yakınsamayla en fazla 200 iterasyona izin verilmiştir. Cezalandırılmış amaç fonksiyonu için ceza katsayısı 3.484 olarak deneme yanılma yoluyla saptanmıştır. Bireyin dizi uzunluğunun fazla olmaması için gruplandırmaya gidilip, 72 çubuklu sistem için 16 grup oluşturulmuştur. Böylece değer kodlamasında bir birey, 72 yerine 16 adet sayının yan yana dizilmesiyle meydana gelmiştir. Oluşturulan gruplarda hangi elemanlar bulunduğu Tablo 5'de verilmektedir. Gruplandırma yapılırken genellikle sistemin simetri olma özelliğinden yararlanılmaktadır.Bu sistem için iki farklı yükleme durumu dikkate alınmıştır (Tablo 6).Tasarım değişkeni olarak kullanılan enkesit alanları 1.12, 1.42, 1.45, 1.74, 1.85, 2.26, 2.67, 2.78, 3.08, 3.28, 3.79, 3.87, 4.30, 4.48, 4.80, 5.69, 5,86, 6.31, 6.56, 6.91, 8.24, 8.70, 9.03, 9.40, 10.10, 11.00, 11.50, 11.90, 12.30, 13.20, 14.10, 14.30 cm^2'dir.

Tablo 5. Yetmişiki çubuklu sisteme ait gruplandırma

Grup no	Elemanlar		Grup no	Elemanlar
1	1,2,3,4		9	37,38,39,40
2	5,6,7,8,9,10,11,12		10	41,42,43,44,45,46,47,48
3	13,14,15,16		11	49,50,51,52
4	17,18		12	53,54
5	19,20,21,22		13	55,56,57,58
6	23,24,25,26,27,28,29,30		14	59,60,61,62,63,64,65,66
7	31,32,33,34		15	67,68,69,70
8	35,36		16	71,72



Şekil 5. Yetmişiki çubuklu uzay kafes sistemin tipik bir katı ile boy kesiti

Tablo 6. Yetmişiki çubuklu sistemin yükleme durumları

Yük durumu	Yüklü nokta	Yük değeri (kN)		
		F_x	Fy	Fz
I.	17	22,24	22,24	-22,24
II.	17	0,0	0,0	-22,24
	18	0,0	0,0	-22,24
	19	0,0	0,0	-22,24
	20	0,0	0,0	-22,24

Sistemin genetik algoritma ile optimize edilmesi sonunda 189. iterasyonda %80 yakınsama ile W=1.812 kN'luk bir toplam birey ağırlığı elde edilmiştir. Sistemdeki düğüm noktalarında meydana gelen en büyük yerdeğiştirme 0.635 cm olup bu değer müsaade edilen değeri (0,635 cm) ihlal etmemiştir.

Tablo 7. Yetmişiki çubuklu sistemin tasarım sonuçları

Grup no	Enkesit alanları (cm^2)	
	Bu çalışma	Ayvaz ve diğ., 2000
1	13,20	13,20
2	3,08	3,79
3-4-7-13	1,12	1,12
5	9,40	6,31
6	3,28	3,79
8	1,85	1,12
9	2,78	3,28
10	3,28	3,08
11	1,42	1,12
12	1,42	1,12
14	3,79	3,79
15	2,78	2,26
16	2,78	3,28
Toplam ağırlık (kN)	1,812	1,806

Sonuçlar

Yapılan bu çalışmada, elde edilen sonuçlar bu çalışmada değer kodlaması kullanılarak hazırlanan programın uzay kafes sistemlerin genetik algoritma ile optimum tasarımında etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir. Ayrıca, gerçek değer kodlamasında bir bireyin kodlanması daha kısa uzunluklu dizilerden oluştuğu için hem zaman açısından hem de işlem açısından bilgisayarda kolaylıklar sağlamaktadır.

Bu çalışmada basit genetik algoritma kullanılmaktadır. Oysa genetik algoritmada bir çok genetik operatör mevcuttur. Bu operatörlerin de dikkate alınmasıyla oluşturulacak olan genetik algoritma programı daha etkili bir şekilde çalışacaktır.

KAYNAKLAR

1. ADELI, H., KAMAL, O., 1986. Efficient Optimization of Space Trusses, Computers & Structures, 24 (3) , 501-511.
2. AYVAZ, Y., AYDIN, Z., 2000. Optimum Design Of Trusses Using a Genetic Algorithm, Civil-comp, Edinburg, Scotland ,159-168
3. CAO, G., 1996. Optimized Design of Framed Structures Using a Genetic Algorithm, Ph. D. Dissertation, The University of Memphis.
4. CHEN, S. Y., 1997. Using Genetic Algorithm for the Optimal Design of Structural Systems, Ph. D. Dissertation, Arizona State University.
5. DALOĞLU, A., ARMUTCU, M., 1997. Kafes Sistemlerin Genetik Algoritma ile TS 648'e Uygun Olarak Optimum Tasarımı, İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler, III. Teknik Kongre, 459-467, ODTÜ, Ankara.
6. GOLDBERG, D. E., 1999. Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning, 20th printing, Addison-Wesley Publishing Company Inc., New York.
7. GROENWOLD, A. A., STANDER, N., SNYMAN, J. A., 1999. A Regional Genetic Algorithm for the Discrete Optimal Design of Truss Structures, International Journal for Numerical Methods in Engineering, 44, 749-766.
8. RAJEEV, S., KRISHNAMOORTHY, C. S., 1997. Genetic Algorithms-Based Methodologies for Design Optimization of Trusses, Journal of Structural Engineering, 123 (3), 350-358.
9. RAJEEV, S., KRISHNAMOORTHY, C. S., 1992. Discrete Optimization of Structures Using Genetic Algorithms, Journal of Structural Engineering, 118 (5), 1233-1251.
10. SAKA, M. P., ULKER, M., 1991. Optimum Design of Geometricaly Nonlinear Space Trusses, Computers & Structures, 41 (6), 1387-1396.
11. TS 648, Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, T.S.E., Ankara, I. Baskı, Nisan 1982