TÜRKİYE İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
XVII. TEKNİK KONGRE VE SERGİSİ

BİLDİRİLER KİTABI

- Özet Bildiri Metinleri
- Tam Bildiri Metinleri (CD)

Editörler
Prof. Dr. Ayşen ERGİN
İnş. Müh. Gülay ÖZDEMİR

Yayına Hazırlayanlar
İnş. Müh. Elif BUĞDAYCIOĞLU
Zühtü KAYALI
Cemal ÇİMEN

15-16-17 Nisan 2004
Yıldız Teknik Üniversitesi
Kongre Salonları
İ S T A N B U L

TMMOB
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI

YÜRÜTME KURULU

Prof. Dr. Ayşen	ERGİN (Başkan)	ODTÜ
İnş. Müh. Rezan	BULUT	İMO (İSTANBUL)
Y. Doç. Dr. Önder	ÇETİN	ODTÜ
Doç. Dr. Esin	ÇEVİK	YTÜ
Dr. Işıkhan	GÜLER	
İnş. Müh. Gülay	ÖZDEMİR	İMO
Doç. Dr. Ahmet Cevdet	YALÇINER	ODTÜ
Prof. Dr. Yalçın	YÜKSEL	YTÜ
İnş. Müh. Taner	YÜZGEÇ	İMO

TEKNİK KURUL

İnş. Y. Müh. Ender	ARKUN	TÜBİTAK
Prof. Dr. Altay	BİRAND	ODTÜ
Prof. Dr. Uğur	ERSOY	ODTÜ
Prof. Dr. Güney	ÖZCEBE	ODTÜ
İnş. Y. Müh. Osman	ÖZKAN	TMMMB
Prof. Dr. Tuğrul	TANKUT	TÜBİTAK
Prof. Dr. Sedat	KAPDAŞLI	İTÜ
Prof. Dr. Salih	KIRKGÖZ	ÇÜ
Prof. Dr. Turan	ÖZTURAN	BÜ

BİLİM KURULU

Prof. Dr. Süheyl	AKMAN	İTÜ
Prof. Dr. Fevziye	AKÖZ	YTÜ
Prof. Dr. Ömer Zafer	ALKU	DEÜ
Prof. Dr. Sinan	ALTIN	GÜ
Prof. Dr. Doğan	ALTINBİLEK	ODTÜ
Prof. Dr. Atilla	ANSAL	BÜ
Prof. Dr. Cem	AVCI	BÜ
Y. Doç. Dr. Cumhur	AYDIN	ATILIM
Prof. Dr. Nuray	AYDINOĞLU	BÜ
Prof. Dr. Mustafa	AYTEKİN	KTÜ
Doç. Dr. Can E.	BALAS	GÜ
Doç. Dr. Lale	BALAS	GÜ
Prof. Dr. Ertuğrul	BENZEDEN	DEÜ
Doç. Dr. Talat	BİRGÖNÜL	ODTÜ
Prof. Dr. Hasan	BODUROĞLU	İTÜ
Doç. Dr. Osman	BÖREKÇİ	BÜ
Prof. Dr. Zekai	CELEP	İTÜ
Prof. Dr. Feyza	ÇİNİCİOĞLU	İÜ
Y. Doç. Dr. Şevket	ÇOKGÖR	İTÜ
Prof. Dr. Hüseyin	DEMİREL	YTÜ
Prof. Dr. İsmail	DURANYILDIZ	İTÜ
Prof. Dr. Cengiz	DÜNDAR	ÇÜ

Prof. Dr. Fuat	ERBATUR	ODTÜ
Prof. Dr. Mustafa	ERDİK	BÜ
Prof. Dr. Ufuk	ERGUN	ODTÜ
Prof. Dr. Gökmen	ERGÜN	BÜ
Prof. Dr. Metin	GER	ODTÜ
Prof. Dr. Mustafa	GÖĞÜŞ	ODTÜ
Prof. Dr. Polat	GÜLKAN	ODTÜ
Prof. Dr. Nahit	KUMBASAR	İTÜ
Prof. Dr. Beyhan	OĞUZ	İTÜ
Prof. Dr. Hakkı	OMURTAG	İTÜ
Prof. Dr. Derin	ORHON	İTÜ
Y. Doç. Dr. Emre	OTAY	BÜ
Prof. Dr. Halil	ÖNDER	ODTÜ
Prof. Dr. Kutay	ÖZAYDIN	YTÜ
Y. Doç. Dr. Gürkan	ÖZDEN	DEÜ
Prof. Dr. Yener	ÖZKAN	ODTÜ
Doç. Dr. Namık Kemal	ÖZTORUN	İÜ
Prof. Dr. Süha	SEVÜK	ODTÜ
Prof. Dr. Haluk	SUCUOĞLU	ODTÜ
Prof. Dr. Uygur	ŞENDİL	ODTÜ
Prof. Dr. Ünal	ŞORMAN	ODTÜ
Prof. Dr. M. Ali	TAŞDEMİR	İTÜ
Prof. Dr. Mustafa	TOKYAY	ODTÜ
Prof. Dr. Fikret	TÜRKER	AKDENİZ
Y. Doç. Dr. Erdem	ÜNAL	İTÜ
Prof. Dr. Narin	ÜNAL	AKDENİZ
Prof. Dr. Tanvir	WASTI	ODTÜ
Prof. Dr. Melih	YANMAZ	ODTÜ
Prof. Dr. Sönmez	YILDIRIM	YTÜ
Prof. Dr. Semih	YÜCEMEN	ODTÜ
Prof. Dr. Faruk	YÜKSELER	YTÜ

ONURSAL DANIŞMA KURULU

Adnan	AKYARLI	ÖZTÜRE
Ergin	ARIOĞLU	YAPI MERKEZİ
Ersin	ARIOĞLU	YAPI MERKEZİ
Mehmet	AYDINER	AYDINER
Feyyaz	BERKER	TEKFEN
Cihan	CANDEMİR	AYSEL A.Ş.
Oğuz	ÇARMIKLI	NUROL A.Ş.
İbrahim	ÇEÇEN	İÇTAŞ
Şerafettin	DOĞAN	ÜÇER A.Ş.
Sezer	ERGİN	DAP LTD.
Erdal	FURTUN	HES

Mehmet Nazif	GÜNAL	MNG
Ali Rıza	GÜNBAK	STFA
Fikret	GÜRDİL	TEMELSU
Oğuz	GÜRSEL	KİSKA
Nazmi	HAŞEMOĞLU	HAŞEMOĞLU
Demir	İNÖZÜ	TEMELSU
İrfan	KARAOĞLU	BAŞARI
Kaya	KIRAÇ	STFA
Tuncer	KOBANER	BEKTAŞOĞLU
Joseph	KUBİN	PROTA
M. Müfit	KULEN	İÇTAŞ
Osman	MÜYESSER	STFA
Güven	ODABAŞI	SUYAPI
Nihat	ÖZDEMİR	TMB-LİMAK
Ümit	ÖZDEMİR	TEKFEN
Süreyya Yücel	ÖZDEN	GAMA
Cemil	ÖZGÜR	CEMİL ÖZGÜR A.Ş.
Aydın	PELİN	APCB A.Ş.
Şerif	PORA	YÜKSEL PROJE
İsmail	SALICI	PROKON
Kadir	SEVER	METİŞ
İbrahim	ŞENCAN	ÇALLIOĞLU
Şarık	TARA	ENKA
Ali	TERZİBAŞOĞLU	TERZİBAŞOĞLU
Alaettin	TOSUNOR	MNG
Erol	ÜÇER	GAMA
Raşit	ÜNÜVAR	TEMPO
İdris	YAMANTÜRK	GÜRİŞ
Ali Rıza	YÜCEL	AYDINER
Hilmi	YÜNCÜ	ERKA-AS
Yusuf Ziya	ZÜLFİKAR	ZİTAŞ

İMO SEKRETERYA

Gülay	ÖZDEMİR	İMO
Elif	BUĞDAYCIOĞLU	İMO
Rezan	BULUT	İMO
Zühtü	KAYALI	İMO

- ÇOK KATLI DÜZLEM ÇERÇEVELERİN İKİNCİ MERTEBE STATİK VE DİNAMİK HESABI İÇİN PRATİK BİR YAKLAŞIM
  Kanat Burak BOZDOĞAN, Ayhan NUHOĞLU 55
- ÇOK KATLI ASİMETRİK YAPILARIN PERİYOT VE MODLARININ TAŞIMA MATRİSİ YÖNTEMİNE GÖRE HESABI
  Kanat Burak BOZDOĞAN, Duygu ÖZTÜRK 58
- YER HAREKETİNDEKİ DEĞİŞİMİN GERÇEK YER HAREKETİNE BAĞLI OLARAK BELİRLENDİĞİ KABLOLU KÖPRÜLERİN RASGELE TİTREŞİM ANALİZİ
  Kurtuluş SOYLUK, A.Aydın DUMANOĞLU 61
- DÜZLEM ÇERÇEVELERİN II. MERTEBE ELASTOPLASTİK HESABI İLE KUVVETLİ KOLON - ZAYIF KİRİŞ DÜZENİNİN SAĞLANMASI
  M. Emin ÖNCÜ, Ahmet BUDAK 66
- BETONARME DÜZLEM ÇERÇEVE SİSTEMLERİN İTME ANALİZİNDE YAPAY SİNİR AĞLARI
  Mehmet Aydın KÖMÜR, Naci ÇAĞLAR, Muzaffer ELMAS 69
- BETONARME KİRİŞLERİN KARBON ELYAFLA GÜÇLENDİRİLMESİ ÜZERİNE DENEYSEL BİR ARAŞTIRMA
  Mehmet Selim ÖKTEN, Kaya ÖZGEN, Mehmet UYAN 73
- BAĞLANTI ESNEKLİĞİNİN ÇOK SIRA BOŞLUKLU PERDELERİN DİNAMİK DAVRANIŞINA ETKİLERİ
  Orhan AKSOĞAN, Murat BİKÇE 77
- DOĞU KARADENİZ BÖLGESİNDEKİ ÇATILARIN OPTİMUM KAR YÜKLERİNİN BELİRLENMESİ
  Mustafa DURMAZ, Ayşe DALOĞLU 97
- BETONARME YAPI ELEMANLARININ YANGIN BAŞARIMLARI
  Oğuz BURNAZ, Ahmet DURMUŞ 100
- UÇUCU KÜLLÜ BETONLARIN DONMA-ÇÖZÜLME ETKİSİNDE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI
  Osman ÜNAL, Tayfun UYGUNOĞLU 103
- YARI RİJİT BİRLEŞİMLİ ÇELİK ÇERÇEVELERİN ANALİZİ
  Özgür BOZDAĞ, Mutlu SEÇER 109
- PROJE DIŞI EKLENEN KATLARIN TAŞIYICI SİSTEME ETKİLERİ
  Serap KAHRAMAN, Mesut KELEŞ 112
- GENETİK ALGORİTMA İLE ÇELİK DÜZLEM ÇERÇEVELERİN OPTİMİZASYONU
  Serkan BEKİROĞLU, Yusuf AYVAZ, Tayfun DEDE 115

- ÇELİK PLAKALI ELASTOMERİK KÖPRÜ YASTIKLARININ DÜŞÜK SICAKLIK KAYMA DENEYLERİ
  Seval PINARBAŞI, Uğurhan AKYÜZ 118
- BETONARME KİRİŞLERİN DIŞTAN YAPIŞTIRILAN ÇELİK LEVHALARLA KESMEYE KARŞI GÜÇLENDİRİLMESİ
  Sinan ALTIN, Özgür ANIL, M. Emin KARA 124
- SÜRTÜNMELİ SARKAÇ MESNET MODELİ İLE TABAN İZOLASYONU YAPILAN KÖPRÜLERİN DEPREM DAVRANIŞININ BELİRLENMESİ
  Şevket ATEŞ, Alemdar BAYRAKTAR, A. Aydın DUMANOĞLU 129
- BURULMA DÜZENSİZLİĞİ OLAN ÇOK KATLI BETONARME BİR YAPININ DEPREM DAVRANIŞININ İNCELENMESİ
  Turgut ÖZTÜRK, Alper ERDURMAZ 131
- ÇOK KATLI ÜÇ BOYUTLU ÇERÇEVE SİSTEMLERİNİN SERBEST TİTREŞİM MOD VE PERİYOTLARININ TAYİNİ İÇİN PRATİK BİR YÖNTEM
  Ümit ÇELEBİ 134
- HAFİF VE NORMAL BETONDAN YAPILMIŞ ÇİFT KONSOL NUMUNELERİN BASINÇ GÖÇMESİNDE BOYUT ETKİSİ
  Varol KOÇ, Sıddık ŞENER 137
- ÇELİK KAFES KÖPRÜ KİRİŞLERİNİN GENETİK ALGORİTMA İLE OPTİMUM TASARIMI
  Vedat TOĞAN, Ayşe DALOĞLU 142
- KİREÇ TAŞIYLA YAPILMIŞ BOŞLUKLU ÖRGÜLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ
  Ziyafeddin BABAYEV, Yüksel TAŞDEMİR, İbrahim MURAT, Abdı KARAYEV 145
- ARD GERMELİ PREFABRİK KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMLERİNDE ARD GERME DONATISININ MİKTARI VE ARD GERME ORANI ÜZERİNE DENEYSEL ÇALIŞMA
  A. Samet ARSLAN, Mustafa KAYA, Birol DOYRANLI 149
- PERFORMANSA DAYALI TASARIM VE İSTANBUL ÇEVRE YOLU VİYADÜKLERİ İLE İLGİLİ BİR UYGULAMA
  Serhat YALÇIN, A. Necmettin GÜNDÜZ 153
- DİKDÖRTGEN SONLU ELEMAN FORMÜLASYONU
  Namık Kemal ÖZTORUN 158
- GENİŞ ALAN DEPREM MASTER PLANI HAZIRLANMASI VE RİSK YÖNETİMİ İÇİN YENİ BİR YÖNTEM (BAKIRKÖY ÖRNEĞİ)
  Tuncer ÇELİK, Namık Kemal ÖZTORUN 177

- YAPILARIN HIZLI DURUM TESPİTİ İÇİN GELİŞTİRİLEN UZMAN BİLGİSAYAR PROGRAMI DURTES İLE GENEL AMAÇLI SONLU ELEMAN PROGRAMLARININ ENTEGRASYONU
  Rasim TEMUR, N. Kemal ÖZTORUN 184
- BİR HASTANE BİNASI ÖRNEĞİNDE HIZLI DURUM TESPİTİ, DETAYLI ANALİZİ VE GÜÇLENDİRME YÖNTEMİ
  Ö.Faruk KÜLTÜR, N. Kemal ÖZTORUN 190
- İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ AVCILAR KAMPÜSÜ A BLOKLARI ÖRNEĞİNDE MERDİVENLERİN YAPI DAVRANIŞINA ÜÇ BOYUTLU ETKİLERİ ÇOK KATLI YAPILARDA MERDİVENLERİN 3 BOYUTLU İNCELENMESİ VE YAPI DAVRANIŞINA ETKİLERİ
  Cüneyt ÖNGÖREN, N. Kemal ÖZTORUN 194
- DOLGU BARAJLARIN BİLGİSAYARLA METRAJ VE KÜBAJ HESAPLARI İÇİN BİR YÖNTEM
  Haldun ÖZCAN, N. Kemal ÖZTORUN 205
- SONLU ELEMANLAR METODUYLA KARACAÖREN I TOPRAK DOLGU BARAJINDA GERİLME VE DEPLASMANLARIN HESAPLANMASI
  Nuri Seçkin KAYIKÇI 210
- KISMEN ÖNGERİLMELİ YÜKSEK BAŞARIMLI BETON KİRİŞLERİN EĞİLMEDE DAVRANIŞLARI
  Yasemin AKGÜN, Ahmet DURMUŞ 217
- KİRİŞLİ DÖŞEMELİ BETONARME YAPILARDA DÖŞEME BOŞLUKLARININ KAT DEPLASMANLARINA ETKİSİ
  İbrahim ÖZSOY, Adnan KUYUCULAR 222
- BİNA-UÇAK ÇARPMASI PROBLEMİNİN BİLGİSAYAR ORTAMINDA SİMÜLASYONU
  Sami A. KILIÇ, Mete A. SÖZEN, Voicu POPESCU, Chris HOFFMANN 227
- DEPREM BÖLGELERİNDE PREFABRİKE PANOLU YAPILARIN TASARIM İLKELERİ
  Turgut ÖZTÜRK 234

GENETİK ALGORİTMA İLE ÇELİK DÜZLEM ÇERÇEVELERİN OPTİMİZASYONU

Serkan BEKİROĞLU
KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Trabzon
bserkan@ktu.edu.tr

Yusuf AYVAZ
KTÜ, Müh. Mim. Fak., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon
ayvaz@ktu.edu.tr

Tayfun DEDE
KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Trabzon
dtayfun@ktu.edu.tr

1. GİRİŞ

Günümüze değin yapı problemlerinin neler olduğu tespit edilmeye çalışılmış ve onlara çözümler aranmıştır. Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında en çok söz sahibi olacak zaaflar ortaya çıkarılmıştır. Ayrıca yapının maruz kalacağı dış kuvvetlerin karakteristikleri ve ne tür etkiler yaratabilecekleri belirlenmiştir. Bunların yanı sıra malzeme biliminde de çok ilerleme kaydedilmiştir. Taşıyıcı elemanlar önceleri taş ve topraktan oluşturulurken, artık çelik, betonarme ve kompozit elemanlardan meydana gelebilmektedir. Malzeme, eleman ve dış etkilerin keşfedilen karakteristiklerindeki gelişmelere bağlı olarak, yapılar tasarlanırken dikkate alınan unsurların sayısı artmakta ve karar verme işlemi zorlaşmaktadır. Mühendislikte problemleri basite indirgeme iç güdüsünden hareketle, karar verme mekanizmasını daha etkin kılabilmek amacıyla yapı tasarımında yeniliğe gidilmektedir. Her şeyin sınırlı miktarlarda varolduğu dünyada amacına hizmet edecek yapının, sisteminin, taşıyıcı elemanlar için kullanılacak malzemenin ve yapıya etkiyecek dış etkenlerin etkin bir biçimde belirlenmesi gereklidir. Bu bağlamda optimum tasarıma bir yöneliş vardır. Optimum tasarım, mevcut olabilecek alternatiflerin arasından istenilen kriterleri en uygun olanıdır. En uygunun bulunması, elle hesabı imkansız sayılacak sayıda alternatiflerin olduğu bir döngüden oluşmaktadır. Ancak bilgisayarların gelişimi ile birlikte optimum tasarımın kısa zamanda yapılması mümkün hale gelmiştir. Optimum yapısal tasarım alanındaki araştırmalar, yapısal tasarımın vazgeçilemez bir unsur olması, tasarım sürecinin kısaltılmaya çalışılması, bilgisayar yardımıyla tasarımın cazibeli hale getirilmesi ve tasarım sürecinin ekonomi ve zaman açısından önemli oluşu gibi birçok nedenden dolayı, son kırk yıl içerisinde büyük ivme kazanarak etkin bir biçimde sürdürülmektedir (Chen, 1997). Evrimsel yaklaşımlardan biri olan Genetik Algoritma (GA) da, bu arayışlar içinde önemli bir yer tutmaya başlamıştır (Emel ve Taşkın, 2002). GA, bir sistem veya problemin çözümü olabilecek mümkün alternatiflerden istenilen kriterler doğrultusunda ideal sonuç üreten bir optimizasyon yöntemidir. Yöntem gereğince problemin olası çözüm kümeleri doğadaki canlı topluluklarına benzetilmekte olup hayatta kalma mücadelesi bu topluluklarda taklit edilmektedir. Yaşam süresince ortaya çıkan engeller,

toplum içindeki yaşam gücü fazla olan bireylerin toplum içinde sivrilmesini, az olanların ise toplumdan elimine edilmesini sağlamaktadır. Toplulukların tümü, bir problemde mümkün olan çözüm kümelerini temsil edecek olursa GA bu çözüm kümelerinden herhangi birinden başlayarak toplumlar arasında yaşam gücü en yüksek olan bireyi bulmaya çalışmaktadır. Gerçek yaşamda bireylerin karakteristiklerini belirleyen birçok faktör bulunmaktadır. Dolayısıyla çeşitlilik yani olasılık çok fazla olduğundan en iyi bireyi bulmak kolay olmamaktadır. Ancak mühendislik alanında dikkate alınan problemlerde bu faktörlerin sayısı gerçek hayattaki kadar fazla değildir. Örneğin yapı elemanlarının boyutlandırılması, belirlenen yükler ve bunları dikkate alacak yüklemeler altında elemanların konumundan etkilenen ve sistemin davranışını belirleyen bir öneme haizdir. Tasarımın en başında bile yükler belirlenirken eleman boyutlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Eleman sayısı fazla olan sistemler düşünüldüğünde ön boyutlandırma dahi karar vermesi güç bir safhadır. Çünkü verilecek ön boyutlara göre sistemlerin yükü belirlemeli, yapısal çözümleme yapılmalı ve eleman ile sistem bazında bazı kriterleri sağlayıp sağlamadıkları kontrol edilmelidir. Tüm bu işlemler bir elemanın boyutu bile değişse yeniden yapılmak durumundadır. Böylesine büyük bir işlem hacmini elle yapmak kolay olmadığı gibi bilgisayarlarda hazırlanan programlarla bile her defasında veri girişi yapılması gerektiğinden oldukça güç olmaktadır. Birde çözüm olarak sunulan boyutlandırmanın gerçekten arzu edilen kriterleri sağlayan en iyi çözüm olup olmadığı bütün alternatifler dikkate alınamadığından cevabı bilinmeyen bir sorudur. GA yapısı itibariyle ifade edilen bu soruya en gerçekçi cevabı verebilecek optimizasyon aracıdır. Bu çalışmada da GA'nın boyutlandırmada ne denli etkin olduğunu göstermek için çelik çerçeveler üzerinde gerçekleştirilen algoritma ile çözümler aranmaktadır.

2. ÇALIŞMA YÖNTEMİ

GA'nın işlem sürecinde amaç fonksiyonu ve sınırlayıcılar gibi gereksinimleri vardır. Düzlem çelik çerçevelerin optimum boyutlandırılmasında, sistem ağırlığı amaç fonksiyonu şeklinde düşünülmüş olup eleman bazında gerilme ve stabilite tahkikleri ile sehim kontrolü, ayrıca sistem bazında maksimum yerdeğiştirme ve düşey elemanlarda enkesit boyutları bakımından uygunluğun sağlanıp sağlanmadığını ölçen geometrik uygunluklar ise sınırlayıcı olarak dikkate alınmaktadır. Gerilme, stabilite ve sehim için denetimler AISC-ASD ve TS 648'e göre yapılmaktadır. Bir tek popülasyon ile çalışılmış olup popülasyonun potansiyelinden faydalanarak aday çözümleri oluşturmak için kopyalama, çaprazlama operatörleri ve potansiyeli arttırmak için mutasyon operatörü kullanılmaktadır. Çaprazlama için çok noktalı çaprazlama operatörü, mutasyon için de akıllı mutasyon tercih edilmektedir.

GA'da sürekli veya ayrık değerler ile optimizasyon yapmak mümkündür. Fakat problemin özelliği nedeniyle elemanlar için kullanılacak hazır üretilmiş profiller mevcut olduğundan ayrık değer ile optimizasyon uygun görülmektedir. Çözümleri oluşturan ayrık karakteristiklerin, operatörlerin uygulandığı çözümlerin kodlanmış hali olan genotip ve veri tabanındaki yani profil listesindeki bilgilere ulaşmasını sağlayan çözümlerin gerçek çözümleri olan fenotip olmak üzere iki farklı temsil türü vardır. Genotip formu için değer kodlaması kullanılmıştır. Ayrıca bu çalışmada GA ile optimizasyonu gerçekleştirilecek düzlem çelik çerçeve sistemleri oluşturan yapı elemanları için TS veya AISC-ASD'de yer alan I profiller kullanılmaktadır.

3. BULGULAR

Bu operatör türlerinin GA'nın optimum çözümü bulma yeteneğini artırarak daha kısa zamanda çözüme ulaşmaktadır. Bu operatörlerin olası çözümler içerisinde arama yapma kapasitesini arttırdığı ve çözümleri değerlendirmede bir bütünlük arz ettiği görülmektedir. Ayrıca değer kodlaması, problemin karakteristiklerinin tek bir tamsayı ile temsiline imkan tanıdığı için, özellikle büyük sistemlerin optimizasyonunda gerek hesap hacmi gerekse de bilgisayar hafızası bakımından avantajlar sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

- Yoshimoto, F., Harada, T. And Yoshimoto, Y., "Data Fitting with A Spline Using A Real-Coded Genetic Algorithm" , Computer-aided design, Elsevier Science Ltd., 2003
- Jenkins, W. M., "A Decimal-Coded Evolutionary Algorithm for Constrained Optimization" , Computer & Structures, pp. 471-480, 2002
- Chen, S. Y.,"Using Genetic Algorithms for The Optimal Design of Structural Systems" ,Ph. D. Dissertation, Arizona State University, 1997
- Erbatur, F. and Al-hussainy, M. M., "Optimum Design of Frames" , Computers & Structures Vol. 45, No. 5/6, pp. 887-891, 1992

GENETİK ALGORİTMA İLE DÜZLEM ÇELİK ÇERÇEVELERİN OPTİMİZASYONU

Serkan BEKİROĞLU
Arş. Gör.
Karadeniz Teknik Üniversitesi
Trabzon,Türkiye

Yusuf AYVAZ
Prof. Dr.
Karadeniz Teknik Üniversitesi
Trabzon,Türkiye

Tayfun DEDE
Arş. Gör.
Karadeniz Teknik Üniversitesi
Trabzon,Türkiye

ÖZET

Günümüzün karmaşık ve zor problemleri, hızlı ve kolay sonuç veren yeni çözüm yöntemleri arayışına neden olmuştur. Bu arayışlar içinde önemli yeri olan evrimsel yaklaşımlardan biri de genetik algoritmalardır (GA). GA, doğal seçilim ilkelerine dayanan mekanizma yardımıyla arama yapan bir optimizasyon yöntemidir. Bu çalışmada GA ile düzlem çelik çerçevelerin AISC-ASD ve TS 648'e göre minimum ağırlıklı tasarımları yapılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan algoritma, çok noktalı çaprazlama ve akıllı mutasyon operatörleri ile genişletilmiştir. Tasarımlarda gerilme, yerdeğiştirme, stabilite, sehim ve geometrik şartlar sınırlayıcılar olarak dikkate alınmaktadır. Çalışmada, çok noktalı çaprazlama ve akıllı mutasyon gibi yeni tip operatörlerin GA'nın performansını artırdığı görülmüştür.

GİRİŞ

GA, bir sistem veya problemin çözümü olabilecek mümkün alternatiflerden istenilen kriterler doğrultusunda ideal sonuç arayan bir optimizasyon yöntemidir. Yöntem gereğince, problemin olası çözümleri hayatta kalmak için mücadele eden canlı topluluklarına benzetilmektedir. Yaşam süresince ortaya çıkan engeller, toplum içindeki yaşam gücü fazla olan bireylerin toplum içinde sivrilmesine, az olanların ise toplumdan elimine edilmesine neden olmaktadır. Bunun sonucunda zorluklara karşı koyan bireylerin

çoğunlukta olduğu topluluklar oluşturulmaktadır. Toplulukların tümü, bir problemde mümkün olan çözüm kümelerini temsil edecek olursa, GA, bu çözüm kümelerinin herhangi birinden başlayarak topluluklar arasında yaşam gücü en yüksek olan bireyi bulmaya çalışmaktadır. Gerçek yaşamda bireylerin karakteristiklerini belirleyen bir çok faktör bulunmaktadır. Dolayısıyla çeşitlilik yani olasılık çok fazla olduğundan en iyi bireyi bulmak kolay olmamaktadır. Ancak mühendislik alanında dikkate alınan problemlerde bu faktörlerin sayısı gerçek hayattaki kadar fazla değildir. Örneğin yapı elemanlarının boyutlandırılması, belirlenen yükler ve bunları dikkate alacak yüklemeler altında elemanların konumundan etkilenen ve sistemin davranışını belirleyen bir öneme haizdir. Tasarımın en başında bile yükler belirlenirken, eleman boyutlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Eleman sayısı fazla olan sistemler düşünüldüğünde ön boyutlandırma işlemi, karar vermesi güç bir safhadır. Çünkü verilecek ön boyutlara göre sistemlerin yükü belirlenmeli, yapısal çözümleme yapılmalı ve eleman ile sistem bazında kriterlerin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmelidir. Tüm bu işlemler bir eleman boyutu bile değişse yeniden yapılmak durumundadır. Böylesine büyük bir işlem hacminin elle hesabı kolay olmadığı gibi, bilgisayarlarda hazırlanan programlarla bile her defasında veri girişi yapılması dahi oldukça güçtür. Ayrıca çözüm olarak sunulan boyutlandırmanın, bütün çözümler dikkate alınamadığından, gerçekten arzu edilen kriterleri sağlayan bir en iyinin olup olmadığı bilinememektedir. GA yapısı itibariyle ifade edilen bu problemlere en gerçekçi cevabı verebilecek optimizasyon araçlarından biridir.

Genetik Algoritma ve Optimizasyon

Yüksek uygunluktaki çözümlerin yeni çözümler üretmek üzere çoğaltıldığı ve onlara genetik operatörlerin uygulanıp daha kapsamlı ve etkin çözümlerin bulunduğu [1] GA, problemin çözümlerini oluşturan değişkenleri içeren dizilerden meydana gelen toplulukta araştırma yaparken; tasarım değişkenleri de problem için dikkate alınacak ayrık değerlerin mevcut olduğu bilgi kümesinde (veri tabanında) karşılıklarını aramaktadır. Araştırma uzayını oluşturan dizilerden araştırmanın başlangıcında keyfi şekilde seçim yapıp ilk topluluk oluşturulmaktadır [2]. Aday çözümlerin yani bireylerin uygunlukları, sınırlayıcılara karşı gösterdikleri performans ve amaç fonksiyonu arasındaki ilişkiye bağlı olarak belirlenmektedir. Her bireyin uygunluğu, sınırlayıcıların sağlanıp sağlanmamasına bağlı olarak amaç fonksiyonunda ihlallerin performanslarını karakterize eden bir ceza fonksiyonu aracılığıyla indirgenmektedir. Böylelikle bireyler için, problemlere çözüm olma kapasitelerine sayısal olarak karşılık gelen skaler bir değer, yani uygunluk bulunmaktadır [1]. GA yapısı gereği, popülasyon ortalamasının üstünde uyum gücü

gösteremeyen kötü bireyleri yani uygun olmayan çözümleri, operatörleri sayesinde elemekte diğer uyumu yüksek dizileri ise zamanın ilerlemesiyle çoğaltmaktadır. Bu çoğalma, genetik işlemler aracılığı ile gerçekleşmekte ve sonucunda ebeveynlerden daha üstün özellikler taşıyan bireyler ortaya çıkmaktadır. Çözüm kalitesinin nesilden nesile artması, başarısız olan bireylerin kopyalanma şanslarının azaltılmasıyla birlikte kötüye gidişi engellemektedir. GA'nın yapısı kötüye gidişi engellemekle kalmamakta, zaman içinde hızlı bir iyiye gidişe de olanak sağlayabilmektedir. Bu işlemler, bir döngü içerisinde, durdurma kriteri sağlanana kadar devam ettirilmektedir.

Çok Noktalı Çaprazlama

Bu çaprazlama türü her türlü dizi temsiline (kodlamaya) uygulanabilmektedir. Ebeveynler üzerinde keyfi sayıda tasarım değişkenine karşılık gelen karakter veya karakterler dizisi seçilir. Bireyler arasında seçilen kısımlar değiş tokuş edilerek çocuklar oluşturulmaktadır. Diğer çaprazlama yöntemlerine göre popülasyonun çözüm bulma potansiyelini en etkin biçimde kullanmaktadır. Yoshimoto vd. [3] reel kodlamada kullanmak üzere, yeni bir yöntem kullanmışlardır. İşleyiş tarzı gereği çok noktalı çaprazlama operatörüne benzeyen bu yöntem en iyi bireyin en yüksek uygunluğa sahip olduğu düşüncesi ile birlikte diğer kodlama türleri için de kullanılması için yeniden düzenlenmiştir. Yöntemin çok noktalı çaprazlamadan farkı, değiştirilecek kısımların sayısına keyfi değil de bireylerin uygunluklarının söz sahibi olduğu bir çaprazlama oranı ile karar verilmesidir. P_c çaprazlama olasılığını; f_{max} maksimum uygunluğu, $\bar{f}$ ortalama uygunluk değerini, f'çaprazlanacak iki bireyin en büyük uygunlukluklu olanın uygunluğunu göstermek üzere

$$P_c = \begin{cases} \left(f_{max} - f'\right) \Big/ \left(f_{max} - \bar{f}\right) & \left(f' \geq \bar{f}\right) \\ 1 & \left(f' < \bar{f}\right) \end{cases} \qquad (1)$$

bağıntısı ile verilmektedir. Uygunluğu $\bar{f}$'e eşit olan veya daha büyük olan bireyler çaprazlanır. Çaprazlama olasılığı f', f_{max}'a yaklaştıkça küçülmekte ve hatta sıfır olabilmektedir. Bu operatörle amaç birey uygunluğu iyiye gittikçe çaprazlama operatörünün etkinliğini azaltarak o bireyin popülasyonda hayatta kalma şansını artırmaktadır. Ayrıca popülasyonda yakınsama arttıkça bireyler iyiye doğru gittiklerinden çaprazlama oranı sıfıra yaklaşmaktadır [4].

Akıllı Mutasyon

Mutasyona uğrayacak karakterlerin seçilme olasılığı mutasyon olasılığı parametresi tarafından kontrol edilmektedir. Mutasyon olasılığının gereğinden fazla artması, genetik aramayı; kayıp genetik malzemeyi bulmaktan ziyade, keyfi bir aramaya dönüştürebilmektedir [5]. Yoshimoto vd. [3] ayrıca mutasyon olasılığı için de bir formülasyon gerçekleştirmişlerdir. Bu formülasyona göre mutasyon olasılığı

$$P_m = \begin{cases} 0{,}5\left(f_{max} - f\right) \Big/ \left(f_{max} - \bar{f}\right) & \left(f \geq \bar{f}\right) \\ 1 & \left(f < \bar{f}\right) \end{cases} \qquad (2)$$

şeklinde yeniden formüle edilmiştir. f birey uygunluğu, $\bar{f}$'den küçük olduğunda %100 mutasyon, $\bar{f}$'ye eşit olduğunda %50 mutasyon yapılmaktadır. Ayrıca f, f_{max}'a yaklaştıkça mutasyon olasılığı sıfıra ulaşmaktadır. Bu formül, birey uygunluğu arttıkça mutasyon olasılığının azalmasını sağlayacak şekilde düzenlenmiştir. Mutasyona uğratılacak birey ve o bireyde kaç tane tasarım değişkeninin olduğu belirlendikten sonra hangi tasarım değişkenlerinin seçilmesi gerektiği sorusuna cevap aranmalıdır. Genelde bu işlem keyfi olarak yapılmaktadır. Fakat mutasyon aracılığıyla bireyin uygunluğunu düşüren tasarım değişkenlerinin tümünün veya bir kısmının değişimi yapılırken, bireye daha az ceza getiren bir tasarım değişkeni de değiştirilebilmektedir. Bu yersiz işlem optimizasyon işlemini zaman açısından olumsuz yönde etkilemektedir. Hangi tasarım değişkeninin mutasyona uğrayacağına karar verirken onların aldığı ihlaller göz önünde tutulup bir sıralama yapılmalı ve belirlenen sayı kadar en fazla ihlal yapan tasarım değişkeninden başlanmalıdır [4]. Bu işlemi yapan mutasyon türü "Akıllı Mutasyon"dur. Jenkins [6] çalışmasında akıllı mutasyonu kullanmıştır. Ancak ona göre akıllı mutasyon bir sınırlayıcı gibi, gerilmesi yüksek olan elemanın enkesit alanını artırmakta, gerilmesi yeteri kadar az olan elemanın ise enkesit alanını azaltmaktadır.

AMAÇ

Bu çalışmada düzlem çelik çerçeve sistemlerin, Fortran dilinde kodlanan genetik algoritma programı ile optimum tasarımı gerçekleştirilmektedir. Programda, her sistem elemanı için burkulma boyu katsayısı olan k değeri ayrı hesaplanmaktadır. Uygulanan çok noktalı çaprazlama ve akıllı mutasyonun uygulanabilirliğini göstermek amacıyla

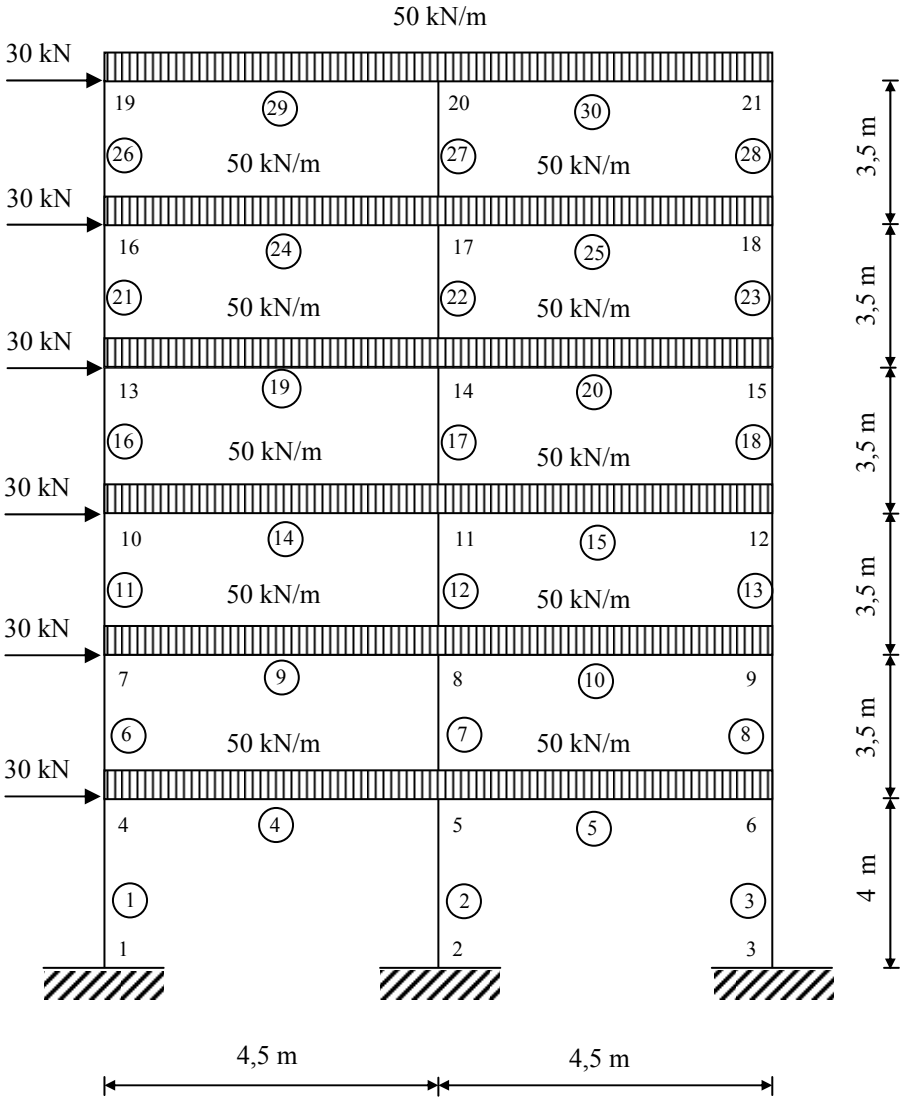
literatürden seçilen örnekler üzerinde elde edilen sonuçlar literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılmaktadır.

DÜZLEM ÇELİK ÇERÇEVELERİN OPTİMİZASYONU

Bu çalışmada çalışmanın amacı doğrultusunda; altı katlı iki açıklıklı, diyagonal kafes elemanlı altı katlı iki açıklıklı ve bir katlı çerçeve sistemler dikkate alınmıştır.

Altı Katlı İki Açıklıklı Çerçeve Sistem

Dikkate alınan altı katlı iki açıklıklı çerçeve sistem Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1. Altı katlı iki açıklıklı çerçeve sistem

Ankastre mesnetler üzerine oturan, bu altı katlı iki açıklıklı çerçeve sistemin TS 648 [7] ve TS 910 [8] dikkate alınarak GA ile optimum boyutlandırılması yapılmaktadır. Çerçevedeki elemanların grup numaralarına ait bilgiler Armutçu'nun [9] çalışmasına paralel olarak Tablo 1'de verilmektedir. Sistemde tüm kirişler üzerinde 50 kN/m'lik düzgün yayılı yük ile kat hizalarında 30 kN'luk yatay tekil yükler tanımlanmaktadır. Çerçevede en üst katta izin verilen maksimum yatay yerdeğiştirme 7,16 cm'dir.

Tablo 1. Altı katlı iki açıklıklı çerçeve sistemin eleman grup numaraları

Grup numarası	1	2	3	4	5
Eleman numarası	1,3,6,8,11,13	16,18,21,23,26,28	2,7,12	17,22,27	4,5,9,10,14,15,19,20,24,25,29,30

Kolonlarda geniş başlıklı I (IPG) profili, kirişlerde ise orta geniş başlıklı I (IPOG) profili kullanılmıştır. Ayrıca ikinci tasarımında kolonlarda orta geniş başlıklı I (IPOG) profili de kullanılmıştır. Bu çalışmada ise Armutçu [9] tarafından kullanılan profillere ek olarak da kolonlarda hafif tip geniş I (IPG_h), orta geniş I (IPOG) profilleri kullanılmaktadır. Analizde elastisite modülü E=21000 kN/cm^2, akma gerilmesi σ_a=36 kN/cm^2 olarak dikkate alınmaktadır. Elemanların ağırlıkları her profil için profil tablolarındaki birim boy ağırlıklarından hesaplanmaktadır. Genetik çözüm için 20 adet birey ile maksimum 300 iterasyona izin verilmiş olup yakınsama oranı %85 olarak dikkate alınmaktadır. Cezalandırılmış amaç fonksiyonu için ceza katsayısı P=2 alınmaktadır. Kodlama türü olarak da değer kodlaması seçilmektedir. Programın altı defa koşturulması ile elde edilen optimizasyon sonuçları Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 2. Altı katlı iki açıklıklı çerçeve sistemin tasarım sonuçları

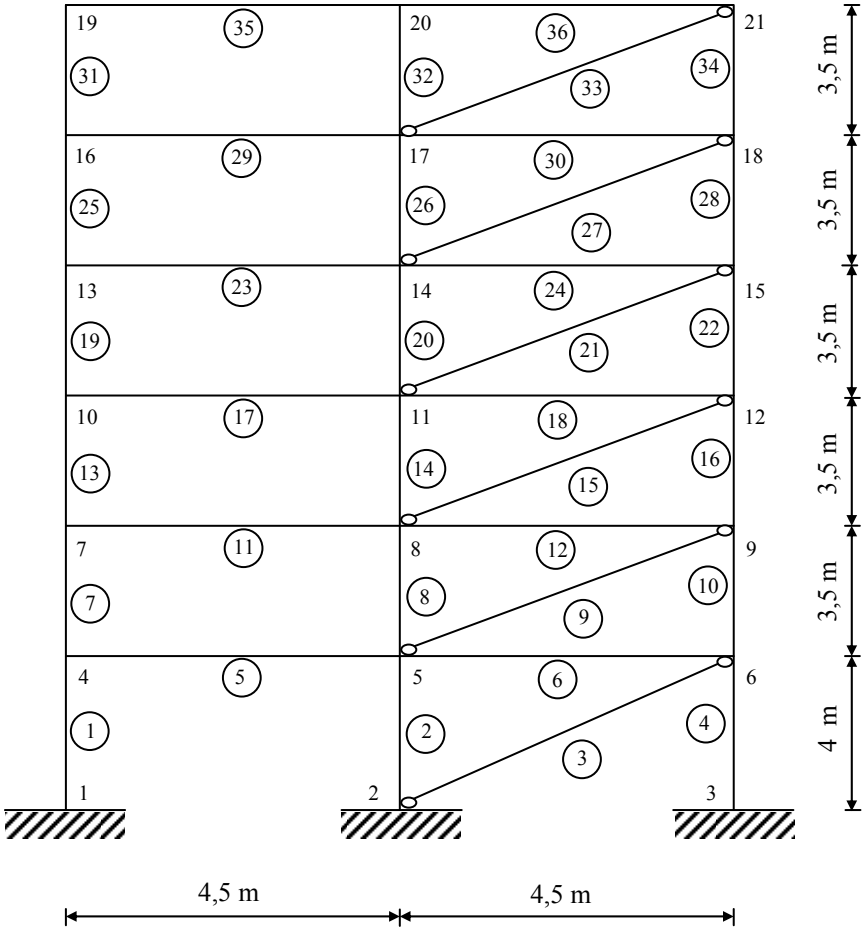
Grup no	1	2	3	4	5	Toplam ağılık (kN)
Armutçu [9] GA (1)	131,00	91,00	254,00	131,00	116,00	119,358
Armutçu [9] GA (2)	156,00	84,50	254,00	134,00	98,80	115,687
Armutçu [9] Opyimumluk Kriteri	119,67	74,15	203,30	92,51	104,42	102,330
Bu çalışma	143,00	72,70	159,00	98,60	98,60	100,433

Bu çalışmada bulunan tasarım 300. iterasyonda % 60 yakınsama ile elde edilmiştir. Kullanılan çok noktalı çaprazlama ve akıllı mutasyon ile optimum sonuca ulaşılırken

iterasyonlar boyunca çok iyi bir bireyin şansız bir mutasyonun veya çaprazlamanın uygulanması sonucu kaybolması ihtimali oldukça azaltılmıştır. Örneğin bulunan tasarım için çok zor olsa da tüm iterasyondaki bireyler hem kullanıcı tarafından taranmış hem de programda oluşturulan ve tüm optimizasyon süresince cezası sıfır olan en hafif bireyin saklandığı bir mekanizmayla taranmış olup sunulan optimum sonuçtan cezası sıfır olan daha hafif bir sonuca rastlanmamıştır. Ayrıca değer kodlaması sayesinde de 20 bireylik bir popülasyonla etkin bir arama gerçekleştirilmiştir. Eğer başka bir kodlama türü kullanılsa idi bu sonuçlara ulaşmak büyük bir olasılıkla ya programın daha fazla koşturulmasına ya da popülasyon büyüklüğünün büyütülmesine neden olabilirdi.

Diyagonal Kafes Elemanlı Altı Katlı İki Açıklıklı Çerçeve Sistem

Ankastre mesnetler üzerine oturan diyagonal kafes elemanlı altı katlı iki açıklıklı çerçeve sistem Şekil 2'de verilmektedir.



Şekil 2. Diyagonal kafes elemanlı altı katlı iki açıklıklı çerçeve sistem

Bu sistem için yapılan optimizasyonda dikkate alınan değerler önceki tasarımdaki sistem ile aynı olup TS 648 [7] ve TS 910 [8] dikkate alınarak GA ile optimum boyutlandırılma yapılmaktadır. Eleman grup numaralarına ait bilgiler Tablo 3'de verilmektedir.

Tablo 3. Diyagonal kafes elemanlı altı katlı iki açıklıklı çerçeve sistemin eleman grup numaraları

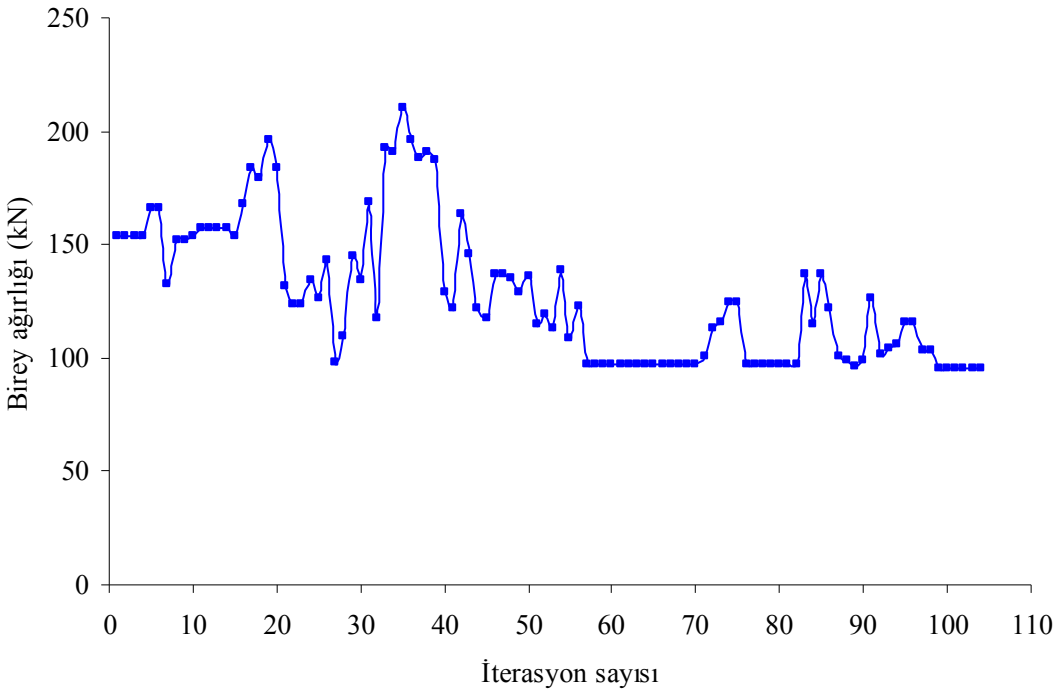
Grup numarası	1	2	3	4	5	6
Eleman numarası	1,4,7,10,13,16	19,22,25,28,31,34	2,8,14	20,26,32	5,6,11,12,17,18,23, 24,29,30,35,36	3,9,15,21,27, 33

Boyutlandırma için kolonlarda geniş başlıklı I (IPG) profilinden 24 adet, kirişler ve diyagonal kafes elemanlarda ise orta geniş başlıklı I (IPOG) profilinden 18 adet kullanılmıştır. Bu tasarıma ait sonuçlar Tablo 4.'de verilmektedir.

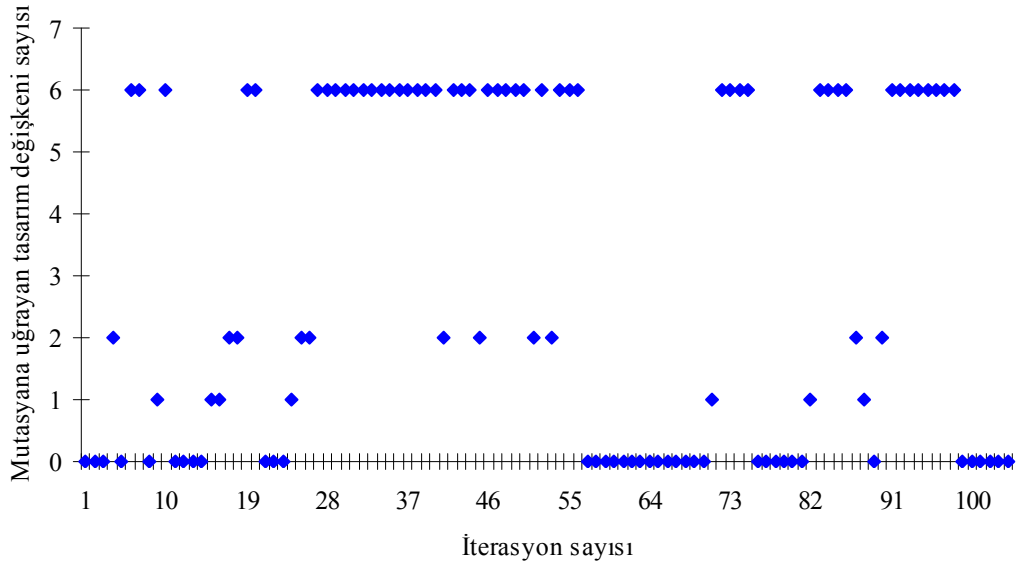
Tablo 4. Diyagonal kafes elemanlı altı katlı iki açıklıklı çerçeve sistemin tasarım sonuçları

Grup no		1	2	3	4	5	6	Toplam ağırlık (kN)
Enkesit alanları (cm^2)	Armutçu GA [9]	131,00	65,30	216,00	106,00	116,00	16,40	114,400
	Bu çalışma	149,00	78,10	181,00	149,00	62,60	10,30	95,829

Bu tabloda verilen tasarım 104. iterasyonda % 85 yakınsama ile W=95,829 kN ağırlığında elde edilmiştir. Şekil 3'de, tasarımın 20. bireyinin ağırlığının iterasyon sayısına göre dğişimi verilmektedir. Birey ağırlığındaki değişimde de cezalandırılmış amaç fonksiyonlarında ifade edilen özellikler gözlenmektedir. Bu şekildeki değişimlerin nedeni Şekil 4'de verilen 20. bireyin mutasyona uğrayan tasarım değişkenleri sayısının iterasyon sayısına bağlı değişimi ile bağdaştırılabilmektedir.



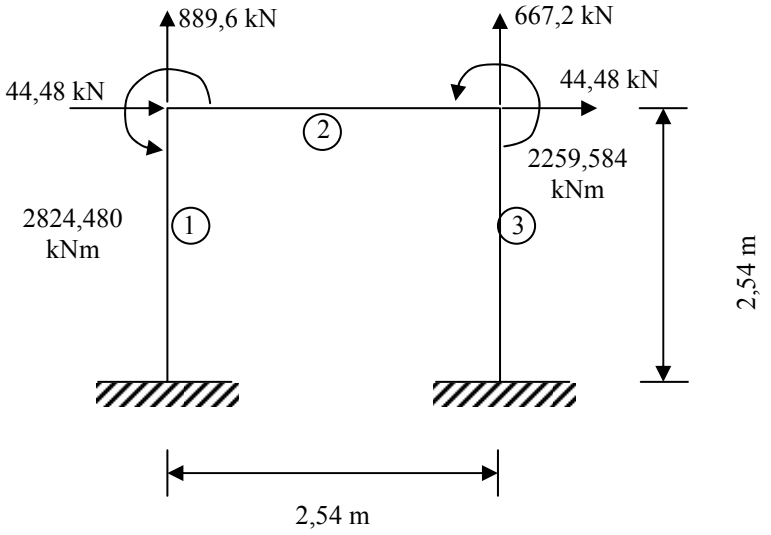
Şekil 3. Optimum tasarıma sahip 20. bireyin ağırlığının iterasyon sayısına bağlı olarak değişimi



Şekil 4. Optimum tasarıma sahip 20. bireyin mutasyona uğrayan tasarım değişkeni sayısının iterasyon sayısına bağlı olarak değişimi

Bir Katlı Bir Açıklıklı Çerçeve Sistem

Şekil 5'de görülen bir katlı bir açıklıklı ankastre mesnetler üzerine oturan çerçeve AISC-ASD'ye [10] göre optimize edilmektedir. Tasarımda bu standartta bulunan 295 adet I profili dikkate alınmakta, sistem için yerdeğiştirme sınırlayıcısı uygulanmamakta ve eleman sayısı az olduğundan gruplandırma yapılmamaktadır.



Şekil 5. Bir katlı bir açıklıklı çerçeve sistem

Sistem kat hizasındaki düğüm noktalarında 44,48 kN (10 kip)'luk yatay tekil kuvvetler, 889,6 kN (200 kip) ve 667,2 kN (150 kip)'luk düşey tekil kuvvetler ile 2824,480 kNm (25000 kip-in) ve 2259, 584 kNm (20000 kip-in)'lik tekil momentlerin etkisindedir. Elastisite modülü E=199,955x10^6 kN/m^2 (29000 ksi), akma gerilmesi σ_a=248220 kN/m^2 (36 ksi) maksimum iterasyon 300, ceza katsayısı P=0,5 olarak dikkate alınmıştır. Bu çerçeve sistemin tasarım sonuçları karşılaştırmalı olarak Tablo 5'de verilmektedir.

Tablo 5. Bir katlı bir açıklıklı çerçeve sistemin tasarım sonuçları

Grup no	Enkesit alanları (cm^2)					
	Briggs ve Willmert [11]	Erbatur ve Al-hussainy [11]	Tütüncü GA (1) [11]	Tütüncü GA (2) [11]	Tütüncü GA (3) [11]	Bu çalışma
1	127,355	247,096	246,451	160,000	159,355	144,516
2	679,870	493,547	462,580	472,902	469,676	508,386
3	194,387	204,516	210,967	220,645	206,451	235,483
Hacim (cm^3)	254409	240070	233680	216801	212212	225650

Bu tablodan görüldüğü gibi, belirlenen V=225650 cm^3 değerindeki hacim izin verilen maksimum iterasyon sayısı olan 200. iterasyonda % 50'lik bir yakınsamayla optimum sonuç olarak bulunmuştur.

SONUÇ

Çok noktalı çaprazlama ve akıllı mutasyon gibi yeni tip genetik operatörlerin kullanılmasıyla gerçekleştirilen bu çalışmadan elde edilen bulgulardan çıkarılabilecek başlıca sonuçlar aşağıda verilmektedir.

- Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, GA'nın düzlem çelik çerçevelerin optimizasyonunda kullanılabilir olduğunu göstermektedir.
- GA'da ayrık tasarım değişkenleri ile çalışılabildiği için bulunan tasarım sonuçları değiştirilmeden kullanılabilmektedir.
- Yakınsama kriterinin tek başına kullanımı bazen optimizasyon sürecinde gereksiz zaman kaybına neden olmaktadır. Yakınsamanın sağlanmaması optimum sonuca ulaşmayı engellememektedir. Düşük yakınsama oranlarında dahi, ideal çözümler bulunabilmektedir. Dolayısıyla yakınsama kriteri programı sonlandıran tek kriter olmamalıdır. Yakınsama kriterinin yanında ikinci bir sonlandırma kriterinin kullanılmasında fayda bulunmaktadır.
- Optimizasyon boyunca baskın olan çözümün optimizasyon sürecindeki en ideal sonuç ile aynı olmaması, uygulanan genetik operatör türlerinden kaynaklanabilmektedir. Bu çalışma için seçilen çok noktalı çaprazlama ve akıllı mutasyon sayesinde baskın gelen bireyin, programın koşturulması boyunca elde edilen uygulanabilir çözümlerin en ideali ile aynı olması sağlanmaktadır. Böylelikle, bu operatörlerin GA'nın performansını arttırdığı görülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Rasheed, K. M., GADO: A Genetic Algorithm for Continuous Design Optimization, Ph. D. Dissertation, The State University of New Jersey, 1998.

2. Cao, G., Optimized Design of Framed Structures Using a Genetic Algorithm, Ph. D. Dissertation, The University of Memphis, 1996.

3. Yoshimoto, F., Harada, T. ve Yoshimoto, Y., Data Fitting with A Spline Using A Real-Coded Genetic Algorithm, Computer-Aided Design, Elsevier Science, 2003.

4. Bekiroğlu, S., Genetik Algoritma ile Çelik Çerçevelerin Optimum Boyutlandırılması, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2003.

5. Emel, G. ve Taşkın, Ç., Genetik Algoritmalar ve Uygulama Alanları, Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi Cilt XXI, Sayı 1, S. 29-152, 2002.

6. Jenkins, W. M., A Decimal-Coded Evolutionary Algorithm for Constrained Optimization, Computer & Structures, pp. 471-480, 2002.

7. TS 648, Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, T.S.E., Ankara, 1982.

8. TS 910, Çelik I Profilleri Sıcak Haddelenmiş, T.S.E., Ankara, 1982.

9. Armutçu, M., Çelik Çerçevelerin Genetik Algoritma ile Optimizasyonu, Yüksek LisansTezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1997.

10. Manuel of Steel Construction – Allowable Steel Design, 9th Ed., Am. Inst.of Steel Constr., Chicago, III, 1989.

11. Tütüncü, İ., Optimization of Steel Frames by Genetic Algorithms, M. Sc., Thesis, The Middle East Technical University, Ankara, 1995.