



**EDUCATIONAL SOFTWARE DEVELOPMENT FOR DESING OF STEEL
STRUCTURES LESSON**

Orkun YILMAZ*, Abdurrahman ŞAHİN

Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Esenler-İSTANBUL

Received/Geliş: 15.07.2013 Revised/Düzelme: 11.08.2013 Accepted/Kabul: 23.08.2013

ABSTRACT

In this paper, new educational software developed for Design of Steel Structures lesson is presented. The software is named as STR2 and developed by using MATLAB which is a mathematical tool. All design steps can be monitored by using the software. To analyze the structure, the user do not assign loads to joints and elements, self-load of system, snow load and wind load are assigned to system automatically. Finite Element Method is used for structural analysis. The structural system can be designed according to TS648.

Keywords: Finite element method, educational software, design of steel structures.

ÇELİK YAPI TASARIMI DERSİ İÇİN EĞİTİM PROGRAMI GELİŞTİRİLMESİ

ÖZET

Bu makalede, Çelik Yapı Tasarımı dersi için geliştirilen yeni bir eğitim yazılımı sunulmaktadır. Bilgisayar programına STR2 adı verilmiştir ve program matematiksel bir araç olan MATLAB kullanılarak geliştirilmiştir. Bütün tasarım aşamaları program kullanılarak izlenebilir. Yapının analizi için kullanıcı, düğüm noktalarına ve elemanlara yük atamamakta; sistemin zati yükü, kar yükü ve rüzgâr yükü sisteme otomatik olarak atanmaktadır. Yapı analizi için Sonlu Elemanlar Yöntemi kullanılmaktadır. Yapı sistemi, TS648'e göre boyutlandırılabilir.

Anahtar Sözcükler: Sonlu elemanlar yöntemi, eğitim programı, çelik yapıların tasarımı.

1. GİRİŞ

Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde okutulan Çelik Yapı Tasarımı dersi kapsamında öğrencilere tasarımı yaptırılan çelik yapı, büyük hacimleri örten, fabrika, depo vb. olarak kullanılabilen, tek katlı yapıdır ve çatı elemanı ve kolonlardan meydana gelmektedir. Çatı elemanı; çatı örtüsü, aşık, makas gibi taşıyıcı elemanlardan meydana gelmektedir [1].

Sisteme yukarıdan etkiyen yükler, önce çatı örtüsüne, oradan aşıklara ve çatı makasına, sonra kolonlara ve buradan da zemine aktarılır. Yatay kuvvetler ise çaprazlar ve kuşaklar aracılığı ile kolonlar tarafından zemine aktarılır [2].

Bu dersin öğrenciler tarafından daha öğretici olmasını amaçlayan bir yazılım geliştirilmiştir. STR2 adındaki bu yazılımın hızlı ve kolay veri girişi ve sonuç gösterme özelliği ile proje sonuçları hızlı bir şekilde kontrol edilebilmektedir. Veri girişi yapıldıktan sonra, sisteme

*Corresponding Author/Sorumlu Yazar: e-mail/e-ileti: yilmazo@yildiz.edu.tr, tel: (212) 383 52 08

etkiyen yükler hesaplanarak sistemin her bir yükleme için analizi yapılır ve TS648'e uygun olarak boyutlandırılır. Projede kullanılan veriler hızlı bir şekilde değiştirilerek, değiştirilen bir verinin sonuçları nasıl değiştirdiği gözlemlenebilmektedir.

2. AŞIKLARIN TAHKİKİ

Aşıklar çatı yüklerini makasa aktaran elemanlardır.

1 no'lu eşitlik yardımı ile aşığın üzerine etkiyen çizgisel yük elde edilir.

$$q=(R/\cos\alpha+SL+PL)*a \quad (1)$$

Burada:

R: Çatı örtüsü ağırlığı

α : Çatının yatay düzleme göre açısı

SL: Kar yükü

PL: Aşık ağırlığı

a: Aşık aralığı

Hesaplanan bu çizgisel yük, aşık profilinin x ve y yönündeki bileşenlerine ayrılarak q_x ve q_y değerleri elde edilir. q_x ve q_y yükleri sebebiyle aşık elemanının x ve y yönlerinde meydana gelecek maksimum momentler hesaplanır. Meydana gelen gerilmenin emniyet gerilmesinden küçük olması istenir.

Bundan sonraki aşamada sehim kontrolü yapılır. Elde edilen maksimum sehimin sistemin iç açıklığının 1/200'ünden küçük olması istenmektedir [1].

Bu şartlardan en az birinin sağlanamaması durumunda sisteme gergi teşkil edilir.

3. YÜKLER

Sisteme etki eden yükler; zati yükler, kar yükü ve rüzgar yüküdür. Zati yük, çatı örtüsü, aşık, makas, rüzgar bağlantısı gibi elemanların ağırlıklarından meydana gelir. Kar yükü, yapının bulunduğu bölgeye göre TS498' den [3] alınır. Rüzgar yükü ise, yapının zeminden yüksekliğine göre TS498' den [3] alınır.

Sisteme etkiyen bu esas ve ilave yükler kendi aralarında kombine edilerek EY (H) ve EİY (HZ) yüklemelerini meydana getirirler. Bu yüklemelerin tespitinde kullanılan kombinasyonlar Çizelge 1 'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. EY (H) ve EİY (HZ) yüklemelerinin meydana geldiği kombinasyonlar [2].

Yükleme 1 [EY (H) Yüklemesi]	Yükleme 2 [EİY (HZ) Yüklemesi]
Zati yük+Sol kar yükü	Zati yük+Sol kar yükü+Sol rüzgar yükü
Zati yük+Sağ kar yükü	Zati yük+Sağ kar yükü+Sol rüzgar yükü
Zati yük+Tam kar yükü	Zati yük+Tam kar yükü+Sol rüzgar yükü
Zati yük+Sol rüzgar yükü	Zati yük+Sol kar yükü+Sağ rüzgar yükü
Zati yük+Sağ rüzgar yükü	Zati yük+Sağ kar yükü+Sağ rüzgar yükü
	Zati yük+Tam kar yükü+Sağ rüzgar yükü

Yükleme 1 ve Yükleme 2 için elde edilen bu kombinasyonlardan en elverişsiz olanları alınır.

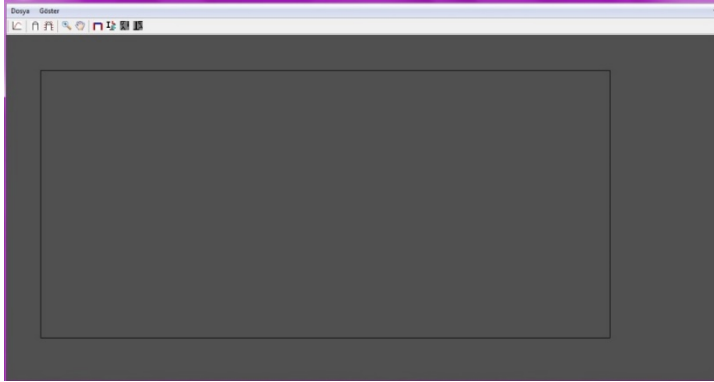
4. BOYUTLANDIRMA

Çatı makasının boyutlandırılması, TS648'e [4] uygun olarak yapılmaktadır. Boyutlandırmada Yükleme 1 (çekme ve basınç) ve Yükleme 2 (çekme ve basınç) değerleri kullanılır. Bu sonuçlardan bulunan en büyük kesit elemanın kesiti olarak belirlenir.

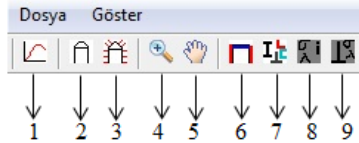
Kolon kesitinin boyutlandırılması Yükleme 2 durumuna göre TS648'e [4] uygun olarak yapılmaktadır. Yükleme 2 durumunda yatay yük olarak rüzgar yükü, düşey yük olarak zati yük ve kar yükü vardır. Yükleme 1 durumunda ise aynı yatay yüke karşılık düşey yük olarak zati yük olduğundan daha düşük iç kuvvet değerleri ortaya çıkmaktadır. Bu yüzden kolon hesabının sadece yükleme 2'ye göre yapılması yeterlidir. Kolon kesitinde hem basınç kuvveti, hem de moment etkisi bulunduğundan eğilmeli basınç tahkikinin yapılması gerekir [2].

5. STR2 PROGRAMININ TANITIMI

Bu program, Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde okutulan Çelik Yapı Tasarımı dersinde tasarımı yaptırılan yapının, bilgisayar yardımı ile analiz ve tasarımının yapılabilmesi amacıyla geliştirilmiştir. Program MATLAB [5] programlama dilinde yazılmıştır. Sisteme ait geometrik veriler ve malzeme özellikleri girildikten sonra her bir yükleme için iç kuvvet değerleri ve sistemin boyutlandırma sonuçları elde edilebilmektedir. Şekil 1' de programın ana ekranı, Şekil 2'de menü ve araç çubuğu gösterilmiştir. Programın araç çubuğundaki düğmelerin işlevleri Çizelge 2' de belirtilmiştir. Mouse ile giriş ve sonuç ekranlarındaki verilerin üzerinde durulduğunda ilgili veri ile ilgili açıklayıcı bilgiler görüntülenmektedir.



Şekil 1. STR2 programının ana ekranı.

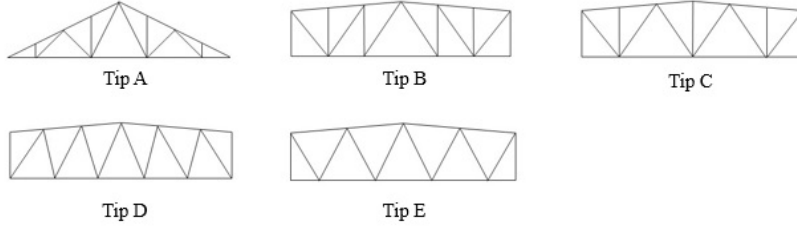


Şekil 2. STR2 programının menü ve araç çubuğu.

Çizelge 2. Araç çubuğundaki düğmelerin işlevleri

1	Malzeme özelliklerinin girilmesi	6	İç kuvvet diyagramları
2	Sistemin orijinal şekli	7	Boyutlandırma sonuçları
3	Sisteme etkileyen yükler	8	Kafes elemanların boyutlandırma bilgileri
4	Yakınlaştırma	9	Kolonların boyutlandırma bilgileri
5	El aracı		

Programda 5 farklı çatı makası tipi bulunmaktadır. Bu makasların tipleri Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Programda bulunan makas tipleri.

Çatı örtüsü olarak, Alüminyum trapez levha, Eternit, Dalgalı sac, Ytong, Delikli bimsbeton, Kazetli bimsbeton ya da Delikli kazetli bimsbeton seçeneklerinden biri seçilebilir. Aşık sistemi olarak, Basit kiriş, Gerber kiriş ya da Mütemadi kiriş seçilebilir. Aşık profili olarak, IPN100'den IPN200'e kadar olan normal I profillerinden biri seçilebilir.

Sistemde üst başlık, alt başlık, dikme, diyagonal, kolon olmak üzere 5 eleman grubu bulunmaktadır. Sistemdeki bu elemanların boyutlandırılmasında kullanılabilir profiller Çizelge 3'de gösterilmiştir.

Çizelge 3. Programda mevcut olan profiller.

Normal I Profili (IPN)	Eşit Kollu Korniyer (L)
Orta Genişlikli I Profili (IPE)	Farklı Kollu Korniyer (L)
Geniş Başlıklı Hafif I Profili (HE-A)	T Profili (T)
Geniş Başlıklı I Profili (HE-B)	Geniş Başlıklı T Profili (TB)
Geniş Başlıklı Ağır I Profili (HE-M)	Yarım I Profili (1/2 IPN)
U Profili (U)	Orta Genişlikli Yarım I Profili (1/2 IPE)

Kolon grubuna profil atanacağı zaman, sadece IPN, IPE, HE-A, HE-B ve HE-M profillerinden seçim yapılabilir.

6. STR2 PROGRAMI KULLANILARAK YAPILAN BİR SAYISAL ÖRNEK

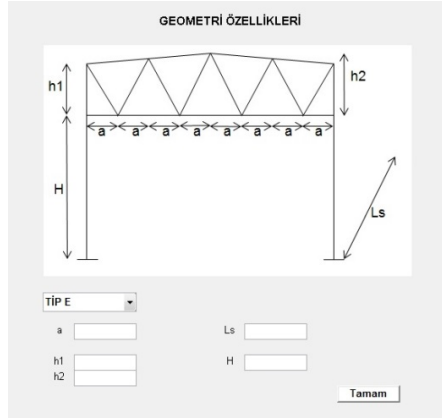
Sayısal örnekte, E tipi kafes kullanılmış olup, kafesin geometrik özellikleri, sisteminde kullanılan elemanlar ve sisteme kullanıcı tarafından girilen yük bilgileri Çizelge 4'deki gibidir. Kullanılan yapı çeliğinin elastisite modülü 21000 kN/cm^2 , akma gerilmesi 24 kN/cm^2 olarak girilmiştir.

Çizelge 4. Sayısal örnekte kullanılan veriler.

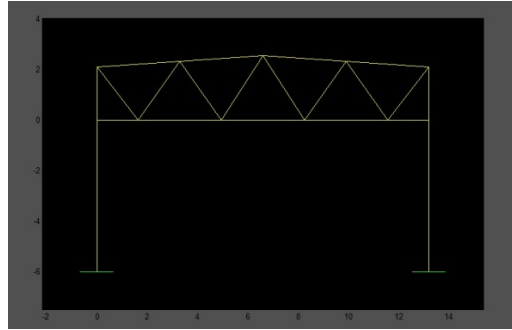
Aşık aralığı (a)	Kolon yükseklığı (H)	Kafes yükseklığı (h_1)	Kafes yükseklığı (h_2)	Tesis uzunluğu (Ls)
1.65 m	6 m	2.12 m	2.55 m	34.6 m
Çatı örtüsü	Aşık sistemi	Aşık profili	Aşık ağırlığı	Kar yükü
Dalgalı Sac	Gerber kiriş	I120	0.09 kN/m^2	0.8 kN/m^2

6.1. Yeni Proje Açma

Dosya menüsünün altından "Yeni" seçeneği tıklandığında, Şekil 4' de görülen geometrik özelliklerin girildiği bir pencere ekrana gelmektedir. Burada ilgili kutucuklar doldurulduktan sonra, sistemin 2 boyutlu geometrik şekli Şekil 5' de görüldüğü gibi programın ana ekranında görülmektedir.



Şekil 4. Geometrik özelliklerin girildiği pencere.



Şekil 5. Sayısal örneğin geometrik şekli.

6.2. Veri Girişi

Dosya menüsünün altından "Veri Girişi" seçeneği tıklandığında, Şekil 6' da gösterilen veri girişlerinin yapıldığı pencere ekrana gelmektedir. Burada çatı örtüsü tipi, aşık sistemi seçeneği, aşık profili seçilir ve aşık ağırlığı ve kar yükü kN/m^2 olarak girilmektedir.



Şekil 6. Veri girişi penceresi.

Görev çubuğundaki 1 no'lu düğme tıklandığında Şekil 7'deki malzeme özelliklerinin girildiği pencere açılmaktadır. Bu pencerede, yapıda kullanılan çeliğin elastisite modülü ve akma gerilmesi girilmektedir.

Şekil 7. Malzeme özelliklerinin girildiği pencere.

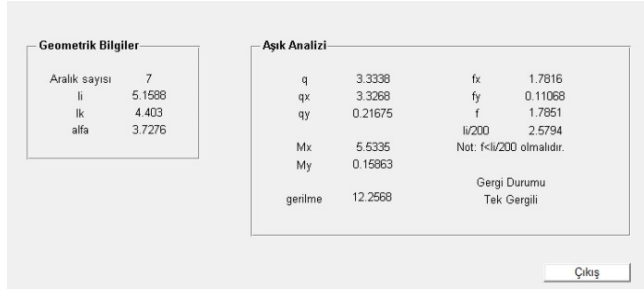
6.3. Profil Seçeneklerinin Girilmesi

Sistemdeki elemanların boyutlandırılmasında kullanılacak profillerin ataması Şekil 8'deki pencere yardımıyla yapılmaktadır. İstenirse, bir gruptaki elemanların aynı profil numarasına sahip olması sağlanabilir. Bu örnekte, üst başlık ve alt başlık gruplarının aynı profil numarasına sahip olması istenmiştir.

Şekil 8. Profillerin gruplara atandığı pencere.

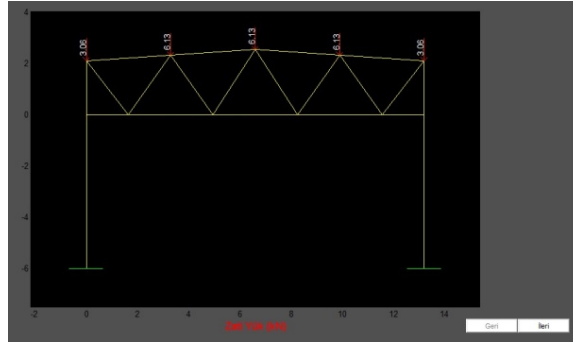
6.4. Sonuçların Gösterilmesi

Bütün veri girişleri yapıldıktan sonra, projenin her bir aşamasının sonuçları incelenebilir. Projenin birinci aşaması olan "Aşık Analizi" sonuçları Şekil 9'daki pencere yardımı ile incelenebilmektedir. Burada sistemin aralık sayısı, iç ve kenar açıklığı, makasın yatay düzleme göre açısı ve aşık elemanının x ve y eksenlerine göre maruz kaldığı çizgisel yük, maksimum momentler ve bu momentler nedeniyle meydana gelen gerilme, maksimum sehim ve gergi durumu görüntülenmektedir.

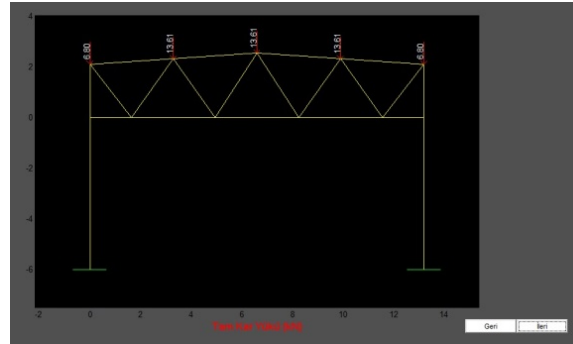


Şekil 9. Projenin birinci aşama sonuçlarının gösterildiği pencere.

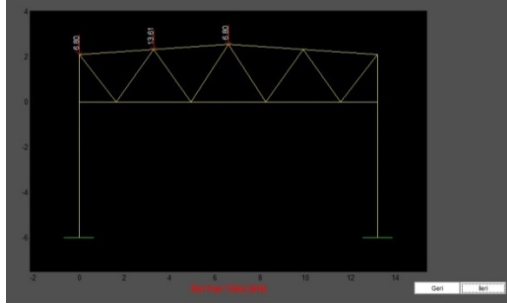
Görev çubuğundaki 3 no'lu butona tıkladığında, her bir yükleme durumunda sisteme etkileyen yükler incelenebilmektedir. Bu yükler Şekil 10-15'de gösterilmiştir. Çubuk kuvvetleri hesabında sisteme etki eden bu yükler kullanılmaktadır.



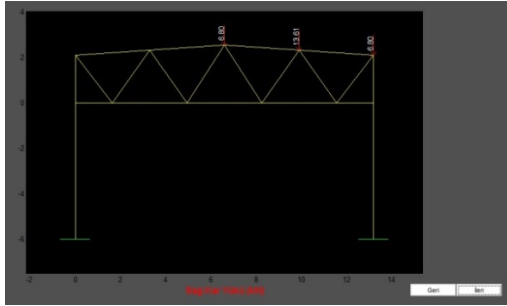
Şekil 10. Sisteme etki eden zati yükleme değerleri.



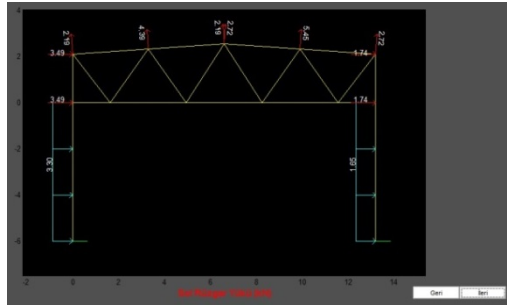
Şekil 11. Sisteme etki eden tam kar yüklemesi değerleri.



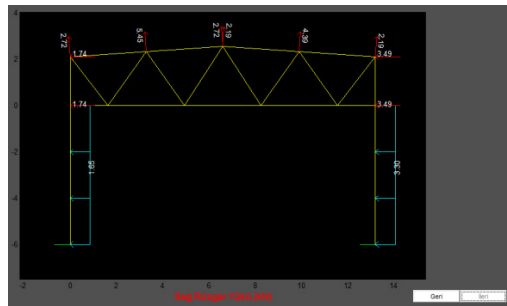
Şekil 12. Sisteme etki eden sol kar yüklemesi değerleri.



Şekil 13. Sisteme etki eden sağ kar yüklemesi değerleri.

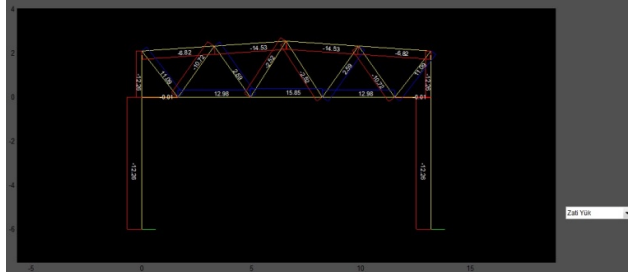


Şekil 14. Sisteme etki eden sol rüzgar yüklemesi değerleri.

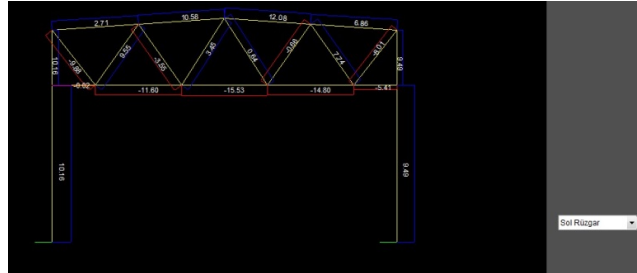


Şekil 15. Sisteme etki eden sağ rüzgar yüklemesi değerleri.

Her bir yüklem için sistemin analizi Sonlu Elemanlar Yöntemi kullanılarak yapılmaktadır [6, 7]. Analizden sonra iç kuvvet diyagramları sistem üzerinde gösterilebilir. Örnek olarak sistemin zati yük ve sol rüzgar yüklemesinden meydana gelen eksenel kuvvet diyagramları Şekil 16-17’de gösterilmiştir. Diyagramda pozitif değerler mavi, negatif değerler ise kırmızı olarak belirtilmiştir.



Şekil 16. Sistemin zati yüklemeden dolayı meydana gelen eksenel kuvvet diyagramı.



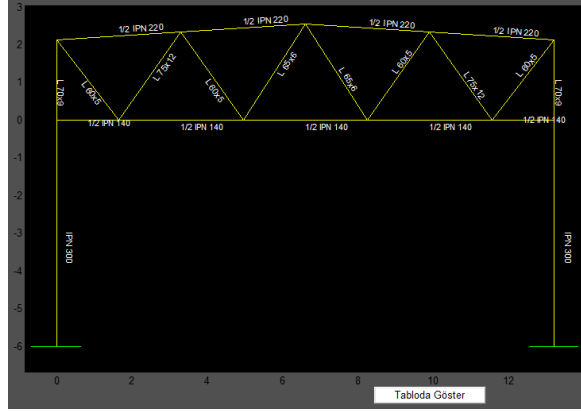
Şekil 17. Sistemin sol rüzgar yüklemesinden dolayı meydana gelen eksenel kuvvet diyagramı.

Elde edilen bu eksenel kuvvetler bir tablo halinde gösterilebilir. Bu tabloda her bir yüklem için elde edilen sonuçlar çekme ve basınç durumuna göre ayrı sütunlarda gösterilmektedir. Ayrıca bu yüklemeler sonucunda elde edilen “Yüklem 1” ve “Yüklem 2” değerleri de tabloda gösterilmektedir. Böylelikle projenin ikinci aşamasının sonuçları incelenebilir. Bu sayısal örneğin eksenel kuvvet tablosu Şekil 18’ de gösterilmiştir. Bu tablonun satır isimleri eleman isimlerine göre düzenlenmiştir. Bu tablo ekrana geldiğinde, eleman isimleri ilgili eleman üzerinde görüntülenmektedir.

Çubuk Kuvvetleri Tablosu											
	İç	Tam Kar (Çekme)	Tam Kar (Basınç)	Sol Rüzgar (Çekme)	Sol Rüzgar (Basınç)	Sag Rüzgar (Çekme)	Sag Rüzgar (Basınç)	Yükleme-1 (Çekme)	Yükleme-1 (Basınç)	Yükleme-2 (Çekme)	Yükleme-2 (Basınç)
Ç1	148	0	15.1645	2.7195	0	6.8656	0	0.0368	21.9534	0	19.2739
Ç2	397	0	32.2693	10.5850	0	12.0831	0	0	46.8007	0	36.2157
Ç3	396	0	32.2693	12.0831	0	10.5850	0	0	46.8007	0	36.2157
Ç4	397	0	15.1645	6.8656	0	2.7195	0	0.0368	21.9934	0	19.2739
Ü1	164	0	0.0328	0	0.0223	0	5.4103	0	5.4251	0	5.4579
Ü2	0	28.8388	0	11.6045	0	14.8045	0	41.8254	1.8179	30.2208	0
Ü3	0	35.2169	0	0	15.5347	0	15.5347	51.0757	0	35.5410	0
Ü4	0	28.8388	0	0	14.8045	0	11.6045	41.8254	1.8179	30.2208	0
Ü5	164	0	0.0328	0	5.4103	0	0.0223	0	5.4251	0	5.4579
V1	396	0	27.2384	10.1692	0	9.4965	0	0	39.5044	0	30.0079
V2	388	0	27.2384	9.4965	0	10.1692	0	0	39.5044	0	30.0079
D1	0	24.6377	0	0	9.8838	0	0	0.0166	35.7325	0	27.7160
D2	58	0	23.8073	9.5507	0	7.7464	0	0	34.5282	0	26.7818
D3	0	5.7693	0	0	3.5550	0	0.6605	9.8353	0.9570	9.1748	2.4249
Ç4	399	0	5.6120	3.4580	0	0.6425	0	0.9309	9.5671	2.3588	8.9246
D5	0	0	5.6120	0.6425	0	3.4580	0	0.9309	9.5671	2.3588	8.9246
D6	379	5.7693	0	0	0.6605	0	3.5550	9.8353	0.9570	9.1748	2.4249
D7	116	0	23.8073	7.7464	0	9.5507	0	0	34.5282	0	26.7818
D8	0	24.6377	0	0	0.0166	0	9.8838	35.7325	0	27.7160	0

Şekil 18. Sayısal örneğin çubuk kuvvetleri tablosu.

Elde edilen bu iç kuvvet değerleri kullanılarak elemanların boyutlandırılması TS648' e uygun olarak yapılmaktadır. Görev çubuğundaki 7 no'lu düğmeye tıklandığında boyutlandırma sonuçları Şekil 19' daki gibi sistemdeki elemanlar üzerinde gösterilebilmektedir. Böylelikle projenin üçüncü aşamasının ilk kısmına ait sonuçlar incelenebilmektedir. İstenirse, bir tabloda da gösterilebilir. Bu örnekte üst başlık ve alt başlık profillerinin aynı profil numarasına sahip olması istendiğinden, tasarım yapılırken bu gruplara aynı kesit atanmıştır.



Şekil 19. Sayısal örneğin boyutlandırma sonuçları.

Sistemdeki her bir kafes elemanının boyutlandırma aşaması incelenebilmektedir. Burada elemanın boyutlandırılması için atanmış profillerin yüklemeye 1 çekme, yüklemeye 1 basınç, yüklemeye 2 çekme, yüklemeye 2 basınç kuvvetleri altında meydana gelen gerilme değerleri ve bu gerilme değerlerinin elde edilmesi için gerekli diğer veriler incelenebilmektedir. Dört kuvvet altında yapılan boyutlandırma sonuçlarından en büyük kesitli profil elemanın kesiti olarak atanır. Örnek olarak sisteme ait O2 çubuğunun boyutlandırma bilgileri Şekil 20'de gösterilmiştir.

Eleman	O2	Yüklemeye 1 (Çekme)	Yüklemeye 1 (Basınç)	Yüklemeye 2 (Çekme)	Yüklemeye 2 (Basınç)
Eksenel Kuvvet	0	46.8007	0	36.2157	
Erm. Ger.		14.4		16	
Uzunluk	3.307				

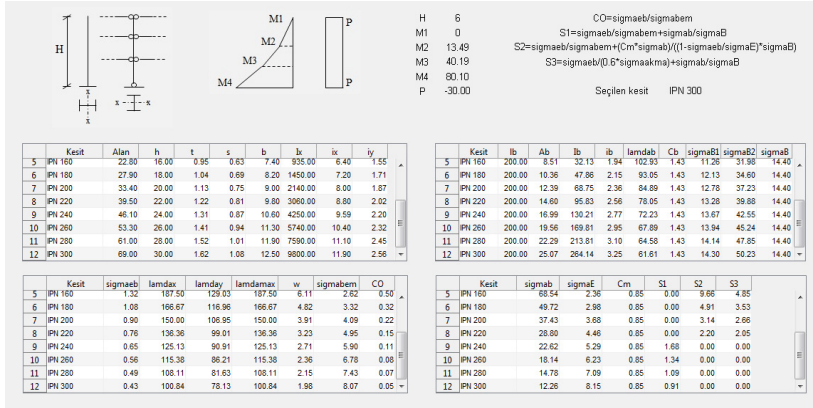
Yüklemeye 1 (Çekme)				Yüklemeye 1 (Basınç)			
Kesit	Alan	Gerilme		Kesit	Alan	imin	Narinlik
1	1/2 IPN 140	9.1500	0	1	1/2 IPN 140	9.1500	1.4000
				2	1/2 IPN 160	11.4000	1.5500
				3	1/2 IPN 180	14	1.7100
				4	1/2 IPN 200	16.7000	1.8700
				5	1/2 IPN 220	19.8000	2.0200

Yüklemeye 2 (Çekme)				Yüklemeye 2 (Basınç)			
Kesit	Alan	Gerilme		Kesit	Alan	imin	Narinlik
1	1/2 IPN 140	9.1500	0	1	1/2 IPN 140	9.1500	1.4000
				2	1/2 IPN 160	11.4000	1.5500
				3	1/2 IPN 180	14	1.7100
				4	1/2 IPN 200	16.7000	1.8700

Seçilen Kesit: 1/2 IPN 220

Şekil 20. Kafes elemanların boyutlandırma aşamasını gösteren pencere.

Benzer şekilde kolonun boyutlandırma aşaması da Şekil 21'de görülen pencere yardımı ile incelenebilmektedir. Kolon boyutlandırılması yüklemeye 2 durumuna göre yapılmaktadır. Kolonda basınç kuvveti ve moment olduğundan eğilmeli basınç tahkikine göre boyutlandırma yapılmaktadır.



Şekil 21. Kolonun boyutlandırma aşamasını gösteren pencere.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Çelik Yapı Tasarımı dersine katkıda bulunması amacıyla geliştirilmiş olan yeni bir bilgisayar programı tanıtılmıştır. Programa STR2 adı verilmiştir. Veri girişi yapıldıktan sonra, aşık analizi, iç kuvvet değerleri ve boyutlandırma sonuçları elde edilebilmektedir. Bu program sayesinde bu dersin proje aşamalarının kontrolleri kolay bir şekilde yapılabilir. Programın önemli karakteristik özelliklerinden biri de hızlı ve kolay bir şekilde veri girişi ve sonuç gösterme özelliğidir. Programın öğrenciler tarafından yapılan projeler ile benzer sonuçlar verdiği görülmüştür. Program bu dersin içeriği dikkate alınarak hazırlanmıştır. Programın içeriğine bazı özellikler eklenerek, eğitim programı kapsamında çıkıp genel bir yazılım olması için ileride yapılacak bazı değişiklikler hedeflenmiştir. Bunlardan bazıları şu şekilde sıralanabilir:

- Çatı makası şablon sayısının artırılması veya istenilen çatı makasının kullanıcı tarafından çizim ekranı yardımı ile çizilebilmesi.
 - Tasarım aşamasında optimizasyon yöntemi kullanılarak elemanların optimum olarak boyutlandırılabilmesi.
 - Çatı örtüsü gibi programa önceden tanıtılmış bazı bilgilerin kullanıcı tarafından değiştirilebilmesi ve kullanıcının kendi isteğine göre yeni veriler girilebilmesi.
 - Sisteme etki eden yüklerin sayısal değerlerinin kullanıcı tarafından değiştirilebilmesi.
- Sistemin 3 boyutlu olarak görüntülenebilmesinin sağlanması.

REFERENCES / KAYNAKLAR

- [1] Öztürk, A. Z., “Çelik Yapılar Kısa Bilgi ve Çözülmüş Problemler”, 5. Baskı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2009, 232-266.
- [2] Şahin, A., “Çelik Yapı Tasarımı, Ders Notları”, Yıldız Teknik Üniversitesi – İnşaat Fakültesi, 2013.
- [3] TS 498, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Kasım 1997.
- [4] TS 648, Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Aralık 1980.
- [5] MATLAB The Language of Technical Computing (R2010a), The MathWorks, Inc.
- [6] Kasımzade, A. A., “Sonlu Elemanlar Metodu Temelleri ve Yapı Mekaniğinde Uygulamaları”, 2. Baskı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2004, 4-60.
- [7] Şahin, A., “Yapı ve Deprem Mühendisliği için İleri Bilgisayar Programlama, Ders Notları”, Yıldız Teknik Üniversitesi – Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013.

Mechanical Engineering Article
/
Makine Mühendisliği Makalesi