

## Plastik Örtülü Boru Çerçevesi Seraların Projelenmesinde Kullanılabilecek Bir Yazılımın Geliştirilmesi

Ü. Kızıl<sup>1</sup> L. Genç<sup>2</sup> M. Saçan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Biga Meslek Yüksek Okulu, Teknik Programlar Bölümü, Çanakkale

<sup>2</sup>Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Çanakkale

Ülkemizdeki seralar çoğunlukla rüzgar ve kar yüklerine maruz kalan, genellikle hafif yapılardır. Halen, boru çerçevesi sera yapıları için standart projelendirme ilkeleri bulunmamaktadır. Seraların herhangi bir mühendislik hesaplaması yapılmadan boru üreticileri veya tesisatçılar tarafından kuruldukları görülmektedir. Bununla birlikte boru profilli sera projelendirme sabit yükler, rüzgar ve kar gibi yükleme grupları, momentler, ve tepki kuvvetlerinin hesaplanmasını gerektirir. Seraların projelenmesindeki hataların minimize edilmesi için kullanımı kolay bir yazılıma gereksinim vardır. Bu çalışmada, MS Visual Basic programlama dili kullanılarak bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Program, moment ve tepki kuvvetlerinin hesaplanmasında Kleinlogel'in eşitliklerini kullanmaktadır. Boru çerçevesi sistemlerin inşasının ve Kleinlogel eşitliklerinin basitliği, kolay bir program geliştirme imkanı sağlamıştır.

**Anahtar kelimeler:** Sera tasarımı, boru çerçeve, statik tasarım

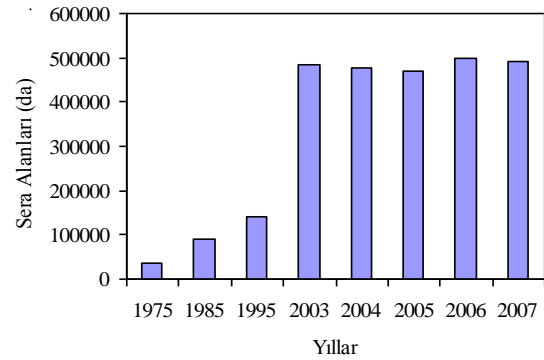
### A Design Software for Plastic-Covered, Pipe-Framed Greenhouses

Greenhouses in Turkey are generally light frame structures that are mainly subject to wind and snow loads. Currently, there is no standard design procedure for pipe-framed greenhouse structures. The greenhouse contractors are usually pipe producers or plumbers who don't apply engineering calculations. They basically build the greenhouses based on their experiences. However, pipe-framed greenhouse building design procedures do include the calculation of forces such as dead, wind, and snow, moments, reaction forces, etc. There has been a need for a user-friendly design tool that can minimize the failure of pipe-framed greenhouse structures. A software program is developed using MS Visual Basic programming language. The program employs Kleinlogel equations in the calculations of moments and reaction forces. The simplicity of building pipe-framed system and Kleinlogel equations provide a unique opportunity to develop a simple program. This study gives a detailed explanation of the methods and the software.

**Keywords:** Greenhouse design, pipe frame, statical design.

### Giriş

Ülkemizde yapılan küçük ölçekli seracılık faaliyetleri genellikle plastik örtülü, boru profilden imal edilen basit yapılar şeklindedir. Türkiye konumu itibarıyla yeterli güneşlenme imkanına sahip şanslı ülkelerden biridir. Bu da Türkiye'nin seracılık alanında potansiyele sahip olduğunun bir göstergesidir. Şekil 1'de, Türkiye sera alanlarındaki artış miktarını yıllara göre göstermektedir. Seraların yaklaşık olarak %78' i plastik örtülü seralardır (Sevgican ve ark., 2000; Kendirli, 2006; Anonim, 2008). Türkiye'de seralarda üretim, ısı gerekliliği diğer bölgelere göre daha az olan Akdeniz, Ege ve Marmara Bölgelerinde yoğunlaşmıştır.



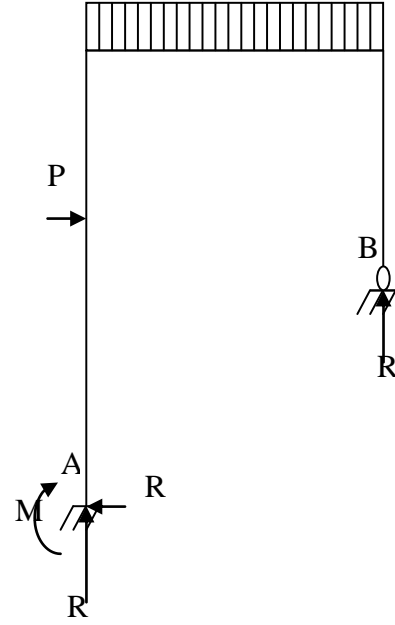
Şekil 1. 1975-2007 yılları arasında Türkiye'deki sera alanlarının değişimi  
Figure 1. Change of greenhouse areas between 1975 and 2007

Diğer yapılarda olduğu gibi seralar da, canlı ve ölü yüklere karşı dayanıklı olmalıdır. Plastik örtülü seralar hafif çerçevesi olduklarından, üreticiler tarafından kolayca kurulabilir ve taşınabilirler (Moriyama ve ark., 2003). Bununla birlikte, bu yapıların tasarımında mühendislik analizleri uygulanmamaktadır. Hiçbir statik hesaplama ilkesi dikkate alınmadan tasarım gerçekleştirilmektedir.

Bu çalışma, Kleinlogel tarafından geliştirilen rijit-çerçeve formüllerinin kullanılarak plastik örtülü boru profil seraların statik projelimesinde kullanılabilecek bir bilgisayar programı geliştirilmek amacıyla yapılmıştır. Geliştirilen programın derin bir mühendislik bilgisine gerek duymadan kolay kullanılabilir bir yazılım olması hedeflenmiştir.

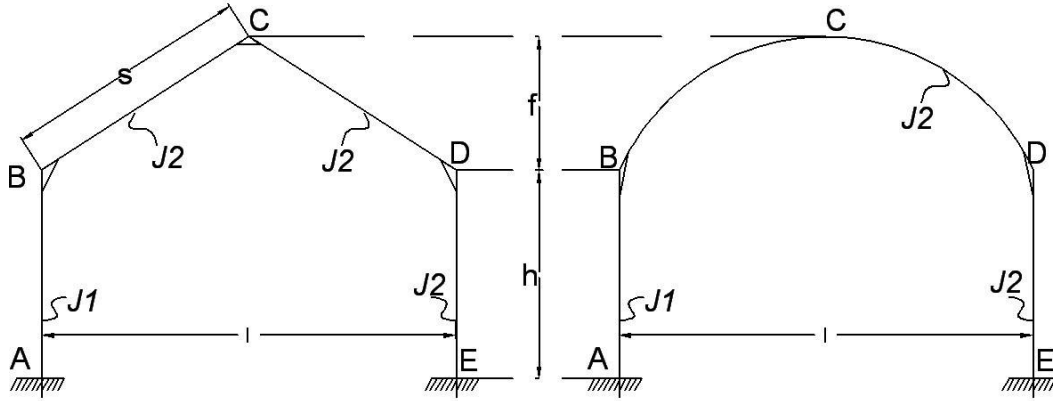
Seralar için kullanılan yaygın yapısal analiz teknikleri kuvvet ve moment dağılımı metotlarıdır. Kuvvet metodu, belirsiz çerçeve yapıların analiz edilmesinde kullanılabilir bir tekniktir (Şekil 2). Kuvvet metodundaki ilk basamak, verilen yapının belirsizlik derecesinin belirlenmesidir. Bunu izleyen aşamalar şu şekilde uygulanmalıdır; a) belirsizlik derecesine eşit sayıda destek reaksiyonunun seçilmesi, b) destek reaksiyonlarını kaldırarak yapıyı belirli hale getirmek, c) deformasyonların hesaplanması, d) sürekli deformasyon denklemlerinin yazılması e) deformasyon denklemlerinin çözülmesi ve f) kalan destek reaksiyonlarının belirlenmesidir.

Aynı zamanda “kros metodu” olarak da bilinen Moment dağılımı, statik olarak belirsiz çerçeve yapılarını çözümleyen bir yer değiştirme metodudur. Prosedür, eşitliklerin eş zamanlı iterasyonlarla çözülmesini gerektirmektedir. Bu yöntemde, tüm bağlantı noktaları, yapay olarak rotasyona tabi tutulur. Sonra, bu noktalar birer birer serbest bırakılır. Her serbest bırakmada, dengelenmemiş momentler, bu noktada birleşen her bir elemanın sonuna dağıtılır.



Şekil 2. Belirsiz çerçeve yapısı  
Figure 2. Indeterminate frame structure

Bu metotların kafes sistemlerinde kullanılması göreceli olarak daha zordur. Tarımsal üreticilerin seraları ziraat mühendislerinden yardım almadan inşa etme eğiliminde oldukları göz önüne alındığında, tünel seraların kalitesini geliştirmek için basit bir yöntem veya araç gereklidir. Kurtaga (1995) tarafından kullanılmış ve ilk kez Kleinlogel (1939) ve Kleinlogel ve Haselbach (1963) tarafından yayınlanan eşitlikler yöntem geliştirmede kullanılmıştır. Şimsek ve ark. (1998) boru profil seraların statik analizleri için Kleinlogel'in eşitliklerinden yararlanarak Microsoft Excel'de bir hesaplama tablosu hazırlamıştır. Bu yöntem bazı katsayılara ve ölü yük, rüzgar, kar ve termal gibi yüklere bağlı olarak momentleri ve tepki kuvvetlerini her kritik nokta için formüle etmiştir (Şekil 3). Katsayılar, seçilen malzemelerin atalet momenti (J) ve boyutları kullanılarak hesaplanmıştır.



Şekil 3. Kleinlogel eşitliklerindeki katsayıların hesaplanmasında kullanılan kritik noktalar ve parametreler.

Figure 3. Critical points and parameters that are used to calculate the coefficients in Kleinlogel formulas

### Yöntem

Diğer metotların aksine, bu basit eşitlikler daha az zaman ve statik bilgisi gerektirir. Şimşek ve ark. (1998) Kros metodu ve Kleinlogel eşitliklerini kullanarak farklı açıklıklar için maksimum momentleri hesaplamıştır.

Hesaplamalar, her iki metodunda çok benzer sonuçlar verdiğini göstermiştir (Çizelge 1). Sera yük analizlerini kolay ve anlaşılır bir şekilde yapılabilmesi için yapılan bu çalışmada Şimşek ve ark. (1998) Kros metodu ve Kleinlogel eşitliklerini Microsoft Excel'de hazırlamıştır.

Çizelge 1. Kros ve Kleinlogel yöntemleriyle hesaplanan moment değerleri

Table 1. Moment values which were calculated by Cross and Kleinlogel methods

Method	Çerçeve açıklığı		
	6 m	8 m	10 m
Kros	59 kg.m	99 kg.m	150 kg.m
Kleinlogel	60 kg.m	101 kg.m	152 kg.m

### Kiriş Hesapları

Kiriş hesaplarında maksimum eğilme momenti koşullarının sınanması önemli bir kriterdir (eşitlik 1) (Yüksel, 2000; Ekmekyapar, 1997).

$$M_{\max} = q l^2 / 8 \quad (1)$$

burada;

$M_{\max}$ : maximum eğilme momenti (kg.m)

q: projeleme yükü (kg/m)

l: kiriş uzunluğu (cm)

Verilen kiriş uzunluğu için hesaplanan maksimum eğilme momenti ve mukavemet momenti için gerilme miktarı hesaplanmıştır (Eşitlik 2). Daha sonra, kirişin eğilme için yeterli olup olmadığını belirlemek için hesaplanan gerilme ile izin verilebilir gerilme kıyaslanmıştır (eşitlik 2).

Kirişler için eğilme kontrolü,

$$\sigma = M_{\max} / W \leq \sigma_a \quad (2)$$

burada;

$\sigma$ : gerilme kuvveti (kg/cm<sup>2</sup>)

W: kesit modülü (cm<sup>3</sup>)

$\sigma_a$ : izin verilebilir gerilme (1400 kg/cm<sup>2</sup> çelik için)

Sarkı miktarının hesaplanmasında eşitlik 3 uygulanmıştır. Kiriş için izin verilebilir sarkmanın kiriş boyunun 1/500'ünden küçük ya da eşit olduğu varsayılmıştır.

$$\Delta = (11/96)(M_{\max} l^2 / EJ) \leq 1/500 \quad (3)$$

burada;

$\Delta$ : sarkı miktarı (cm)

E: elastisite modülü (kg/cm<sup>2</sup>)

J: atalet momenti (cm<sup>4</sup>)

### Kolon ve Çatı Analizleri

Yük değerleri ve çatı sistemi boyutları belirlendikten sonra, kritik noktalar ve yük grupları için moment ve tepki kuvvetleri

Kleinlogel'in eşitlikleri kullanılarak hesaplanmıştır. Kritik noktalar için moment ve tepki kuvvetleri süperpozisyon tablolarında gösterilmiştir (Çizelge 2 ve 3).

Çizelge 2. Kritik noktalardaki momentler  
Table 2. Moments at critical points

Kritik nokta	Yük grubu								Toplam	
	Grup 1		Grup 2		Grup 3		Grup 4		Moment (kg.m)	
	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
A	61.59			156		212.73	4.69			368.73
B		61.59	44		78.18		0.67		122.18	
C	1.86			20		50.91		3.35		74.26
D		61.59		4		41.82	0.67			107.26
E	61.59		36		147.27		4.69		249.55	

Çizelge 3. Kritik noktalardaki tepki kuvvetleri  
Table 3. Reaction forces at critical points

Kritik nokta	Yük grubu						Toplam tepki kuvveti	
	Grup 1		Grup 2		Grup 3		(kg)	
	+	-	+	-	+	-	+	-
A		106.65	6.86		51.43			106.65
E		106.65		6.86		51.43		164.94

Tasarımı etkileyen yük grupları ölü yük, kolonlardaki ve çatıdaki rüzgardır. Boru profil seralar nispeten daha hafif yapılar olduğundan deprem yükü tasarımında göz önüne alınmamıştır. Kar yükü, Türk standartlarında verilen kriterlere dayanarak hesaplanmalıdır (Anonim, 1987). Bununla birlikte, plastik örtü materyali Anonim (1987) tarafından gerçekleştirilen kar yüküne dayanabilme kabiliyetine sahip değildir. Bu yüzden, kar yükü de tasarıma dahil edilmemiştir. Ancak, geliştirilen bilgisayar programında kullanıcıya opsiyonel bir yükü dahil edebilme seçeneği sunulmuştur.

Kolon analizlerinde, seçilen materyal için gerçek gerilme, izin verilebilir gerilme ile karşılaştırılmıştır (eşitlik 4) (Öztürk, 1989).

$$\sigma = (M_{\max} / W) + (N/F) \leq \quad (4)$$

burada;

$M_{\max}$ : Kritik noktalardaki toplam momentlerin mutlak değerlerinin maksimumu (A, B, D, ve E) (kg.cm)

N: Kritik noktalardaki toplam tepki kuvvetlerin mutlak değerlerinin maksimumu (A, E) (kg)

F: seçilen materyalin kesit alanı (cm<sup>2</sup>)

Kolonlar, yapısal elemanların başka bir başarısızlık biçimi olan burkulmayla sonuçlanabilecek basınç gerilmesine maruz kalır.

Bu yüzden, burkulma gerilmesi de hesaplanmalıdır ve seçilen materyal için izin verilebilir maksimum gerilmeyle kıyaslanmalıdır. Burkulma gerilmesi eşitlik 5 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\sigma_b = P\omega/F \leq \sigma_a \quad (5)$$

$\sigma_b$ : burkulma gerilmesi (kg/cm<sup>2</sup>)

P: kritik noktalarda + değerlere sahip olan tepki kuvvetleri toplamının maksimumu (A, E) (kg)

$\omega$ :  $\lambda$  için elde edilen burkulma katsayısı

Eşitlikteki  $\omega$  katsayısı eşitlik 6'da hesaplanan narinlik oranına göre belirlenir. Hesaplanan narinlik oranına göre bir burkulma katsayısı tablo haline getirilen değerlerden seçilmiştir.

$$\lambda = l_c / i_{\min} \quad (6)$$

burada;

$\lambda$ : narinlik oranı

$l_c$ : kolon yüksekliği (cm)

$i_{\min}$ : minimum atalet yarıçapı (cm)

Çatı analizlerinde, seçilen materyal için kolon analizlerinde olduğu gibi gerçek gerilme izin verilebilir gerilme ile karşılaştırılmıştır (Eşitlik 7).

$$\sigma = M_{\max} / W \leq \sigma_a \quad (7)$$

$M_{\max}$ : kritik noktalardaki toplam momentlerin kesin değerlerinin maksimumu (B, C, ve D) (kg.cm)

### Bulgular ve Tartışma

Hazırlanan program ikiye bölünmüş tek bir Windows sayfası olarak olabildiğince basit ve anlaşılır bir şekilde hazırlanmıştır. İlk bölümde projenin adı, projeyi hazırlayan, kontrol eden ve diğer adres ve iletişim bilgilerinin girilmesi ve malzeme, yükleme unsurları ve boyut seçimi yapılmaktadır.

Kleinlogel eşitlikleri kritik noktalardaki moment ve reaksiyon kuvvetlerini çerçeve boyutları ve kullanılan malzemelerin atalet momentlerine göre hesaplamaktadır. Dolayısıyla projellemenin yapılabilmesi için öncelikle tasarlanacak seranın kolon ve mahya yüksekliği, çerçeve açıklığı ve aşık hesabı için de çerçeve aralığı değerlerinin girilmesi gerekmektedir. Daha sonra, çerçeveyi etkileyecek askıda bitki ağırlığı, örtü malzemesi birim ağırlığı, havalandırma penceresi sayısı ve bir pencerenin ağırlığının girilmesi gerekmektedir.

Kleinlogel eşitliklerinin çalışabilmesi için gerekli olan atalet momentleri, kolon ve çatı kanatları için seçilen malzemeler için otomatik

olarak program tarafından belirlenmektedir. Dolayısıyla, programın çalışma prensibi, girilen boyutlar ve yükleme unsurları için malzemenin seçilmesi olmayıp, girilen boyut ve yükleme unsurlarına göre seçilen malzemenin yeterliliğinin test edilmesi şeklinde olmaktadır.

Kolon, çatı kanadı ve aşıklar için seçilen boru çaplarının yeterliliği eğilme ve sarkı yönünden değerlendirilmekte ve seçilen kesitin yetersizliği durumunda kullanıcı uyarılarak boyutun artırılması istenmektedir. Bu şekilde deneme yanılma yöntemi kullanılarak optimum boyutlar ve malzemeler seçilmektedir.

Program, seçilen malzemelere ait boru iç ve dış çapları (mm), kesit alanı (cm<sup>2</sup>), birim ağırlığı (kg/m), atalet momentleri (cm<sup>4</sup>), mukavemet momentleri (cm<sup>3</sup>) ve atalet yarıçapı (cm) gibi değerleri bir tablo halinde kullanıcıya sunmaktadır.

Şekil 4'te örnek bir program çıktısı görülmektedir. Sayfanın sonunda aşıkların rüzgarlı ve rüzgarsız koşullarda eğilme ve sarkı yönünden kontrolleri ile kolon ve çatı kanatlarının kesit kontrol sonuçları verilmiştir. Örnek çıktıda kolon ve çatı kanatları için seçilen 2 ve aşık için seçilen 1.5 inç'lik kesitlerin uygun oldukları saptanmıştır.

The screenshot shows the GreenDesign software interface. The title bar reads "GreenDesign". The main window title is "Frame Solutions for Single Span, Pipe-framed Greenhouses". The interface includes a form for data entry with fields for Project name, Address, Design engineer, Phone, Controlled by, Fax, Date, and e-Mail. Below the form is a 3D wireframe diagram of a greenhouse structure with dimensions: l=7, h=2, and lw=2. Below the diagram is a table of material properties for Column, Roof, and Beam. The table has columns for D (mm), d (mm), F (cm<sup>2</sup>), G (kg/m), I (cm<sup>4</sup>), W (cm<sup>3</sup>), and i (cm). Below the table are sections for "Beam control (no wind)", "Beam control under wind", "Post control", and "Roof control", each with a "Bending: satisfactory" or "The pipe size is satisfactory" result.

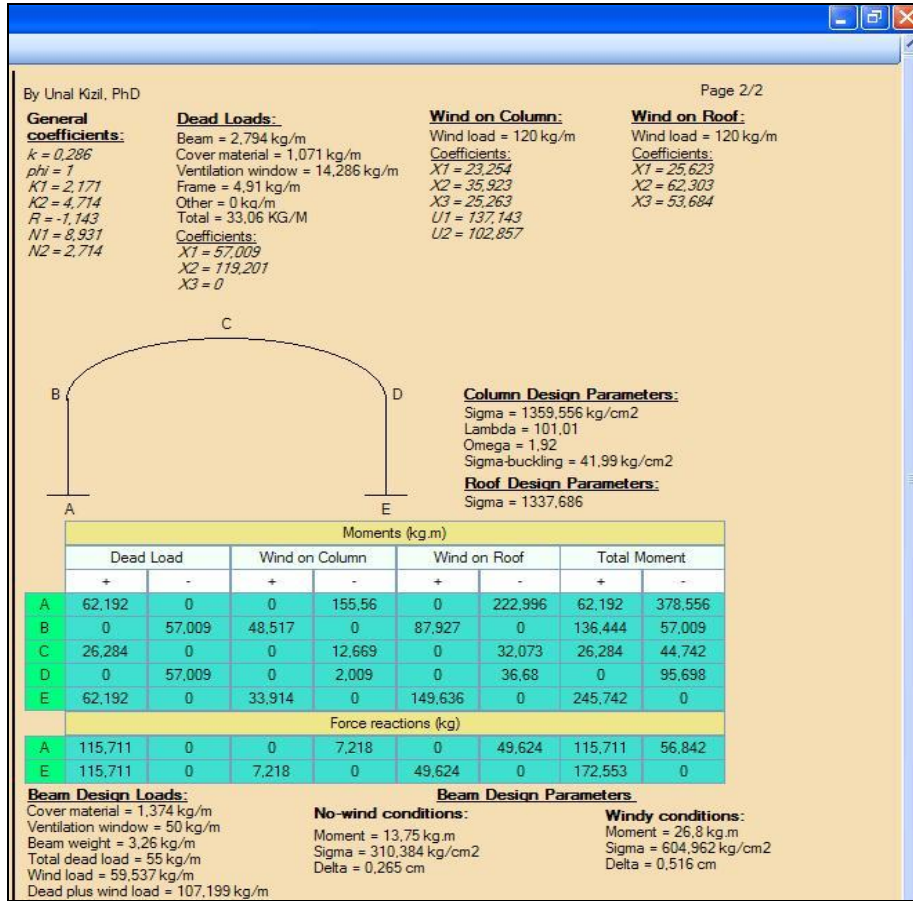
	D (mm)	d (mm)	F (cm <sup>2</sup> )	G (kg/m)	I (cm <sup>4</sup> )	W (cm <sup>3</sup> )	i (cm)
Column	60,3	51,3	7,89	6,17	30,9	10,2	1,98
Roof	60,3	51,3	7,89	6,17	30,9	10,2	1,98
Beam	48,3	42,5	4,14	3,26	10,7	4,43	1,61

Şekil 4. Veri girişi, malzeme seçimi ve kesit kontrolü sonuçları.  
Figure 4. Data entry, material selection and control results

Program kullanıcıya hazırlanan proje dosyasını gnh uzantılı bir dosya olarak kaydetmeyi ve aynı uzantılı dosyayı açma olanağını da sağlamaktadır. Ayrıca tasarlanan seranın beşik ya da yay çatılı olarak farklı iki alternatifte projelendirilme olanağı da sunulmuştur. Windows tabanlı program uygulamalarına alışık kullanıcıların kolayca çıktısı almasını sağlayacak düzenlemeler de yapılmıştır.

Moment ve zemin reaksiyon kuvvetlerinin hesabında kullanılan katsayılar ölü yük ve rüzgar yükü yükleme grupları için hesaplanmış ve Windows ekranının ikinci bölümünde sunulmuştur. Ayrıca projelendirme parametrelerinden olan  $\sigma$ ,  $\lambda$  ve  $\omega$  değerleri de kolon ve çatı için hesaplanıp ekrana yansıtılmıştır.

Süperpozisyon çizelgesi üzerinde kritik noktalar için moment ve reaksiyon kuvveti değerleri görülebilmektedir (Şekil 5).



Şekil 5. Hesap detayları  
Figure 5. Calculation details

## Sonuçlar

Ülkemiz seracılığında karşılaşılan en önemli problemlerden biri, plastik örtülü boru profilden üretilen sera sistemlerinin projelendirme ilkeleri dikkate alınmadan inşa edilmesidir. Alternatif bir çözüm olarak kullanımı kolay ve Windows tabanlı bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Bu araştırmadan aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır;

• Daha önce çeşitli çalışmalarda da kullanılmış olan Kleinlogel eşitlikleri basit bir bilgisayar programına dönüştürülmüştür.

- Program genel bir bilgisayar bilgisine sahip olan herkes tarafından kullanılabilir şekilde düzenlenmiştir.
- Çerçeve boyutları ve malzeme seçimlerinin kolayca değiştirilebilir olması farklı alternatif projelerin saniyeler içerisinde karşılaştırılabilmesini sağlamaktadır.
- Hesaplama sisteminin esaslarını oluşturan Kleinlogel eşitliklerinin geleneksel metotlarla oldukça yakın sonuçlar vermesi, prognozuğunun güvenilirliğini kanıtlamaktadır.

### Kaynaklar

- Anonim. 1987. Yapı Elemanlarının Boyutlandırmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara. TS 498.
- Anonim. 2008. Türkiye İstatistik Yıllığı. Türkiye İstatistik Kurumu. Ankara.
- Ekmekyapar, B. 1997. Tarımsal İnşaat. Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları No:151, Erzurum.
- Kendirli, B. 2006. Structural analysis of greenhouses: A case study in Turkey. Building and Environment. 41:864-871
- Kleinlogel, A. 1939. Rahmenformeln. Wilhelm Ernst und Shon, Berlin. 460 p.
- Kleinlogel, A. and A. Haselbach, 1963. Mehrfeldrahmen. Wilhelm Ernst und Shon, Berlin. 500 p.
- Kurtaga, C. 1995. Sera tasarım yaklaşımları üzerine bir inceleme ve İznik yöresine ait uygulama. (Yüksek Lisans Tezi). Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa. 107 s.
- Moriyama, H. and D. R. Mears,. 2003. Design considerations for small-scale pipe greenhouses to prevent arch buckling under snow load. ASAE Annual International Meeting, Las Vegas, Nevada, USA. Paper No. 034047
- Öztürk, Z. 1989. Çelik Yapılar. Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş. İstanbul.
- Sevgican, A., Y. Tuzel, A. Gul, and Z. R. Eltez, 2000. Protected Cultivation in Turkey. Agriculture Week 2000 Congress; pp. 679–708 (in Turkish).
- Şimsek, E., Ü. Kızıl, İ. Arıcı ve E. Yaslıoğlu. 1998. Sera Tasarımında Basit Çerçeve Sistemlerinin Hiperstatik Çözümlerinin Excel Paket Programında Çözüm Olanakları. 2. Ulusal Tarımda Bilgisayar Uygulamaları Sempozyumu, 28-30 Eylül 1998, Konya. s: 25-32
- Yüksel, A. N. 2000. Sera Yapım Tekniği. Hasat Yayıncılık Ltd. Şti. İstanbul