

Antepfıstığı Kabuğunun Çeşitli Yükler Altında İncelenmesi

Y. Müh. Günaydın KEPOĞLU(*)

Y. Müh. Ercüment ÖZÇELİK(**)

ve

Asosye Prof. Dr. Mehmet AKYURT(***)

ÖZET

Antepfıstığı kabuğunun, stereoskopik resimleri çekilmek suretiyle, geometrisi tesbit edildi. Geliştirilen bir sonlu eleman programı, çözümü bilinen bir probleme tatbik edildi; değişik parsellemeler denendi. Programın doğru çalıştığı tesbit edildi.

Müteakiben aynı matematik model antepfıstığı kabuğuna uygulanarak fıstık kabuğu çeşitli yüklemeler altında tetkik edildi. Kabuğun enlemesine tatbik edilen yüklemelere karşı daha hassas olduğu tesbit edildi.

GİRİŞ :

Türkiye, İran, Afganistan ve Pakistan'da olduğu gibi İtalya, İspanya ve Rusya'da da geniş ölçüde yetiştirilen antepfıstığı (pistacia vera), dağlık ve kıraç arazileri değerlendiren önemli bir bitki ve bu memleketlerden birçoğu için azımsanmayacak bir döviz kaynağıdır. Çeşitli iklim ve çevre şartlarında yetişebilen fıstık ağacı son yıllarda memleketimizin güneydoğu bölgesine ilâveten Akdeniz, orta ve batı Anadolu'da da hızla yayılmaktadır. Halen memleketimizde 19 milyonun üzerinde antepfıstığı ağacı olduğu bilinmektedir(1).

Antepfıstığı meyvası başlıca dört kısımdan teşekkül eder:

- Fıstık içi
- Fıstık zarı
- Fıstık kabuğu
- Dış kabuk

(*) GÜNSA Demetevler

(**) Makina Mühendisliği Bölümü ODTÜ

(***) Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı

Fıstık içi % 19 protein ve % 28 yağ ihtiva eden zengin bir gıda kaynağıdır(2). Fıstık kabuğunun ise % 54 ü lif olup(3) çok mukavim bir yapıya sahiptir. Dış kabukta yüzde 8 protein, yüzde 8 yağ, % 15 lif ve yüzde 6 potasyum vardır; kimyâ ve ilaç sanayiinde istifade edilir.

Fıstık cinsiyle değişmekle beraber olgun fıstıkların ortalama % 45-50 si tabii halde çıtlamış olarak hasat edilir. Depo edilecek fıstıklar güneşe serilmek suretiyle dış kabuklarıyla birlikte kurutulur. Bu halde iki ilâ ikibuçuk sene depolanabilen fıstıklar pazarlanmadan önce ıslatılır, devliplerde dış kabukları soyulur ve tekrar kurutulur. Çıtlamamış fıstıklar teker teker ve özel çekiçler kullanılmak suretiyle çıtlatılır, gerekirse kavrulur ve piyasaya arz edilir.

Takdir edileceği üzere fıstığın elle çıtlatılmasının, maliyet yükselmesi olmak üzere birçok mahzurları vardır. Antepfıstığının mekanik olarak çıtlatılması konusunda dünya literatürü şaşılacak kadar fakir olup, Amerika'da yapılan birkaç araştırma (1) dışında çalışmaların ODTÜ'nde yoğunlaştığı anlaşılmaktadır.

Yapısı itibariyle antepfıstığını andıran kaskor fasulyesiyle ilgili bazı çalışmalardan (4) mülhem olarak başlatılan bir araştırma sonunda şu ilginç münasebet tesbit edildi (5) :

$$F(t) = e^{-at^b}$$

Burada

$F(t)$, t darbe sonunda çıtlamamış fıstık yüzdesi, a ve b ise sabitlerdir. Bir başka deyişle antepfıstığında çıtlama darbe sayısıyla yakından ilgilidir ve fıstık kabuğu yorulmaktadır.

Daha sonra antepfıstığının içbasınçla çıtlatılmasını inceleyen Kurttekin ve Akyurt (2) bu maksatla özel bir deney aleti geliştirerek (6) patlatma deneyleri yaptılar. Gerek bu çalışmalardan, gerekse Kepoğlu'nun (7) statik yağ basınçlı deneylerden görüldü ki fıstık kabuğunun içbasınçla çıtlatılabilmesi için 20 kg/cm² mertebesinde bir basınç farkına ihtiyaç vardır.

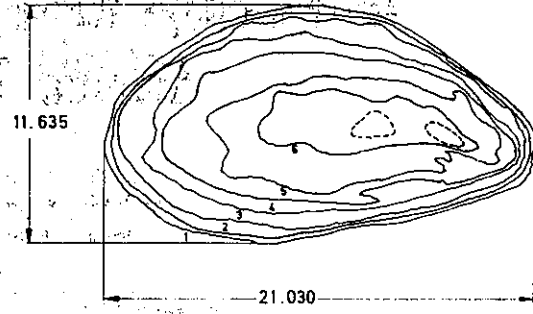
Antepfıstığının mekanik olarak çıtlatılması hususunu inceleyen Sipahi (8) bu maksatla esas itibariyle basit bir deney cihazı geliştirdi. Fıstıkların bir hava cereyanında ivdirildiği bu deneyler sırasında ortalama 40 m/s hıza erişen fıstıklar belli açılar altında belli özellikleri olan satırlara çarptırıldı. Görüldü ki bu metodla fıstıkların % 50 den fazlasını çıtlatmak ve/veya içetmek mümkündür, ancak fıstık zayıfatını % 2 nin altına düşürmek mümkün değildir.

ANTEPFISTIĞI KABUĞUNUN ŞEKLİ :

Antepfıstığı kabuğunun bir kısım özellikleri cetvel 1 de özetlenmiştir. Lif oranının yüksekliğinden de anlaşılacağı üzere antepfıstığı kabuğu son derece mukavim bir yapıya sahiptir. Kalın ve kuvvetli olan bu kabuğun özel geometrisi de gözönüne alınınca bu fıstığın neden bir «çetin ceviz» olduğu kolayca anlaşılabilir.

Kabaca bir elipsoid biçiminde olan fıstık kabuğunun matematik bir modelinin çıkarılmasından önce kabuk geometrisinin yeterli hassasiyetle bilinmesine ihtiyaç vardır. Sonlu elemanlar metodu, geometrik özelliklerin çok önemli olduğu çözüm yollarından biri olduğu için, geometri tayininin üzerinde bilhassa durulmak gerekir.

Bu araştırma çalışması sırasında matematik modeli çıkarılmak istenen tipik bir fıstığın seçilmesini müteakip, geometri tayinine geçildi. Bu maksatla stereoskopik resimler çekilmek suretiyle fıstığın münhanileri çıkarıldı (Şekil 1).



Yükseklik : 5.09 mm
Münhaniler arası 1 mm dir.

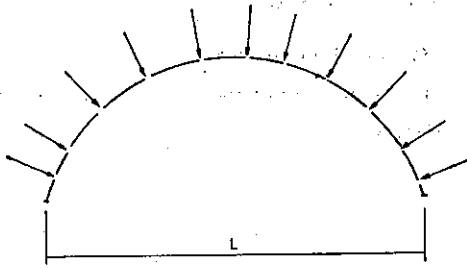
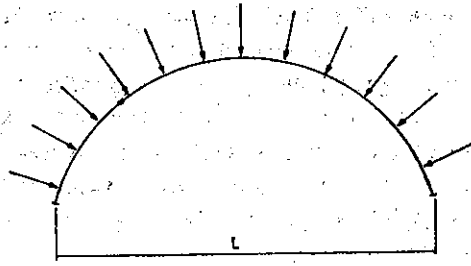
SEKİL 1. ANTEP FISTIĞININ MÜNHANİLERİ

CETVEL 1 ANTEPFISTIĞI KABUĞUNUN ÖZELLİKLERİ

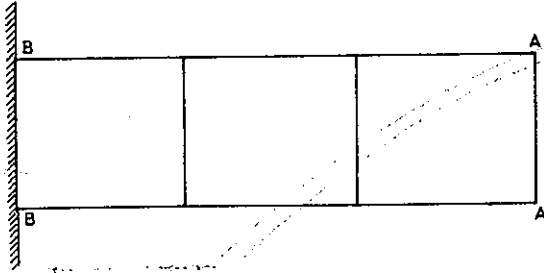
Lif	%	54
Protein	%	0.42
Yağ	%	0.56
Potasyum	%	0.22
Fosfor	%	0.02
Kalsiyum	%	0.06
Kül	%	0.42
Kuru nemlilik	%	4
Özlük ağırlık	%	1.24

SONLU ELEMANLAR METODUNUN FISTIK KABUĞUNA TATBIKİ :

Esas itibariyle sonlu elemanlar metodu, belli bir şekli; birçok yama (eleman) lardan meydana gelmiş gibi düşünmek suretiyle o şekle geometrik olarak yaklaşma yoludur. Kabuk problemlerinin sonlu elemanlar metoduyla çözümünde kabuğun, birbirlerine sadece köşelerinde temas eden birçok yamadan teşekkül ettiği farzedilir. Bu noktalardaki kuvvetler ve momentler, elemanlara tesir eden dış kuvvetlerle denkleştirilir. Bu noktalardaki eğimler ve esnemelerin de devamlılığı sağlanır. Bunların sonucu olarak her yama için bir takım lineer denklem elde edilir. Bu denklem takımları bütün kabuk için yazılıp, kabuğun tamamının denge durumu ifade edilince ise meydana gelen gerilim ve esnemelerin tayini için çözülmesi gerekli olan esas lineer denklem takım bulunmuş olur.



ŞEKİL 2. BİR KABUĞUN SONLU ELEMANLARA BÖLÜNÜŞÜ



		Zienkiewicz Sonuçları		Bulunan Sonuçlar	
Zienkiewicz Elemanı	Yazarların Elemanı	B B de Gerilim	A A da Uzama	B B de Gerilim	AA da Uzama
		0.19	0.20	0.227	0.12
	-	0.56	0.65	-	-
		0.51	0.53	0.67	0.53
	-	0.99	0.99	-	-
		1.00	1.00	0.745	0.65
		1.00	1.00	-	-

ŞEKİL 3 SATHİ GERİLİMLİ BİR KONSOL KİRİSTE ÇÖZÜM SİHHTİNİN ELEMANLA DEĞİŞİMİ

Şekil 2 de gerçek bir kabuk problemi, ve bu probleme sonlu elemanlar metodu ile yaklaşım tarzı gösterilmektedir. Mevcut yükleme şartları altında malzemenin lineer elastik olduğu farzedilirse

$$\{\sigma\} = \{D\} [\{E\} - \{E_0\}] + \{\sigma_0\} \quad (1)$$

ifadesi her hal için caridir.

Burada $\{D\}$ = malzeme özelliklerini havi elastisite matrisi

$\{E\}$ = dış tesirlerden doğan birim uzama

$\{E_0\}$ = ön tesirlerden doğan birim uzama

$\{\sigma_0\}$ = ön gerilimleri göstermektedir.

Benzer şekilde aşağıdaki ifadelerin de geçerli olduğu gösterilebilir (9).

$$\{F\} = \{K\} \{\delta\} \quad (2)$$

$$\{\sigma\} = \{D\} \{B\} \{\delta\} \quad (3)$$

$$\{\sigma\} = \{D\} \{E\} \quad (4)$$

$$\{E\} = \{B\} \{\delta\} \quad (5)$$

Yukarıda $\{F\}$ = Yaşama köşesindeki kuvvet vektörü

$\{K\}$ = Yamanın kavilik matrisi

$\{\delta\}$ = Yama köşesinin deplasman vektörü

$\{D\}$ = Yama elastisite matrisi

ve $\{B\}$ = Yama deplasman - birim uzama matrisidir.

Misal olarak sathi esneme hâli ele alınırsa, yukarıdaki $\{D\}$ matrisinin

$$\{D\} = \frac{E}{(1+\mu)(1-2\mu)} \begin{Bmatrix} 1-\mu & \mu & 0 \\ \mu & 1-\mu & 0 \\ 0 & 0 & 1-\mu \\ & & 2(1-2\mu) \end{Bmatrix}$$

şeklinde ifade edilebileceği gösterilebilir (10).

Üçgen şeklindeki yamanın içinde meydana gelecek deplasmanların lineer polinomlar halinde ifade edilmesi halinde (11) yukarıdaki $\{B\}$ matrisi de bulunabilir.

Sonlu elemanlar metodunun tatbikatında gözönünde bulundurulması gereken bir husus da düğümlerin numaralandırılışının büyük önemi haiz olduğudur. Düğümlere numara verilirken ilk önce en ufak boyut istikametinde gidilmelidir. Aksi halde elde edilecek neticeler yanıltıcı olabilir.

Antepfıstığı kabuğunun analizinde, mevcut bir program (9) bazı değişiklikler yapılmak ve disk kullanılmak suretiyle IBM 360/G makinasına uyar hale getirildi. Lineer denklemlerin çözümünde Gaus eleme metodundan istifade edildi. Tabiatıyla bütün elemanların mafsall koordinatları, yamaların özellikleri, sınır şartları ve yükleme durumları tasrih edildi. Gerilim yığılımı olması beklenen bölgelerde elemanlar sıklaştırıldı.

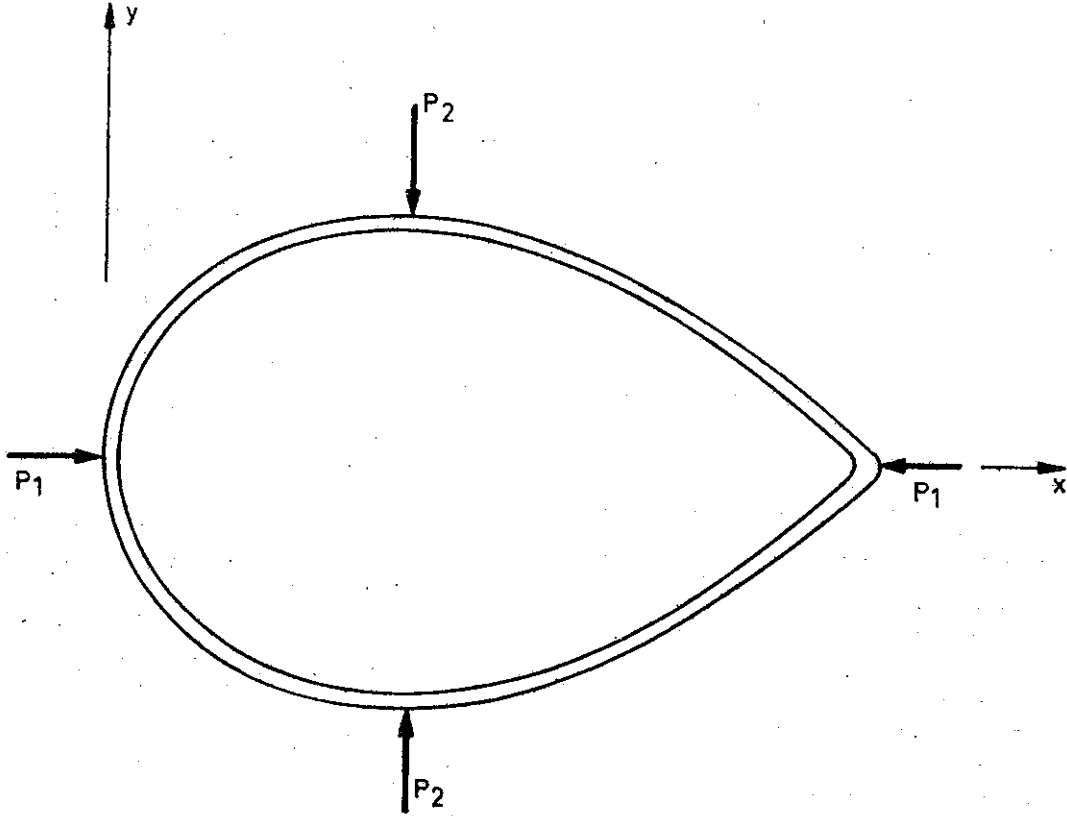
Programın doğru çalıştığına kanaat getirmek maksadıyla önce bir konsol kiriş problemi ele alındı (Şekil 3). Düz üçgenlerin kullanıldığı bu sathî gerilim probleminde, üçgen dağılımı değiştirilmek suretiyle çeşitli çözümler

elde edildi. Şekil (3) deki cetvelde özetlenen Zienkiewicz (9) in neticeleriyle karşılaştırılınca, geliştirilen programın verdiği sonuçların tatminkâr olduğu anlaşılmaktadır. Analitik neticeler, BB deki gerilim ve AA daki uzama için, 1.00 dir. Burada üçgen sayısı arttıkça hassasiyetle meydana gelen artış bariz olarak görülebilmektedir.

Geliştirilen çözüm tarzının fıstık kabuğuna tatbikinde kabuğun anizotrop yapıda olduğu kabul edilerek sathî gerilim için aşağıdaki parametreler esas alındı :

Çözüm I ve II için :

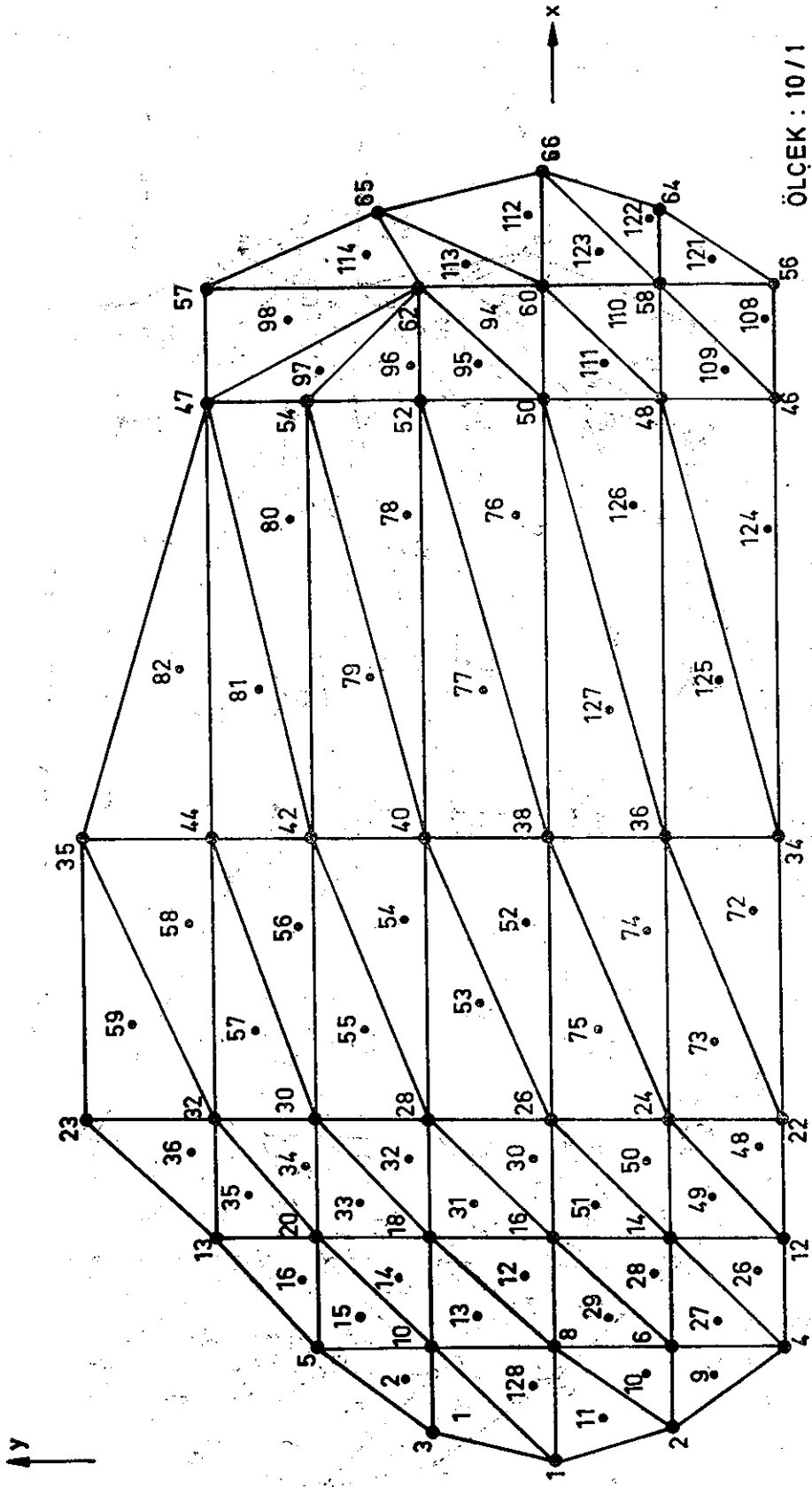
$E_1 = 875 \text{ kg/mm}^2$ (dokuya paralel yöndeki elastik modül)



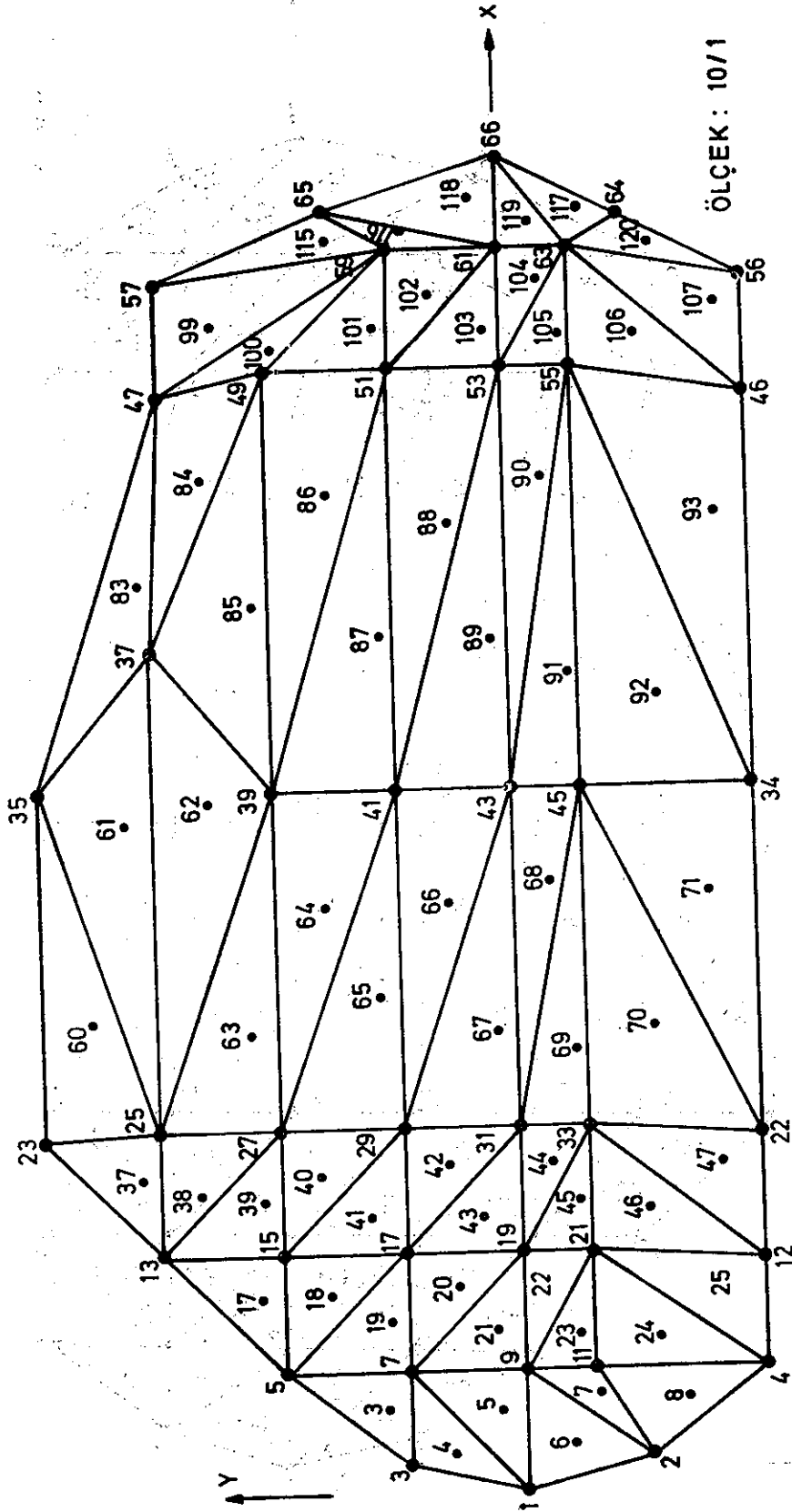
Ağız çizgisi düzleminde kesit

1. Yükleme tarzı : Sadece P_1
2. Yükleme tarzı : Sadece P_2

ŞEKİL 4. ANTEPFISTIĞININ YÜKLENİŞİ



ŞEKİL 5. ÜST SAKIN PARSELLENİSİ



ŞEKİL 6. ALT ŞAKIN PARSELLENİŞİ

CETVEL 2
AĞIZ ÇİZGİSİ BOYUNDAKİ YAMALARDA GERİLİMLER
(1. Yükleme Hâli)

Yama No.	48	72	124	36	59	82	47	71	93	37	60	83
Gerilim	-0.182	0.051	0.010	-0.085	-0.280	0.072	-1.140	-0.008	0.060	0.372	0.128	-0.036

CETVEL 3
BURUN ELEMANLARINDAKİ GERİLİMLER
(1. Yükleme Hâli)

Yama No.	11	9	26	122	121	108	1	2	16	112	114	98
Gerilim	0.170	-0.129	-0.262	-0.031	-0.030	0.018	-0.315	0.523	-0.086	-0.035	0.123	0.22
Yama No.	6	8	25	117	120	106	4	3	17	118	115	99
Gerilim	0.154	0.133	0.426	0.021	0.030	-0.218	-0.250	-0.184	-0.408	0.003	-0.014	0.037

CETVEL 4
AĞIZ ÇİZGİSİ BOYUNDAKİ YAMALARDA GERİLİMLER
(2. Yükleme Hâli)

Yama No.	48	72	124	36	59	82	47	71	93	37	60	83
Gerilim	0.146	-0.148	-0.048	0.009	0.233	-0.054	1.160	-0.100	-0.084	-0.282	-0.215	-0.034

CETVEL 5
BURUN ELEMANLARINDAKİ GERİLİMLER
(2. Yükleme Hâli)

Yama No.	11	9	26	122	121	108	1	2	16	112	114	98
Gerilim	-0.68	0.088	0.055	-0.023	0.005	-0.034	0.132	0.359	-0.017	0.005	-0.126	-0.006
Yama No.	6	8	25	117	120	106	4	3	17	118	115	99
Gerilim	-0.061	-0.058	-0.180	0.011	0.005	0.321	0.007	0.062	0.254	-0.011	0.001	-0.073

$E_2 = 350 \text{ kg/mm}^2$ (dokuya dik yöndeki elastik modül)

$G_2/E_2 = 0.6$, $G =$ kesme modülü

$\mu = 0.2$ (Poisson katsayısı)

Çözüm III için :

$E_2 = 570 \text{ kg/mm}^2$, $E_1/E_2 = 2$, $E_2/G_2 = 0.6$,
 $\mu = 0.2$.

Şekil 4 de kabağa uygulanan yükleme şekilleri özetlenmektedir. P_2 yükleme şekli ağız çizgisi düzlemi için caridir. Sonlu elemanlar metoduna göre kabağın, parselenış şekli şekil 5 ve 6 da görülmektedir.

Cetvel 2-5 de birinci ve ikinci yükleme şekillerine göre çözümler verilmektedir. Özet-

lenen çözüm hallerinden birincisinde P_1 yükleme düzeni; ikincisinde P_2 yükleme düzeni, üçüncüsünde ise P_1 yükleme düzeni esas alınmıştır.

Cetvel 6 ve 7 de her uç yükleme hâli için çeşitli bölgelerde gerilim değerleri ve ayrıca fıstığın o bölgesinde çatlama meydana gelebilmesi için tatbiki gerekli P kuvveti verilmektedir. Lif yönüne dik vaziyette çatlama için gerekli gerilimin 1 kg/mm^2 olduğu bu safhada farzedilmiştir.

TARTIŞMA VE NETİCE

Sonlu elemanlar metodunun tatbiki suretiyle kapalı çözümü mümkün olmayan antep-

CETVEL 6

AGIZ ÇIZGISI YAMALARINDAKİ ORTALAMA GERİLİMLER

Yamalar	1. Yükleme Hâli	2. Yükleme Hâli	3. Yükleme Hâli
47 + 48	— 0.662	0.652	0.018
36 + 37	0.143	0.131	0.009
59 + 60	— 0.031	0.009	0.009
71 + 72	0.022	0.124	0.098
82 + 83	0.018	0.044	0.056
93 + 124	0.035	0.061	0.010

CETVEL 7

ÇITLAMA İÇİN GEREKLİ P KUVVETİ, kg

Yamalar	1. Yükleme Tarzı	2. Yükleme Tarzı	3. Yükleme Tarzı
59, 60	32.3	111.0	111.0
71, 72	45.8	8.0	10.2
82, 83	55.5	22.8	18.0
93,124	30.0	16.4	100.0

fıstığı kabuğunun değişik yükler altında incelenmesi mümkün olmaktadır. Malzeme özellikleri hakkında yapılan kabullenmelere bağlı kalmak kaydıyla fıstıkta çitlamanın, ikinci yükleme tarzındaki tatbikatta daha önce teşekkül edeceği yukarıdaki analizden anlaşılmaktadır (Bakınız Cetvel 7).

Antepfıstığı kabuğunun matematik modelinin yukarıda olduğu şekilde elde edilmesinden sonra kabuğu burada incelenenlerin dışında çok çeşitli yükleme tarzlarının etkisi altında incelemek bir zorluk arz etmemektedir. Bu takdirde yükleme tarzını gösteren ilgili yük vektörünün programa dahil edilmesi otomatik çözüme başlamak için kifayet etmektedir.

KAYNAKLAR

- 1 Bilgen, A.M. (1973) Antepfıstığı, Gıda - Tarım ve Hayv. Bakanlığı yayını, Ankara.
- 2 Kurttekin, Y. ve Akyurt, M. (1973) Antepfıstığı çitlamasında basıncın yeri, TBTAI Isı Tekn. Dest. Ünitesi, Yayın No. 15, Ankara.
- 3 Bloch, F. ve Brekke, J.E. (1960) Processing of pistachio nuts, Econ. Bot. 14 (2) 129-144.
- 4 Burmistrova, M.F. vb. (1963) Physicomechanical properties of agricultural crops, S Jonsen, Kütüs.
- 5 Altınay, V. (1971) Desing and construction of a fatigue cracker, Yayınlanmamış MS tezi, ODTÜ Makina Müh. Böl., Ankara.
- 6 Akyurt, M. ve Kurttekin, Y (1973) Bir vana mekanizmasının dinamik analizi, TBTAI IV. Bilim Kongresi zaııtları, Ankara.
- 7 Akyurt, M. ve Özçelik, E (1974) On the cracking and shelling of pistachio nuts, Iranian Congress in Mechanical Engineering, Mart, Shiraz.
- 8 Sipahi, S. (1974) Desing of a processor for splitting and shelling of pistachio nuts, Yayınlanmamış MS tezi, ODTÜ Makina Müh. Böl., Ankara.
- 9 Zienkiewics, O.C. (1971) The finite element method in engineering science, McGraw - Hill.
- 10 Kepoğlu, G. (1974) Theoretical determination of the pistachio nut shell behaviour under different loadings, using finite element method, Yayınlanmamış MS tezi, ODTÜ Makina Müh. Böl., Ankara
- 11 Akyurt, M. (1970) Hücreli cisimlerde uzama - gerilme analizi, Mühendis ve Makina, 155, 364 - 366.