

ANKASTRE KİRİŞ TİPİ YÜK HÜCRELERİNİN TASARIM KRİTERLERİ

Dr. Şakir Baytaroğlu , Hakan Ö. Özbay***

NUROL Makine ve San. A.Ş.* , ÖZMAK Mühendislik San. Tic. Ltd.**
Tel: 312 267 05 30, e-mail : sakirb@superonline.com.tr , sakirb@nurol.com.tr
*GAZİ Üniversitesi MMF, Makine Mühendisliği Bölümü Öğretim Görevlisi

ÖZET

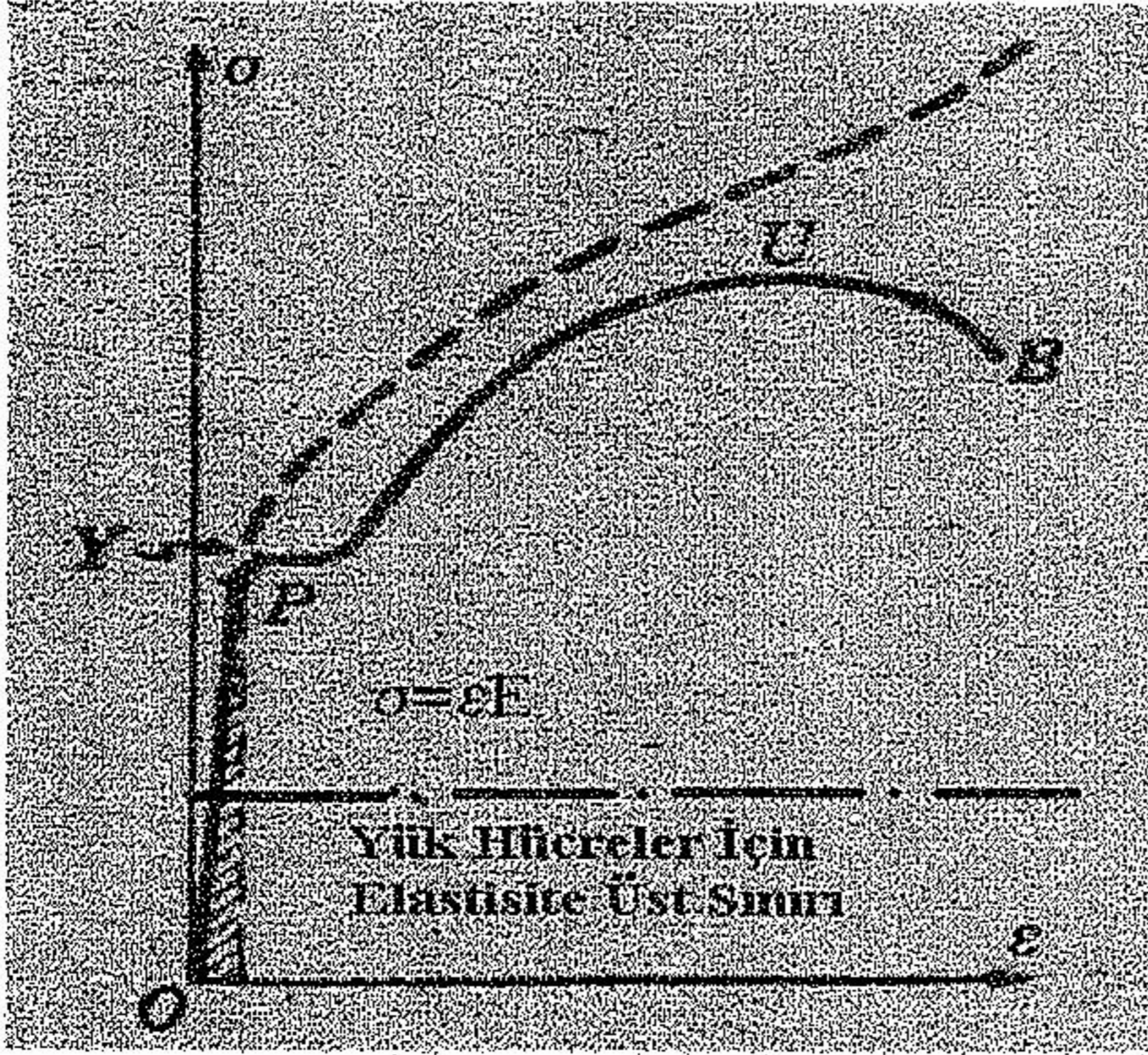
Kuvvet ölçümlerinde kullanılan yük hücrelerin tasarımı kriterleri özellikle ülkemizde imal edilen veya yurt dışından ithal edilen ve ölçü ayarlar kanunun kapsamında olan her türlü ölçü ve teçhizatının; imalatı, marka kaydı ve tip onayı, ilk ve periyodik muayeneleri ile damga işlemler bu kanun çerçevesinde yapılmaktadır. Dolayısıyla ticari faaliyetlerde (Teraziler, Kantarlar, Otomatik Dolum Sistemleri) kullanılan yük hücreleri normal mekanik ve metrolojik karakteristikleri yanı sıra ülkemizde de uygulamaya geçen Avrupa Topluluğunun otomatik tartı aletleri ile ilgili direktiflere uymak durumundadır. Bu yayında , eğilmeye maruz kalan ankastre kiriş tipi yay dönüştürücülerin tasarımında kullanılan temel kriterler ele alınmıştır. Anahtar Kelime : Yük Hücresi, Yay Elemanı , Kuvvet Dönüştürücüsü, Gerinim Ölçer, Sonlu Elemanlar ile Analiz (FEA)

GİRİŞ

Yüksek kapasiteli tartım sistemlerinde (Teraziler, Kantarlar, Otomatik Dolum Sistemleri) sıkça kullanılan ağırlık algılama sistemi "Ankastre Kiriş Tipi " (Bending Type Load Cell) yük hücreleridir. Ankastre kiriş tipi yük hücrelerin en kritik mekanik parçası yay elemanıdır. Genel olarak ifade edildiği şekliyle, yay elemanının fonksiyonu, uygulanan yüke tepki göstermek ve bunu yaparken yük etkilerini, yük ölçümü ile yerleştirilmiş olan gerinim ölçerler aracılığıyla şekil değişimi algılanabilir duruma getirmektir. Bu tanımlamada açıkça ifade edilmemiş olan husus; yay elemanının ölçüm alanındaki birim şekil değişim seviyesinin , uygulanan yüklerle doğrusal ve elastik bir ilişki içinde olduğudur. Bir başka deyişle, ideal bir kuvvet dönüştürücüsü, uygulanan yüklerle oluşan birim şekil değişimi arasında lineer bir ilişki istenmektedir. Son derece basit gibi görünen bu ifade, bir çok parametreyi (ekonomik ve teknik-işlevsel) eşzamanlı olarak gerçekleştirilmesi zorunluluğundan konuyu karmaşık hale getirmektedir. Ayrıca normal makine mühendisliği uygulamalarında ikinci ve üçüncü dereceden önemli konular bu tip uygulamalarda birinci dereceden öneme sahip duruma gelmektedir.

Temel Tasarım Kriterleri,

Aşağıdaki kriterler genel olarak tüm kuvvet dönüştürücüsü yay elemanlarının aynı şekilde uygulanabilir. Yay elemanlarının tasarımında kullanılan kriterler birbirlerinden bağımsız değildir; aksine birbirleri ile karşılıklı ilişkili ve bağımlıdır. Başka deyişle tasarımda amaçlanan özellikler, yük hücresinin malzemenin mekanik ve boyutsal özelliklerine, şekil değiştirme elemanının tipine, algılama elemanının elektriksel özelliklerine, ortam koşulları gibi bir çok parametrelere bağımlıdır. Mekanik özellikleri bakımından; yük hücrelerin imal edildiği malzemenin normal gerinim –gerilme eğrisinin lineer bölgede ve elastik sınır içerisinde kalma koşulu vardır. Bir çok malzeme için elastik sınırın ve orantı sınırının (P



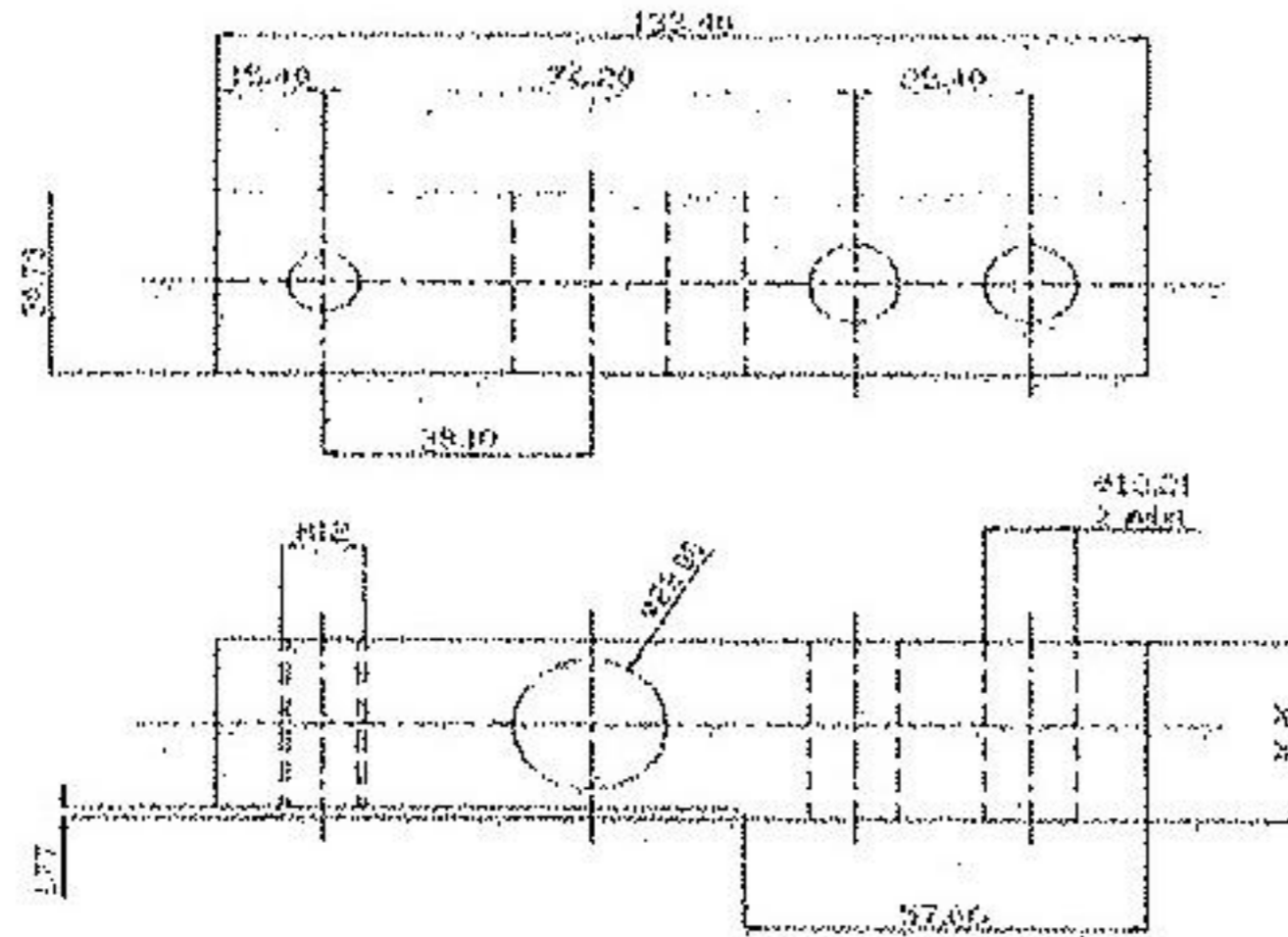
Şekil 1 Gerilme ve Gerinim Diyagramı

noktası) sayısal değerleri hemen ,hemen aynıdır ve bazen bir birlerinin yerine kullanılır. Hem bu yanlış kullanımı engellemek aynı zamanda aşırı yüklemelerde (Over Load) yük hücresini korumak maksadıyla genelde lineer bölgede elastik üst sınırın yarısı alınır. Daha bir genel bir ifade ile , malzeme birim elementinde birbirine dik üç normal gerilme $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$, ile zorlanır. Bu gerilmeler, $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$, gerinimlerini oluşturur. Poisson etkisinin yanlamasına oluşan gerinim bileşenlerin doğrudan gerinimlere eklendiği takdirde o zaman Hooke kanununun genel ifadesini ulaşıyoruz [1,2,3];

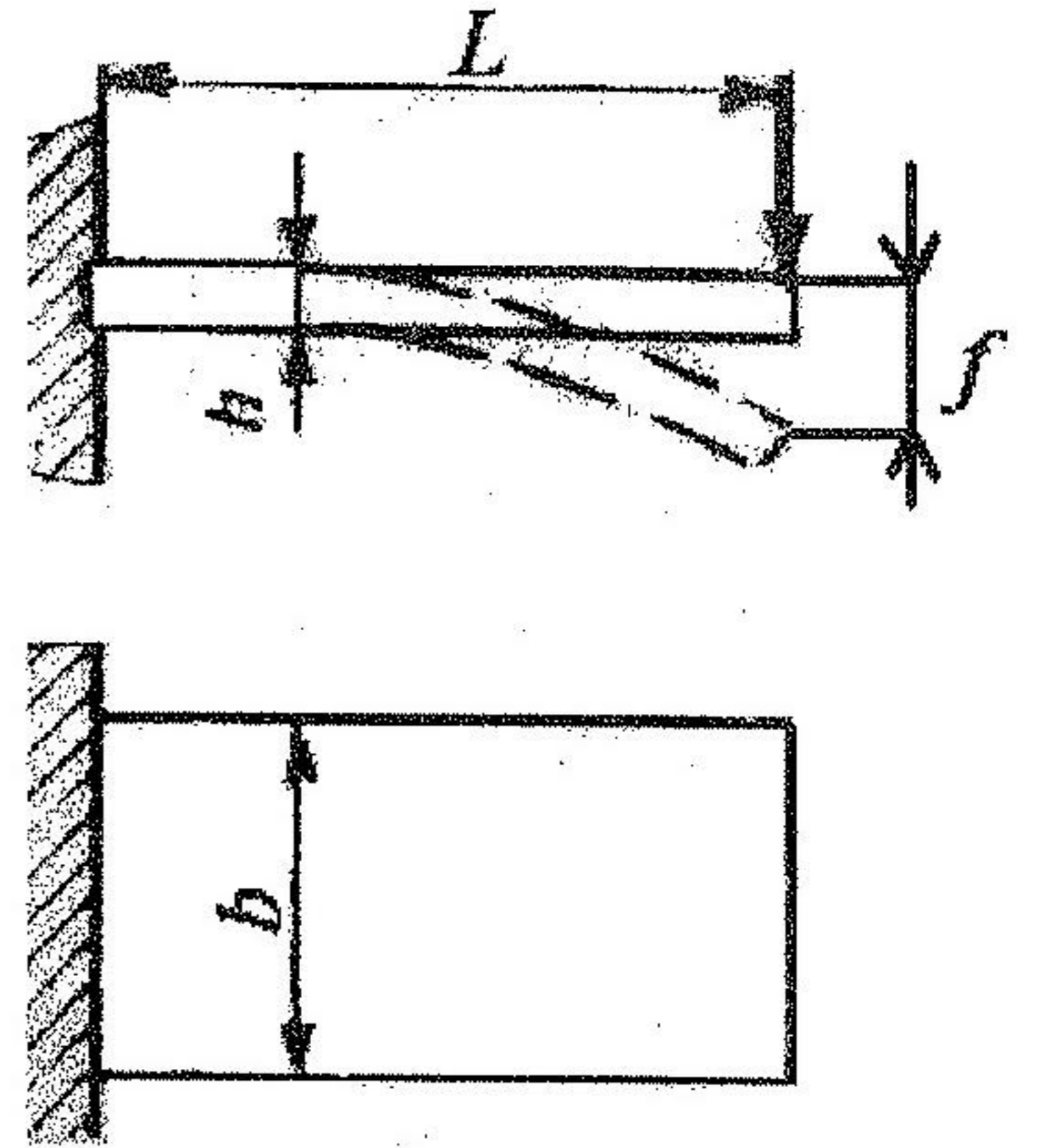
$$\epsilon_x = \frac{1}{E} [\sigma_x - \mu(\sigma_y + \sigma_z)]$$

$$\epsilon_y = \frac{1}{E} [\sigma_y - \mu(\sigma_x + \sigma_z)]$$

$$\epsilon_z = \frac{1}{E} [\sigma_z - \mu(\sigma_x + \sigma_y)]$$



Şekil 2: Ankastre Kiriş Tipi Yük Hücresi



Yay elemanını boyutlandırılması için ise Timoshenko'nun denklemleri kullanılmaktadır. İdeal yay elemanı için ise malzemenin sürekli ve içi gerinimlerin giderilmiş olduğu kabulü

yapılmaktadır. Bu tip yay elemanlarında azami eğilme moment değeri ankastre bölgesinde oluşur [6,7,8]. Moment denkleminde yay elemanının ön boyutlandırılması yapılır. Yay elemanının sabitleşme noktasında oluşan azami moment değeri ;

$$M_i = Pl = W\sigma_a = \frac{bh^2}{6}\sigma_a$$

olarak bulunur. Bu ifade yardımıyla yay elemanının malzemesi biliniyorsa yay elemanının boyutlandırılması yapılır veya azami yük altında oluşan gerinim değeri bulunur. Bu değer azami akma sınırı ile karşılaştırılarak malzemenin yeterliliği kontrol edilir. Aynı şekilde azami yük altında oluşan sehim değeri tarafsız orta eksen denklemi yardımıyla hesaplanır. Bu hesaplama aşırı yük altında oluşabilecek azami sehimi sınırlandırmak maksadıyla gereklidir. Moment denkleminde yararlanırsak;

$$M_x = -Px$$

şeklinde ifade edilir. Tarafsız orta eksenin denklemi ise ;

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{Px}{EI}$$

kesit atalet momentinin sabit olduğu varsayımı yaparsak ve yukarıdaki denklemin entegrali alındığı takdirde sehim değeri ;

$$y = \frac{Px^2}{6EI} + C_1x + C_2$$

sonucuna varılır,

C_1 ve C_2 entegral sabitlerinin belirlenmesi için ise $x = l$, $\frac{dy}{dx} = 0$ ve $y = 0$ alındığı takdirde

kuvvetin uygulandığı noktada azami sehim değeri;

$$y_{\max} = \frac{Pl^3}{3EI} = 4 \frac{Pl^3}{Ebh^3}$$

Yukarıdaki denklem içersine müsaade edilen akma sınır değerini yazarsak;

$$f = \frac{2l^2\sigma_a}{3hE}$$

denklemini elde edilir. Bu tipteki bir yay elemanının "0" dan azami sehim değerine kadar depoladığı veya yaptığı mekanik iş denklemi ise;

$$L = \frac{Pf}{2} = \frac{2P^2l^3}{Ebh^3} = \frac{bhl\sigma_a^2}{18E}$$

yay hacmi,

$$V = blh$$

olduğuna göre ;

$$L = \frac{1}{18}V \frac{\sigma_a^2}{E} = kV \frac{\sigma_a^2}{E}$$

"k" değeri boyutsuz bir sayıdır ve yay elemanının depoladığı enerji miktarını ifade etmektedir. Örneğimizde $k=0,55$. Bu şu anlamı taşımaktadır; dikdörtgen kesitli bir yay elemanının iyi bir elastisiteye sahip olmadığını göstermektedir. Bu sebepten ankastre tipi yay elemanlarında malzeme şekli boşaltmalar yapmak sureti ile elastisiteye artırılmalıdır.

Detaylı mukavemet hesapları gerektiren bu yay elemanları tüm parametreleri kapsayabilmek ve tüm etki faktörlerini göz önünde bulundurmamak maksadıyla çözümlü sonlu elemanlar teorisi kullanılarak yay elemanının tasarımı yapılmıştır [3,6].

Doğal Frekans



Yük hücresi için belirlenmiş hassasiyet ve diğer işlevsel gereksinimlerin sonucu, yay elemanının doğal frekansı olabildiğince yüksek olmalıdır. Bu kriter normal olarak gereksiz kütlesi olmayan (Hafif) rijit ve düşük elastikiyetli bir tasarımı gerektirmektedir. Titreşen bir sistemin genel

Şekil 3: Titreşen Bir Sistemin Şematik Gösterimi

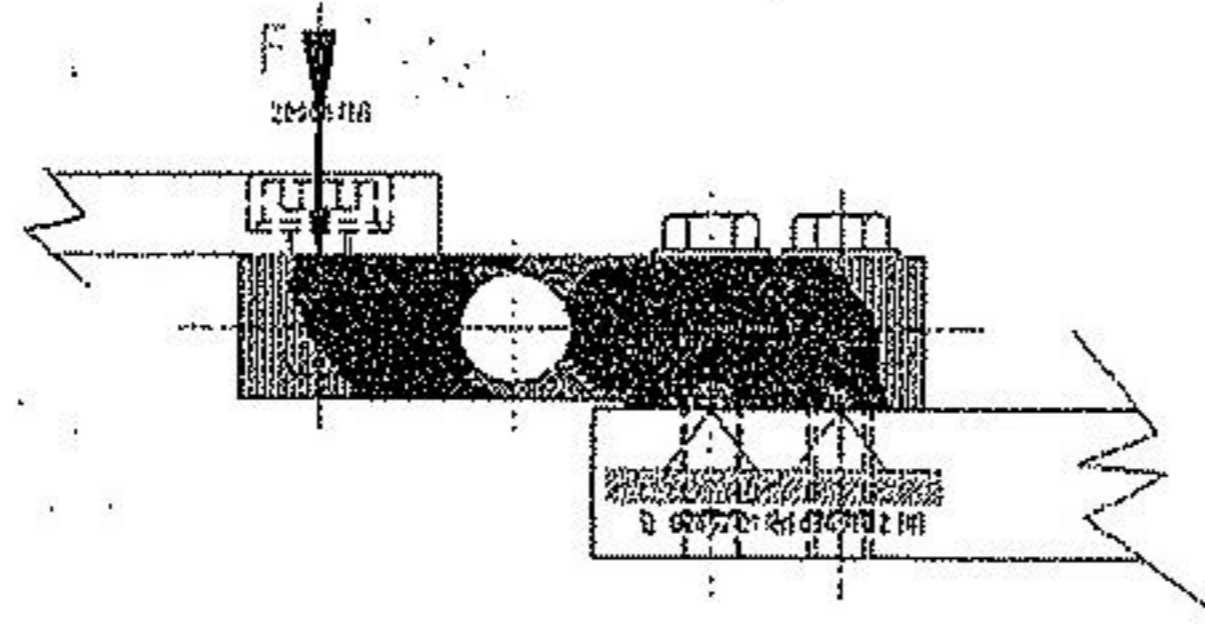
$$\text{matematiksel denklemi ; } \frac{d}{dt} \left(\frac{mx^2}{2} + \frac{cx}{2} \right) = Px - N_{dis}$$

m - yük hücresinin kütlesi, c -Yük hücresinin rijitliği, P - Kuvvet değeri, x - sehim, N_{dis} - Yayılan güç, Bu denklemin bazı çözümleri sistemin rezonansa girmemesi için çözüm getirebilmektedir [8,11].

Azami Yükte Ölçüm Bölgesinde Şekil Değişirme

Kiriş tipi yay elemanının ilk aşamasında, yay elemanının boyut oranları, azami yük altında ölçüm bölgesinde önceden belirlenmiş olan birim şekil değişim değerlerine ulaşılacak şekilde seçilmesi gerektirmektedir. Yay elemanının malzemesinin doğrusal birim şekil

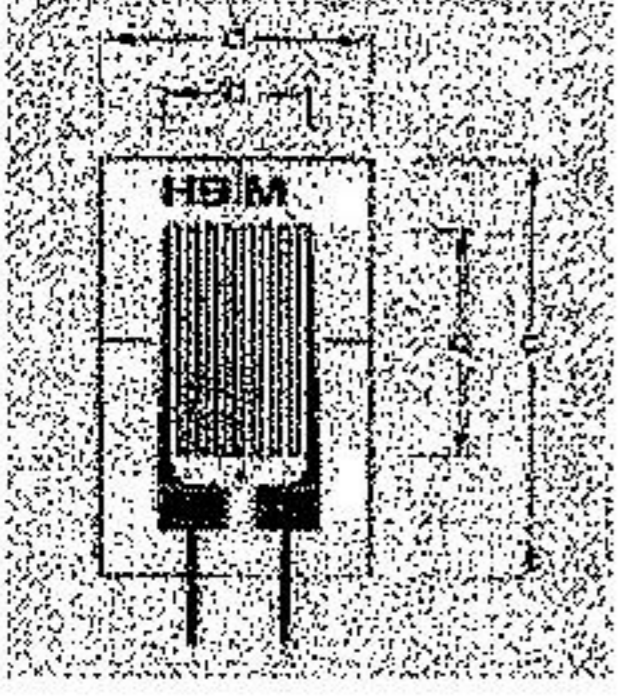
Element	Value
1	1000.000
2	1000.000
3	1000.000
4	1000.000
5	1000.000
6	1000.000
7	1000.000
8	1000.000
9	1000.000
10	1000.000
11	1000.000
12	1000.000
13	1000.000
14	1000.000
15	1000.000
16	1000.000
17	1000.000
18	1000.000
19	1000.000
20	1000.000
21	1000.000
22	1000.000
23	1000.000
24	1000.000
25	1000.000
26	1000.000
27	1000.000
28	1000.000
29	1000.000
30	1000.000
31	1000.000
32	1000.000
33	1000.000
34	1000.000
35	1000.000
36	1000.000
37	1000.000
38	1000.000
39	1000.000
40	1000.000
41	1000.000
42	1000.000
43	1000.000
44	1000.000
45	1000.000
46	1000.000
47	1000.000
48	1000.000
49	1000.000
50	1000.000
51	1000.000
52	1000.000
53	1000.000
54	1000.000
55	1000.000
56	1000.000
57	1000.000
58	1000.000
59	1000.000
60	1000.000
61	1000.000
62	1000.000
63	1000.000
64	1000.000
65	1000.000
66	1000.000
67	1000.000
68	1000.000
69	1000.000
70	1000.000
71	1000.000
72	1000.000
73	1000.000
74	1000.000
75	1000.000
76	1000.000
77	1000.000
78	1000.000
79	1000.000
80	1000.000
81	1000.000
82	1000.000
83	1000.000
84	1000.000
85	1000.000
86	1000.000
87	1000.000
88	1000.000
89	1000.000
90	1000.000
91	1000.000
92	1000.000
93	1000.000
94	1000.000
95	1000.000
96	1000.000
97	1000.000
98	1000.000
99	1000.000
100	1000.000



Şekil 4 : FEA Analizi Yapılmış

değişimi göstermemesi, gerinim ölçerin yorulma ömrü, cihaz uyumluluğu gibi çeşitli sınırlayıcı etkenlerden dolayı, birim şekil değişimi seviyesi genellikle 1000 -1700 $\mu\text{m}/\text{m}$ arasında tutulmaktadır. Tam köprü aktif gerinim ölçerli bir sistemde ve gerinim ölçer katsayısı $k=2$ için 1500 $\mu\text{m}/\text{m}$ 'lik bir şekil değişirme 3mV/v bir çıkış sinyali vermektedir [8,11]. Dolayısıyla gerinim ölçerin, yay elemanında geçinimin düzgün bir dağılım gösterdiği ve deformasyonun azami olduğu bölgede yerleştirilmelidir. Şekil 4'te FEA analizi yapılmış bir yay elemanında gerinimlerin dağılımını göstermektedir. Gerinim ölçer yay elemanlarında yapılmış olan deliğin üst ve alt yüzeylerine yerleştirilmelidir. (Yeşil renkli bölge) [8,11,12,13].

Algılama Elemanının



Kiriş tipi kuvvet dönüştürücüsünün elektriksel çıkış sinyalinin değeri, ölçme bölgesindeki müsaade edilebilir azami birim şekil değişimi seviyesi ile sınırlanmış olduğundan ; ölçüm çıkış sinyalinin azami değere ulaşabilmesi; algılama elemanının tüm alan üzerinde düzgün şekilde yayılmış olmalıdır. Eğer uygulama imkanı var ise , algılama elemanının bağlantı uçları en düşük birim şekil değişiminin olduğu alanda yer alması , algılama elemanının yorulma dayanımı dolayısıyla ömrünü artırmaktadır [6,8,10,11].

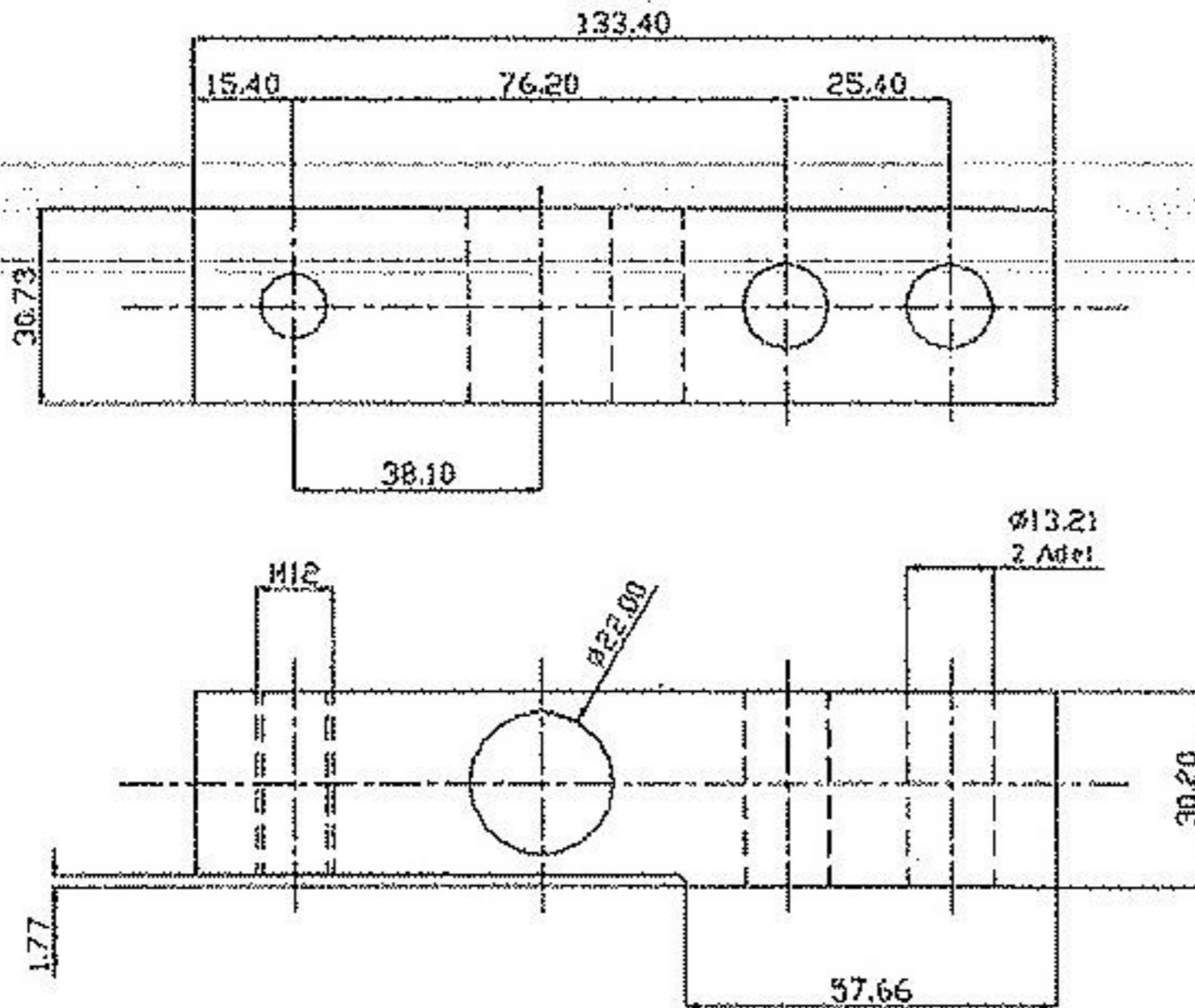
Şekil 5: Gerinim Ölçer

Gerinim Ölçerin Yapıştırıldığı Alan

Yay elemanının ölçme bölgesindeki birim şekil değişimi miktarı, tam yükleme anında istenen çıkış sinyalini sağlayacak uygun bir büyüklükte ve düzgün bir şekilde yayılmış olmalı; aynı zamanda da yay elemanı boyunca en büyük birim şekil değişiminin olduğu noktada yer almalıdır (Bakınız Şekil 4) . Genellikle, yorulma dayanımı, doğrusallık, sürenme ve histerezisten uzak olma gibi kuvvet dönüştürücüsünün performansını belirleyen özellikler, yay elemanının bütününde etkin olan gerinim seviyesinin düşürülmesi ile iyileştirilebilir. Bu konudaki araştırmalar; en iyi yay elemanla malzemeleri de dahil olmak üzere tüm katılar, mekanik gerilim altında belirli derecede mikro yapılarda mikro plastik davranımlar göstermektedir. Dolayısıyla , düşük seviyeli mekanik gerilmeler,ideal doğrusal elastik davranışta daha düşük sapmalar anlamına gelmektedir. Aynı zamanda daha rijit ve doğal frekansı daha büyük yay elemanlarını şart koşmaktadır [8,11].

Tek Parçalı Konstruksyonlar

Tekrarlanabilirlik, doğrusallık, histerezisten uzak olma gibi tüm değerlendirme parametreleri yay elemanının , tek bir kütükten tek parça olarak üretilen kuvvet dönüştürücüleri en iyi değere ulaşmaktadır. Yük altında yay elemanının şekil değiştirmesi çok küçük ve gözle görülmez olmasına rağmen, gerçek ve sonlu bir büyüklüktür. Bu koşullar altında, her türlü



Şekil 6: Tek Parça Kiriş Tipi Yay Elemanı

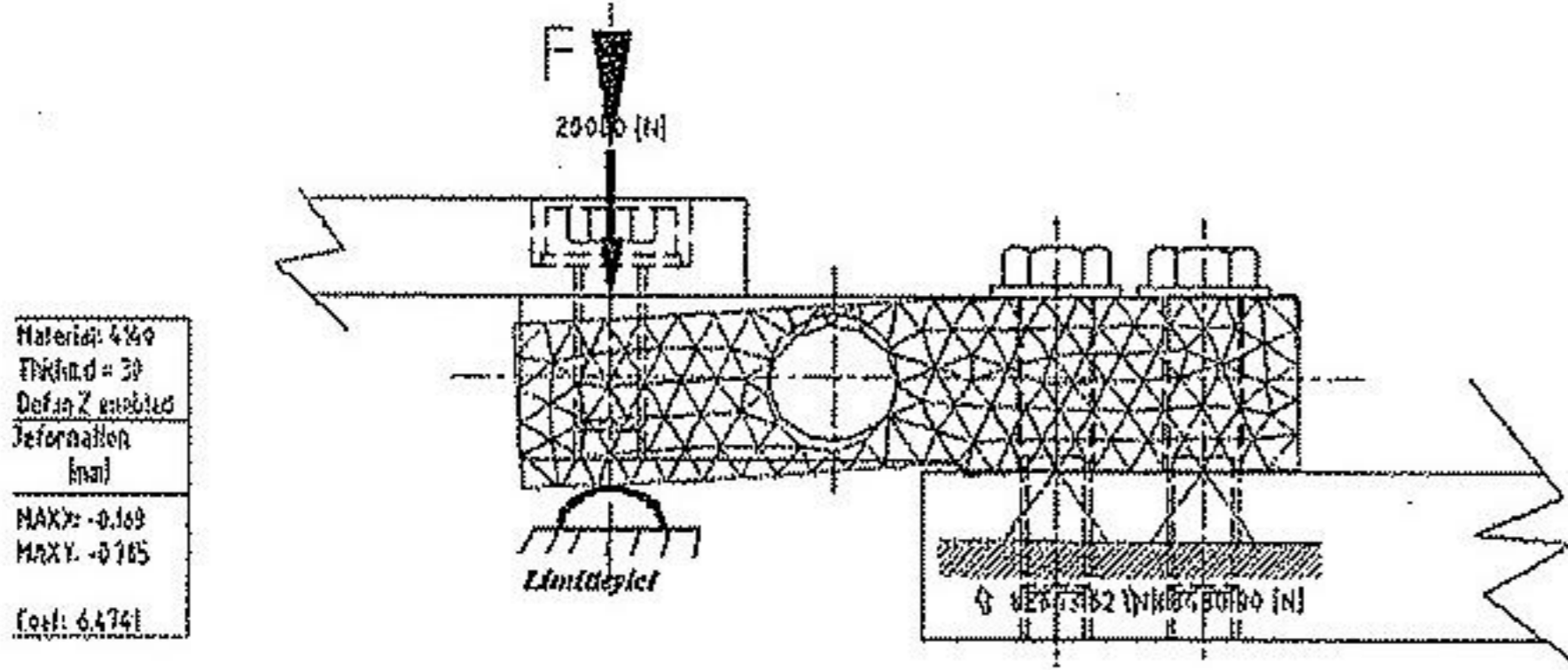
çok parçalı mekanik bağlantı, hareket ve sürtünmeye, dolayısıyla doğrusallıktan sapma ve histerezise neden olmaktadır. Kaynaklı bağlantılar da yorulma ve mikro plastik davranıma olumsuz etki eden kalıntı gerilmeler ve metalurjik etkiler nedeniyle tercih edilmemektedir.

Yay Elemanının Montajı Kolaylığı,

Kuvvet dönüştürücülerin pazar koşullarında rekabet edebilmesi için uygun fiyata sahip olmalıdır. İşlevsel koşullar dahilinde rekabet koşullarına ulaşabilmek için önemli miktarda entelektüel emek harcanmaktadır. Eğer ekonomik koşulu yerine getirmiyorsa; yani yay elemanı imalatı karmaşık ve pahalı ise tasarım önemini yitirmektedir. Gerinim ölçerin ölçme noktasına ekonomik çözümler yerleştirilebilmesi de aynı derecede önemlidir. Bir kuvvet dönüştürücüsünün gerektirdiği kalitede gerinim ölçer uygulaması, ideal koşullar altında bir gerinim ölçerin fiyatından çok daha pahalıdır. Bu nedenle yay elemanı tasarlanırken daima gerinim ölçerin en rahat şekilde yapıştırılabileceği şekilde düşünülmelidir. Hızlı ve kolay gerinim ölçer uygulamaları mümkün olduğu için en cazip olan tek başına yer alan düzgün ve dış yüzeyli yay elemanlarıdır. Diğer koşullar izin verdiği sürece yüzey hazırlıkları, yapıştırıcı uygulaması, gerinim ölçerler uygulaması, sıkıştırma, daha sonraki onarım kolaylığı, kablo bağlantısının yapılması gibi işlemlerin ne şekilde gerçekleşeceği önceden planlanmalıdır[8,11,12,13].

Aşırı yük Koruması (Over Load)

Bu alandaki deneyimler göstermiştir ki; dönüştürücülerin hatalı değerler vermelerinin temel sebebi kullandıkları noktada aşırı bir yüke maruz kalmalarıdır. Bazı dönüştürücü tasarımları aşırı yükleme anında bir mekanik limitleyici devreye gireceği şekilde gerçekleştirilmektedir. Bazıların ise yay elemanının içinde taşıyan gövde aşırı yüklemeyi üzerine almaktadır. Ancak genel bir kural olarak ticari tip kuvvet dönüştürücüleri, nominal yük kapasitelerinin %150-200 'ü kadar aşırı yüke hasarsız dayanabilmektedir. Ayrıca %300-500 gibi aşırı yüklemeye ise hasar başlangıcı olacak şekilde boyutlandırılmalıdır [8,11,12].



Şekil 7: Aşırı Yük Koruması

Ölçüm Ekseni

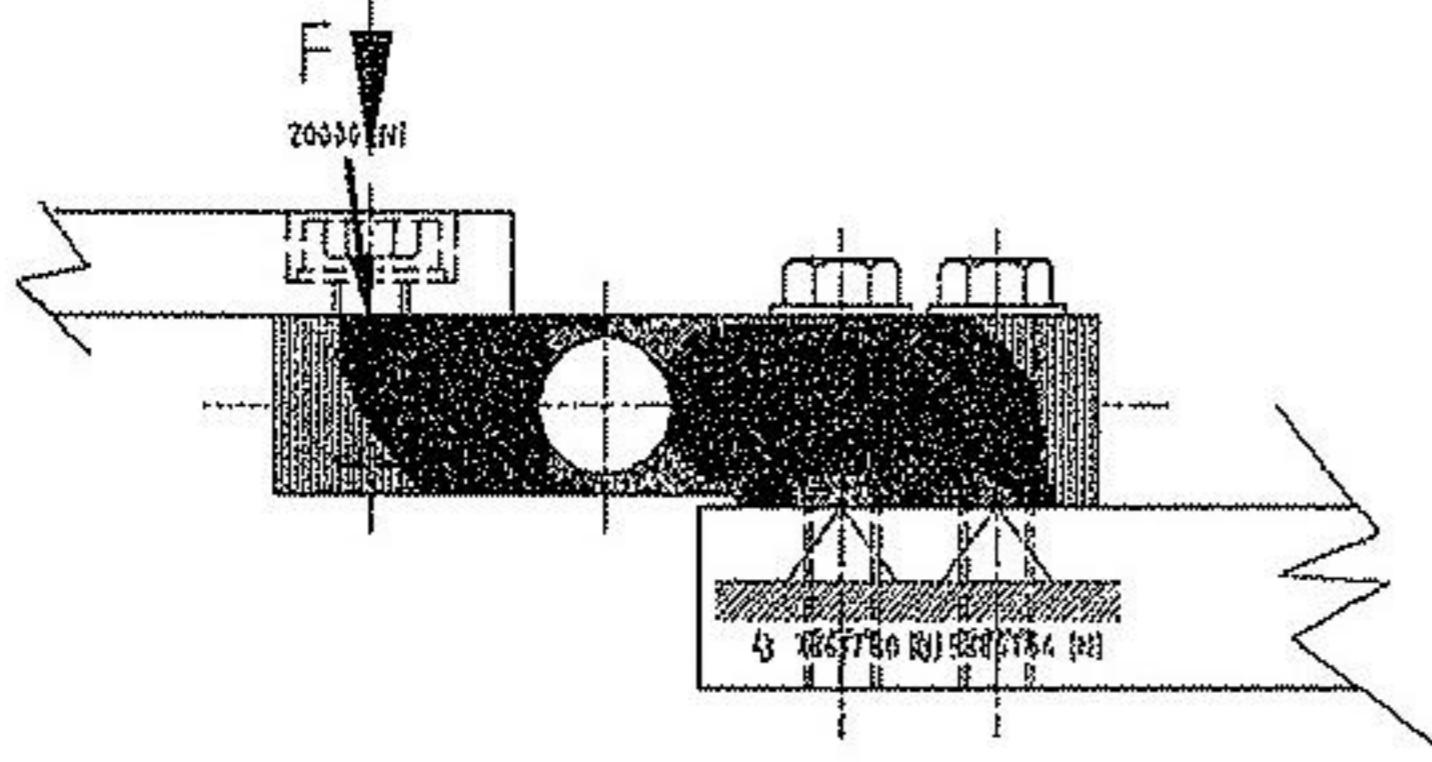
İdeal bir kuvvet dönüştürücüsü yalnız tek bir eksenindeki kuvvet bileşenlerine cevap vermelidir: diğer yönlerden gelen kuvvet ve moment değerleri sıfır olmalıdır. Aynı zamanda da kuvvet dönüştürücüsünün tepkisi, yükün uygulandığı noktadan en azından belirli bir alanda bağımsız olmalıdır. Her ne kadar, ideal bir kuvvet dönüştürücüsü tanımına ulaşmak mümkün değil ise de; dikkatli tasarım çalışmaları ile mükkemle yakın sonuçlar elde edilebilir. Bu durum, yalnızca yay elemanı ile değil aynı zamanda da gerinim ölçerin uygulandığı nokta ve şekil, destek ve muhafaza paçalarının da doğru seçilmesi ile oluşabilir.

Yay Elemanında Şekil Değişimi

Uygulanan yük altında ölçülebilir seviyede birim şekil değişiminin yay elemanında oluşabilmesi için, elemanın yeterli ve sonlu miktarda deforme olması gerekmektedir. Yükün uygulanması ile yay elemanının geometrisinde de bir takım değişiklikler olur ve yükün uygulandığı nokta, yük vektörünün yönünde sehim yapar. Yay elemanının geometrisinde oluşacak olan her türlü değişim, ölçümün doğrusallığından da bir sapma anlamına

Ankastre yay elemanında kiriş uzunluğunun çoğu zaman tek işlevi uygulanan kuvvet büyüklüğü, algılama elemanının yapıştırılmış olduğu ölçme bölgesinde eğilme momentine çevirmektir. Ancak, kiriş boyu aynı zamanda yükü uygulandığı noktanın sehimini, dolayısıyla da yer değiştiren kütle miktarını belirlemektedir. Sonuç olarak yay elemanı düşük bir doğal frekans sahip olma eğilimindedir. Yay elemanının tasarımı, Şekil 2'de gösterildiği gibi, şekil değişiminin ağırlıklı olarak gerinim ölçerlerin yerleştirildikleri noktada olacağı şekilde düşünülebilir. Ölçüm bölgesinde aynı miktarda şekil değişimi elde edilirken;

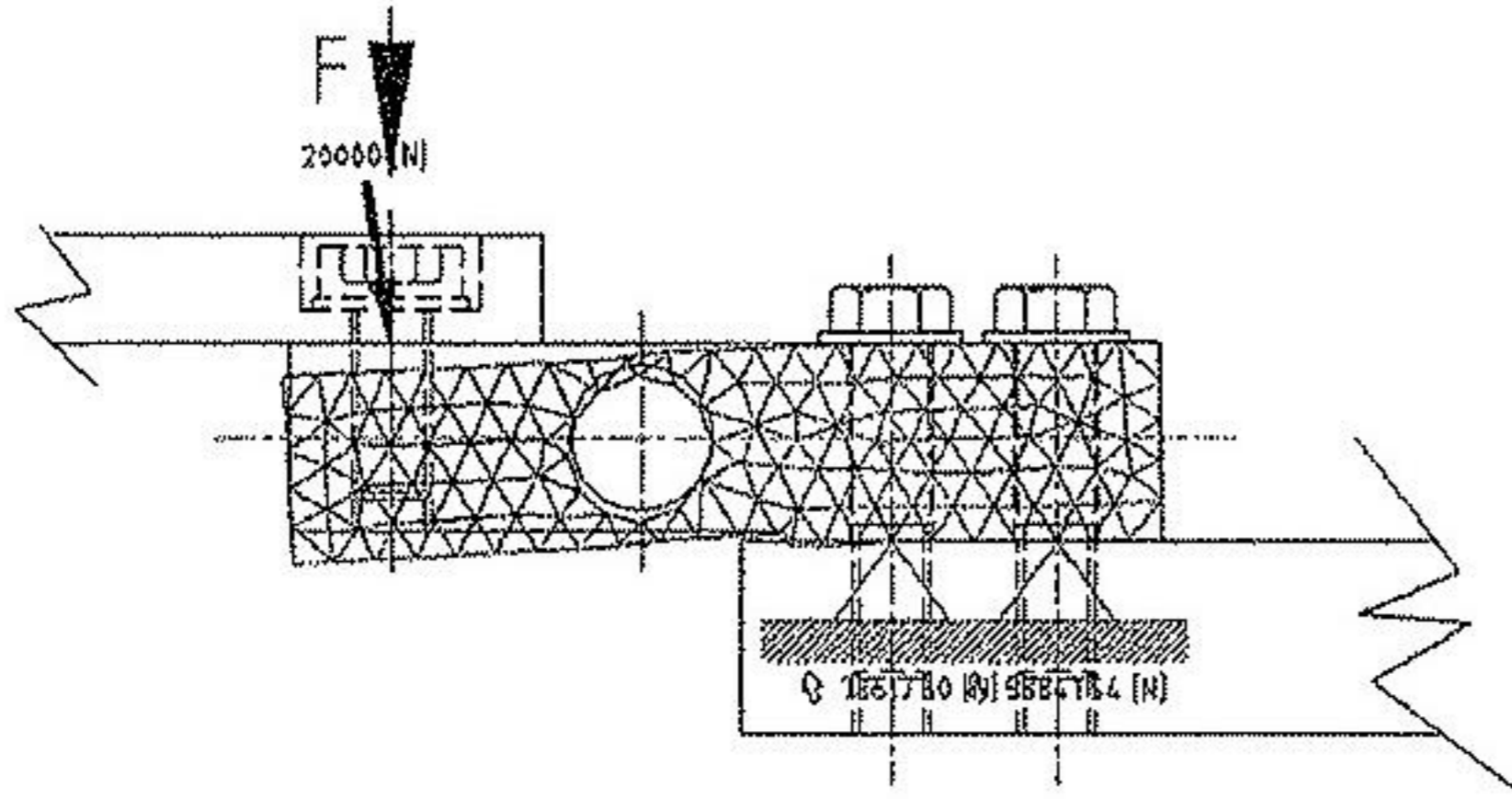
Material: S170
Thickness: 30
Def in Z: enabled
von Mises
Unit: N/mm ²
MAX: 692.79
643.64
614.29
605.94
517.69
548.74
519.49
490.55
441.79
432.05
404.49
375.15
346.30
317.45
288.60
259.75
230.90
202.04
173.21
144.36
115.51
86.66
57.81
28.96
MIN: 0.000



sehim miktarı azaltılmış, buna karşın kütle miktarı arttırılmıştır. Kiriş uzunluğunun kütle miktarının azaltılması ile ilave bir avantaj elde edilebilir. Bu ise ankastre kiriş elemanından kütle çıkarılması ile elde edilebilir. Kiriş malzemesi olarak çelik yerine alüminyum alaşımlarının kullanımı da gerinim ölçerlerin yapıştırılmış olduğu ölçme bölgesinde aynı miktarda şekil değişimi için daha yüksek doğal frekans, ancak daha düşük seviyeli sehim sağlamaktadır.

Tasarım aşamasında daha fazla değişiklik yapmak, basit bir ankastre yay elemanında üretim açısından daha karmaşık ve daha pahalı çözümlere yönlendirebilecektir.

Material: S170
Thickness: 30
Def in Z: enabled
Deformation (mm)
MAX: -0.153
MAX: 0.737
Coef: 6.9547



Ancak ne yazık ki; optimum bir yay elemanında aranan özelliklerin bir kısmı hala daha eksiktir. Çünkü, yükün uygulandığı noktanın hareket hattı doğrusal değil eğriseldir ve bu nokta sehim oluştuğunda yan hareket eder. Ayrıca yük bu koşullar altında kiriş ekseninin dik olarak uygulanamaz. Bu etkiler ortadan kaldırılmadığı Sürece dönüştürücünün doğrusallığı

Şekil 9 : Eğrisel Yük Uygulamasında FEA Analizi.

ve ölçüm doğruluğu sınırlandırılacaktır. Bu tip yay elemanı tasarımında istenmeyen bir diğer durum da ; Birim şekil değişimi kirişin dip noktasında en yüksek değerine sahip olup; gerinim ölçerlerin yapıştırılmış olduğu ölçme bölgesi boyunca doğrusal olarak azalmaktadır. Özellikle kısa kirişlerde daha belirgindir. Bu uygunsuzluk , kiriş genişliğinin gerinim ölçerlerin yapıştırılmış olduğu ölçme bölgesinde sabit mekanik gerilim oluşacak şekilde değiştirilmesi ile ortadan kaldırılabilir [5,6,7,8,12,13].

SONUÇ

Ticarette ilişkin alanlarda kullanılan yük hücrelerin tasarımında, sadece mekanik (malzeme, korozyon dayanımı, şoklar, aşırı yükleme gibi) ve metrolojik parametreler (linearite, histerezis, doğruluğu, yük hücresi nin doğruluk sınıfı gibi) göz önünde bulundurulması yeterli olmamaktadır. Bu parametrelerin yanı sıra elektronik tartı aletleri ile ilgili direktiflerini dikkate almak zorundadır. Görüldüğü gibi bir yük hücresinin tasarım süreci

birbirleri ile etkileşim içersinde olan bir çok aşamayı içermektedir. Yalnızca malzeme, algılama elemanı, bağlantı şekilleri, elektronik devre sorunlarına ayrı ayrı çözüm getirmek yeterli değildir. Dolayısıyla optimum teknik ve ekonomik çözümlere ulaşılabilmesi için bilgisayar destekli tasarım ve buna paralel olarak deneysel çalışmaları destekleyebilecek ölçme ve metroloji altyapı ile mümkündür.

REFERANSLAR

1. Baumann,E., 1976 Elektrische Kraftmesstechnik, VEB Verlag Technik Berlin, Germany,
2. Bauscheke, H., 1968 . Kraftmesstechnik, Deutsches Amt für Messwesen und Warenprüfung, Berlin-Berech Metrologie,DDR.
3. Bray,A., A., Barbato, G., Levi, R 1990. Theory and Practice of Force Measurement, Academic Press, ISBN 0-12-128453-0
4. Tok,T, .Özbay, H.Ö, SI- Uluslararası Birimler Sistemi, UME 94-07,
5. Baytaroğlu Ş., Özbay, H.Ö., Metrolojide Kullanılan Temel Ve Genel Terimler Sözlüğü, 1995-UME-003
6. HBM-Hotinger Baldwin Messtechnik GmbH-Germany. Ürün Katalogları,1995
7. Measurements Group- Vishay- USA. Technotes,1988-1989,
8. Özbay H.Ö. “ “100kN Kapasiteli, Basma Tipi, Gerinim Ölçerli, Kuvvet Dönüştürücüsü Tasarımı” Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, 1997.
9. Fank, S., Özbay, H.Ö., Baytaroğlu, Ş., “ Kuvvet Dönüştürücülerin Kalibrasyon Prosedürü. I. Ulusal Ölçümbilim Kongresi 1995 Eskişehir.
10. HBM- Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH-Germany. Ürün Katalogları.
11. Holister, G.S., 1967. Experimental Stres Analysis, Cambridges University Press.
12. Hoffman, K 1976. An Introduction to Strain Gage Techniques by Practical Experiments.HBM Publication, Germany.
13. Hoffman K. 1973 Measuring Elementary Load Cases With Strain Gages HBM Publication, Germany.