

GERİNİM ÖLÇERLİ KUVVET DÖNÜŞTÜRÜCÜSÜ YAY ELEMANLARININ YÜKLEME TÜRÜNE GÖRE İRDELENMESİ

Y.Müh.Hakan Özgür ÖZBAY, Yrd.Doç.Dr.Müh.Kenan URAL

Kocaeli Üniversitesi, Müh. Fak., Mak. Müh. Böl. Anıtpark, TR-41040, Kocaeli - TÜRKİYE
Tel : 0262 324 99 10 (5 hat)

ÖZET

Gerinim ölçerli bir kuvvet dönüştürücüsünün veya benzer şekilde bir yük hücresinin en kritik mekanik parçası olan yay elemanı, uygulanan yüke reaksiyon gösteren ve bunu yaparken de yükün yarattığı etkileri, yük ölçümü amacı ile yerleştirilmiş olan gerinim ölçerler vasıtası ile düzgün bir şekil değişimi bölgesi üzerinde gösteren parçalardır. Bu tebliğde yay elemanları, yük algı ve deformasyon türlerine göre gruplandırılmış; endüstriyel ve bilimsel uygulamalarda gerek tasarım gerekse seçim aşamalarında bir karar ve değerlendirme kriteri olarak ele alınmıştır.

Anahtar sözcükler : Gerinim Ölçer, Kuvvet Dönüştürücüsü, Yük Hücresi

1. GİRİŞ

Yay elemanının temel fonksiyonu, uygulanan yüke direnç göstermek, ve bunu yaparken de aynı zamanda yükün etkilerini, yük ölçümü amacı ile yerleştirilmiş olan gerinim ölçerler vasıtasıyla göstermektir. Bu tanımlamada açıkça ifade edilmemiş olan nokta, yay elemanının ölçüm alanındaki birim şekil değişiminin, uygulanan yükü doğrusal bir ilişki içinde olduğudur. Bir başka deyişle, ideal bir kuvvet dönüştürücüsü, uygulanan yükü, oluşan birim şekil değişimi arasında doğrusal bir orana sahiptir. Bu, tüm tasarımcıların elde etmeye çalıştıkları ulaşılmaması son derece güç bir sonuçtur. Konunun bu kadar zor olmasının temel nedeni, çok çeşitli işlevsel ve ekonomik parametrelerin eş zamanlı olarak gerçekleştirilmesi zorunluluğundandır. Burada dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta da, normal mühendislik uygulamalarında ikinci veya üçüncü derecede öneme sahip etkenlerin, bu özel alanda birinci dereceden öneme sahip olmalarıdır.

Kuvvet dönüştürücüsü yay elemanları, öngörülen şekil değişimi türüne bağlı olarak üç ayrı kategoride değerlendirilmektedir ;

- eğilme elemanları,
- eksenel gerilmeye tabi elemanlar,
- kayma gerilmesine tabi elemanlar.

Bu üç tip yay elemanının çeşitli türleri, ticari dönüştürücülerde kullanılmaktaysa da en yaygın ve en çok çeşitliliğe sahip olanlar, eğilme türü olarak sınıflandırılanlardır [1], [9].

2. YAY ELEMANININ DEĞERLENDİRİLMESİNDE TEMEL KRİTERLER

Aşağıdaki kriterler genel olarak tüm kuvvet dönüştürücüsü yay elemanlarına aynı derecede uygulanabilir. Herbirinin önemi, değerlendirilen dönüştürücünün kullanım amacı ve türüne bağlı olarak değişmektedir. Tüm bu kriterler birbirleriyle çok yakın ilişkiye sahiptirler.

- a) Doğal frekans : Yük hücresi için belirlenmiş hassasiyet ve diğer işlevsel gereksinimlere bağlı olarak, yay elemanının doğal frekansı olabildiğince yüksek olmalıdır. Bu koşul, normal olarak gereksiz kütlesi olmayan, rijit ve düşük elastikiyetli bir konstrüksiyonu gerektirmektedir.
- b) Azami yükleme durumunda ölçme bölgesinde büyüklüğü uygun bir birim şekil değişimi seviyesi : Cihaz azami yükteyken ölçüm bölgesinde önceden belirlenmiş olan birim şekil değişimi miktarı oluşacak şekilde yay elemanının boyutsal oranların seçilmiş olması gereklidir. Yay malzemesinin doğrusal birim şekil değişimi göstermemesi, gerinim ölçerlerin yorulma ömrü, cihaz uygunluğu gibi çeşitli sınırlayıcı kriterlerden dolayı, birim şekil değişimi seviyesi genellikle 1000 - 1700 $\mu\text{m}/\text{m}$ arasında tutulmaktadır.
- c) Ölçme bölgesinde, düzgün birim şekil değişimi dağılımı : Kuvvet dönüştürücüsünün ölçüm sinyalinin çıkışının en büyük değerine ulaşabilmesi için; gerinim ölçer ızgaralarının bulunduğu tüm alan üzerinde birim şekil değişimi düzgün şekilde yayılmış olmalıdır. Lehim plakalarının en düşük birim şekil değişiminin olduğu alanda gerinim ölçerin yer alması da gerinim ölçerin yorulma ömrünü genellikle olumlu yönde geliştirmektedir.
- d) Gerinim ölçerin yapıştırıldığı alan dışında, yay elemanının diğer kısımlarında daha düşük birim şekil değişimi seviyesi : 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 tüm yay elemanı boyunca en büyük birim şekil değişiminin olduğu noktada yer almalıdır. Genellikle, yorulma ömrü, doğrusallık, sürünme ve histerisizden uzak olma gibi kuvvet dönüştürücüsünün performansını belirleyen özellikler, yay elemanının tümünde etkin olan gerilim seviyesinin düşürülmesi ile iyileştirilebilir. Yapılan araştırmalar göstermiştir ki; en iyi yay elemanı malzemeleri de dahil olmak üzere tüm katılar, mekanik gerilim altında belirli seviyelerde mikroplastik davranımlar göstermektedir. Dolayısıyla, düşük seviyeli mekanik gerilimler, ideal doğrusal elastik davranıştan daha düşük sapmalar anlamına gelmektedir. Aynı zamanda da daha rijit ve doğal frekansı daha büyük yay elemanlarını şart koşmaktadır [11], [12].
- e) Tek parçalı konstrüksiyon : Tekrarlanabilirlik, doğrusallık, histerisizden uzak olma gibi tüm değerlendirme parametreleri yay elemanının, tek bir kütükten tek parça olarak işlendiği kuvvet dönüştürücülerinde en iyi değerlerine ulaşmaktadır. Yay elemanının yük altındaki şekil değişimi, gerçek ve sonlu bir büyüklüktür. Çok parçalı mekanik bağlantıların tamamı, harekete ve sürtünmeye, dolayısıyla doğrusallıktan sapma ve histerisize neden olmaktadır. Kaynaklı bağlantılar da yorulma ömrüne ve mikroplastik davranıma olumsuz etki eden kalıntı gerilmeler ve metalürjik etkileri nedeniyle tercih edilmemektedir. [14]
- f) Aşırı yüklemelere karşı koruma : Deneyimler göstermiştir ki; dönüştürücülerin hatalı değerler vermelerinin temel sebebi kullandıkları noktada aşırı yüke maruz kalmalarıdır. Bazı dönüştürücüler, aşırı yükleme anında bir mekanik tutucunun devreye gireceği şekilde tasarlanmıştır. Bazılarında ise yay elemanını içinde taşıyan gövde, aşırı yüklemeyi üzerine almaktadır. Ancak genel bir kural olarak kuvvet dönüştürücülerini, nominal yük

kapasitelerinin % 150 - 200'ü kadar bir aşırı yüke hasarsız dayanabilme, % 300 - 500'ü kadarlık bir aşırı yüklemeye ise hasar başlangıcı olacak şekilde boyutlandırılmaktadır.

- g) Ölçüm eksenini dışındaki yüklere karşı seçicilik : İdeal bir kuvvet dönüştürücüsü yalnızca tek bir eksenindeki kuvvet bileşenlerine cevap vermeli; diğer yönlerden gelen kuvvet ve momentlere karşı tepkisiz kalabilmelidir. Aynı zamanda da kuvvet dönüştürücüsünün tepkisi, yükün uygulandığı noktadan en azından belirli bir alanda bağımsız olmalıdır. Bu durum, yalnızca yay elemanı ile değil aynı zamanda da gerinim ölçerinin uygulandığı nokta ve biçim ile destek ve muhafaza parçalarının da doğru seçilmesi ile oluşabilir.
- h) Yay elemanının şekil değişimi : Uygulanan yük altında yay elemanında ölçülebilir seviyede birim şekil değişiminin 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 vektörü yönünde sehim yapar. Yay elemanının geometrisinde oluşacak olan her türlü değişim, ölçümün doğrusallığından da bir sapma anlamına gelmektedir. Yay elemanının rijitliği, yalnızca doğal frekans açısından önemli olmayıp; aynı zamanda da geometri değişiminin yarattığı doğrusallıktan sapmaları da en aza indirmektedir. Bundan başka, kuvvet ölçme cihazı yüklendiğinde sadece yük vektörünün etkilediği cihaz ekseninde doğrusal bir sehim söz konusu ise kuvvetin uygulandığı noktanın sehiminin ölçüm performansı üzerindeki olumsuz etkisi minimumdur.
- i) Sıcaklığın etkileri : İlk bakışta optimum bir yay elemanı bileşimine ulaşmanın yolu yalnızca başarılı bir mekanik tasarımın sonucu imiş gibi gözükabilir. Ancak sıcaklıktan kaynaklanan etkiler de titizlikle değerlendirilmeli ve mekanik koşullarla birlikte ele alınmalıdır. Gerinim ölçer, yapısı gereği bir ısı kaynağıdır ve bu ısı tüm yay elemanına tesir etmektedir. Sıcaklığın, hem yay elemanı hemde gerinim ölçer performansının her ikisi üzerindeki etkilerinin ortadan kaldırılabilmesi için yay elemanı, gerinim ölçerlerin konumu itibari ile simetrik olmalıdır. Bunun ötesinde, bir çok kuvvet ölçme cihazı, kullanıldıkları noktalarda alt ve üst veya sağ ile sol taraf arasında sıcaklık farkına tabidir. Kuvvet dönüştürücüsünün muhafazası ile yay elemanı arasındaki ısı akış yollarının dikkatle incelenmesi şarttır. Özellikle aynı köprü üzerinde yer alan ve birbirinin ardı sıra gelen iki gerinim ölçer arasındaki sıcaklık farkının en az olacağı tasarımlar üzerinde çalışılmalıdır [2], [3], [10], [12].

3. YAY ELEMANLARININ YÜKLENME TÜRÜNE GÖRE ANALİZİ

3.1. Eğilmeye Çalışan Yay Elemanları

Eğilme momentine maruz kalan kiriş veya kiriş benzeri yapıların seçildiği yay elemanları konvansiyonel tip dönüştürücülerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Eğilmeye çalışan yay elemanlarının bu kadar popüler olmasının temel nedenleri kirişin yapısal özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Bir eğilme elemanının karakteristik özelliği, özellikle aynı kesit alanına sahip kolon tipi bir yay elemanı ile mukayese edildiğinde düşük kuvvetlerde yüksek şekil değişimine sahip olmasıdır. Bundan başka eğilme eksenine göre simetrik kesit alanına sahip olan bir kirişte, karşılıklı olarak ters işaretlere fakat eşit büyüklüklere sahip şekil değişimlerinin olduğu iki yüzey vardır. Bu durum, karşılıklı yüzeylere ikişer gerinim ölçer uygulanmasıyla tam köprü devresinin kurulabilmesi için çok uygun bir vasat oluşturmaktadır. Eğer kirişin kalınlığı çok ince seçilebilirse; gerinim ölçerlerin yapıştırıldığı iki yüzey arasındaki sıcaklık farkı çok düşük olacağından iyi bir sıcaklık kompanzasyonu elde edilebilir. İlave bir avantaj olarak da; kiriş elemanları gerinim ölçerlerin rahatça yapıştırılabileceği düzgün ve açık yüzeylere sahip olacak şekilde tasarlanabilirler [4], [5].

3.1.1. Basit Ankastre Kiriş Tipi Yay Elemanları

Eğilmeye çalışan bir yay elemanı için en basit, ancak genellikle en iyi çözümün olmadığı kiriş basit ankastre kiriştir. Boyuna yerleştirilmiş gerinim ölçer çiftleri kirişin dip noktasına yakın alt ve üst yüzeylere yerleştirilmişlerdir. Her ne kadar imalat maliyetleri düşük ve gerinim ölçerlerin rahatça uygulanacağı bir yapıya sahip olsalarda, bu tip yay elemanları daha önceki kısımlarda açıklanmış olan yay elemanı değerlendirilmesindeki temel kriterlerin bir çoğunu yerine getirememektedir. Bu uygunsuzlukların bir çoğu yay elemanı tasarımında yapılacak değişikliklerle ortadan kaldırılabilmektedir. Diğerleri ise ankastre yay elemanının yapısal sorunlarıdır.

Ankastre yay elemanında kiriş uzunluğunun çoğu zaman tek işlevi, uygulanan yükü gerinim ölçerlerin yapıştırılmış olduğu ölçme bölgesinde eğilme momentine çevirmektir. Ancak, kiriş boyu aynı zamanda yükün uygulandığı noktanın sehimini, dolayısıyla da yer değiştiren kütle miktarını belirlemektedir. Sonuç olarak yay elemanı düşük bir doğal frekansa sahip olma eğilimindedir. Yay elemanının tasarımı, şekil değişiminin ağırlıklı olarak gerinim ölçerlerin yerleştirildikleri noktada olacağı şekilde düşünülebilir. Böylece, ölçme bölgesinde aynı miktarda şekil değişimi elde edilirken; sehim miktarı azaltılmış, buna karşın kütle miktarı arttırılmıştır. Kiriş uzantısının kütle miktarının azaltılması ile ilave bir gelişme elde edilebilir. Bu durum, kiriş uzantısının içinden örneğin silindirik bir kütle çıkartılması ile mümkündür. 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 yönelecektir. Ancak halen daha optimum bir yay elemanında aranan özelliklerin bir kısmı eksiktir. Çünkü, yükün uygulandığı noktanın hareket hattı doğrusal değil eğriseldir, ve bu nokta sehim gerçekleştikçe yanıl hareket eder. Ayrıca, yük bu koşullar altında kiriş eksenine dik olarak uygulanamaz. Bu etkiler ortadan kaldırılmadığı sürece dönüştürücünün doğrusallığı, dolayısı ile ölçüm doğruluğu sınırlanacaktır.

Bu tip yay elemanı tasarımında istenmeyen bir diğer durum da; şekil değişimi dağılımının gerinim ölçer ızgaraları boyunca düzgün dağılmamış olmasıdır. Birim şekil değişimi kirişin dip noktasında en yüksek değerine sahip olup; gerinim ölçerlerin yapıştırılmış olduğu ölçme bölgesi boyunca doğrusal olarak azalmaktadır. Bu sakıncanın etkileri özellikle kısa kirişlerde daha da belirgindir. Bu uygunsuzluk, kiriş genişliğinin gerinim ölçerlerin yapıştırılmış olduğu ölçme bölgesinde sabit mekanik gerilim oluşacak şekilde değiştirilmesiyle ortadan kaldırılabilir. Sabit gerilim koşulu, kirişin her iki tarafında doğrusal olarak daralma ile kolayca elde edilebilir. İstenen bu sonucun elde edilebilmesi için bu daralma hattının kesişim noktası ile yükün uygulandığı noktanın kesişmesi şarttır [8].

3.1.2. Çoklu Eğilmeye Çalışan Yay Elemanları

Belirli tip uygulamalarda, Bölüm 3.1.1'de açıklanmış olan düz ankastre kirişlerin sahip oldukları özellikler, kiriş elemanına çoklu eğilme uygulandığı tasarımlarla daha da geliştirilebilirler. İki ucundan sabitlendikten sonra orta noktasından yüklenen bir kiriş örnek olarak alınabilir. Her ne kadar bu yapı ticari amaçlı kuvvet dönüştürücülerinde yaygın olarak kullanılmıyorsa da; inceleme aşamasında rahat analiz edilebilir bir örnektir. Bu tür bir tasarımın temel üstünlüğü yay sabitinin büyük olması ve yükün uygulandığı noktanın kiriş deforme oldukça doğrusal tek ekseninde hareket etmesidir. Böylesi bir yapıda tam köprü devresini oluşturacak olan gerinim ölçerlerin uygulanmalarında kirişin üst yüzeyinde oldukça

rahat olmaktadır. Çıkış sinyalinde doğrusallıktan bir miktar sapma, rijit olarak yerleştirilmiş iki uç nokta arasında yüklenen kirişin diyafram gerilmelerine tabi olması nedeniyle beklenebilir. Ek olarak, esnek yay elemanlarının bir çoğunda olduğu gibi, eğer gerinim ölçerlerin düzgün bir şekil değişimi bölgesinde yer almaları isteniyor ise; kirişin uzunluğu boyunca kesit modülünün değiştirilmesi gerekmektedir.

Çift kirişli yapılar bir çok kuvvet dönüştürücüsü üreticisince tercih edilmektedir. Algılayıcı kirişler üzerindeki eğme momentleri yükün uygulandığı noktadan bağımsızdır. Aynı zamanda da kiriş üzerindeki aksenal kuvvetleri elimine etme özelliğine sahiptir. Merkezden uygulanan kuvvetler kirişte hiç bir aksenal yüklenme yaratmaz.

Yüksek kapasiteli ve küçük ebatlı bir yay elemanı gerektiğinde, şu ana kadar açıklanmış olan tüm kriterler dairesel bir konfigürasyon içinde uygulanabilir. Ara bağlantı kollarının yük algı elemanı olarak hizmet ettikleri çember tipi yay elemanları, hassas kuvvet ölçümlerinde kullanılan kuvvet dönüştürücülerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

3.1.3. Halkalar

Eğilmeye çalışan yay elemanlarının bir diğer türü de, uygulama alanında görülen sayı ve tasarım çeşitliliği ile halkalardır. Halka şeklindeki yay elemanları, ölçme teknolojilerinin geçmişine bakıldığında oldukça eskiye dayanmaktadırlar. Yaygın olarak malzeme test makinelerinin kalibrasyonunda kullanılmışlardır. Halka şeklindeki yay elemanları, her zaman eğilme momentine tabi olduklarından; her iki deformasyon modu, bu tip elemanların karakteristik özellikleridir. Halkadaki şekil değişimi dağılımı, geometrisinin kompleks bir fonksiyonu olup; altta ve üstte yerleştirilmiş olan yük algı ve reaksiyon çıkıntılarının boyutlarından etkilenmektedir. Ancak eğilme momenti yatay çap ekseninde belirgin olarak değişmediğinden, şekil değişimi dağılımı bu alanda oldukça düzgündür. [6], [7], [9].

3.2. Kayma Gerilmesine Tabi Yay Elemanları

Kesmeye çalışan yay elemanlarının çalışma prensibi ile ilgili olarak eğmeye çalışan I-profilini incelendiğinde, kirişin altında ve üstünde oluşan yüzey şekil değişimleri bir dönüştürücüden beklenen 2 mV/V çıkış sinyalini üretmek için çok küçüktür. Uygulanan yük neticesinde oluşan kayma gerilmesinin büyük bir kısmı I profili görünümündeki bu kesit tarafından taşınırken eğilme momenti temel olarak buradaki dikey flanş tarafından karşılanmaktadır. Eğme gerilmesinin sıfır olduğu tarafsız ekseninde yatay ve dikey eksenlerde etkiyen sadece kayma gerilmeleridir. Sonuç olarak asal eksenler kiriş eksenine $\pm 45^\circ$ yapmaktadırlar ve eşit büyüklükte ters işaretli asal birim şekil değişimleri oluşmaktadır. Izgara eksenleri bu asal eksenler üzerine oturtulmuş gerinim ölçer çiftleri, kanadın her iki tarafına yerleştirilmiş ve ölçüm için tam köprü devresi oluşturacak şekilde bağlanmışlardır.

Kesmeye çalışan yay elemanlarının bir avantajı da yükün uygulandığı noktada oluşabilecek küçük vektörel sapsmalara karşı hassasiyetinin fazla olmamasıdır. Gerinim ölçerler yalnızca kayma gerilmesinden kaynaklanan birim şekil değişimini algılayacağından köprü çıkış sinyali yükün konumundan veya dikey yüzeyde oluşan diğer eğme momentlerinden etkilenmeyeceklerdir.

Gerinim ölçer ızgaralarının boylarının sınırlı olması ve tarafsız eksenin altında ve üstünde kalan kısımları ile ölçüm yapılması nedeniyle örneğin eğilmeye çalışan I-profilinin dikey kanadı üzerindeki eğilme momentinin yarattığı şekil değişimlerinden olumsuz yönde etkilenmektedirler. Tarafsız eksen üzerine merkezlenmiş gerinim ölçer ızgaraları ile, bu eksenin altında ve üstünde çekme ve basma eğilme gerilmelerinden doğan şekil değişimleri

karşılıklı olarak birbirlerini sıfırlarlar. Ancak bu sıfırlama genellikle ideal koşullarda gerçekleşmemektedir. Yay elemanında ve gerinim ölçerin konumundaki en küçük asimetri bu sıfırlamayı olumsuz yönde etkilemektedir.

Hatalı yüklemelere karşı düşük hassasiyet özelliğinin yanında, kesmeye çalışan yay elemanları, kuvvet dönüştürücüsü tasarımcılarına bir çok avantaj sağlamaktadırlar. Genellikle belirli yük kapasitesi için toplam yükseklikleri oldukça küçüktür. Gerinim ölçerler başlangıçta yapıştırılmaları zor olan noktalara konulsalar dahi daha sonraki kullanımları esnasında, ortam şartlarından ve çevreden rahatça korunabilecekleri noktalara yapıştırılırlar. Bunlardan başka düşük esneklik ve başarılı doğrusalılık özellikleri ile yüksek kapasiteli kuvvet dönüştürücüleri için cazip birer yay elemanıdırlar. Ancak düşük kapasiteli dönüştürücüler için pek uygun değildir. Buradaki sınırlama, genellikle kanadın azami yükleme altında istenen seviyede birim şekil değişimine uğrayabilmesi için sahip olması gereken kalınlığın elastik stabilite açısından da çok ince olmasındandır [13], [15].

3.3. Aksenal Yüklemeye Tabi Kolon Tipi Yay Elemanları

Kolon tipi kuvvet dönüştürücüleri, ilk gerinim ölçerli dönüştürücü tipleridir. Kolon tipi yay elemanları, bir veya daha fazla silindirik elemandan oluşmaktadır. Yay elemanı aksenal yükler için tasarlanmış olup; dairesel kesitte olması bir zorunluluk değildir. Genellikle en az dört adet gerinim ölçere sahip olup; bunlardan iki tanesi aksenal yöndeki şekil değişimini hissetmek üzere boyuna, diğer ikisi ise Poisson şekil değişimini hissetmek için enlemesine yerleştirilirler. Gerinim ölçerler, tam köprü devresi oluşturacak şekilde bağlanırlar. Ancak dört adet aktif köprü bacağı kullanılmaz. Çünkü, Poisson şekil değişimi, aksenal şekil değişiminden çok daha küçüktür. Gerekli dayanak ve muhafaza parçaları ve yük aktarım elemanları uygun şekilde tasarlanarak boyutlandırıldığında, bu tip elemanlar hem çekme hem de basma yüklemesi veya her ikisi için düşünülebilir.

Kavram olarak basit olmasına rağmen; yüksek doğruluğa sahip bir kuvvet dönüştürücüsü elde etmek amaçlandığında; ele alınması gereken bir çok parametreyi de bünyelerine toplamışlardır. Örneğin, kolonun boyu tercihan kesitine oranla yeterince uzun tutularak gerinim ölçerin yapıştırıldığı ölçme bölgesinde uç koşullarından etkilenmeyen düzgün bir birim şekil değişimi alanı yaratılır. Bu koşul normal olarak kolon boyunun, en büyük kolon kesit köşegeninden asgari beş kat daha büyük olmasını gerektirir. Kolon yapısı eksantrik yüklerin ikinci dereceden etkilerine tabi olduğundan aksenal yüklerin çıkış sinyallarına etkisi engellenmelidir.

Kolon tipi kuvvet dönüştürücülerinin yapısal olarak doğrusal olmama özelliğine sahip olduklarına inanılır. Doğrusal davranımdan sapma, çoğunlukla kolon elemanının kesit alanında yük altındaki deformasyonla oluşan değişime dayandırılır. Bu etkiden dolayı, yay elemanının yay sabiti basma yönünde yüklendikçe devamlı olarak artar, çekme yönünde yüklendikçe devamlı olarak azalır. Aslında son cümle şu kabulü anlatır : "Elastisite modülü sabittir ve meydana gelen yoğunluk değişiminden bağımsızdır." Benzer şekilde, Young sabiti, çekme yüklemesi ile azalma, basma yüklemesi ile artma eğilimindedir. Her ne kadar Young sabitindeki bu küçük değişimler, sıradan malzeme özelliklerinin analizi amaçlandığında son derece küçük olsalar da; modern gerinim ölçerli dönüştürücülerde aranan hassasiyet için hala daha belirleyici olmaktadır. Young sabitindeki değişimler üzerine daha kesin bilgilerin mevcudiyeti tartışılırken, en azından alan değişimi neticesinde ortaya çıkan doğrusalıktan sapma belirlenebilir. Dairesel kesitli bir kolon elemanı ele alındığında, kolondaki her bir 100 $\mu\text{m}/\text{m}$ 'lik dikey birim şekil değişimi için alan değişiminden kaynaklanan doğrusalıktan sapmanın, yaklaşık olarak % 0.003 olduğu hesaplanabilir [10].

Gerçekten de, yukarıda açıklanan alan ve Young sabiti etkileri, bir kolonda asimetrik gerilim dağılımından dolayı, doğrudan veya dolaylı olarak ortaya çıkması beklenen etkilerden sadece iki tanesidir. Buna karşın eğilmeye ve kesmeye çalışan yay elemanlarının her ikisi ile de sayısal olarak eşit çekme ve basma gerilmesine maruz kalan eşit hacimde metal vardır. Dolayısı ile doğrusallıktan sapmayı kendi içinde yok edecek çeşitli mekanizmaları geliştirmektedir. Ancak bu durum kolon tipi yay elemanları için geçerli değildir.

Kolon tipi yay elemanının sahip olduğu doğrusallıktan sapma hatası incelendiğinde, bunun tam köprü devresini oluşturan dört gerinim ölçerin aynı derecede aktif olmamasından kaynaklandığı görülmektedir. Bu hata, köprü devresinin bir bacağındaki direnç değişimi, kendisini takip eden dirençte aynı miktarda ve ters yönde olmadığı zaman derhal ortaya çıkmaktadır. Kolon tipi bir yay elemanında da yük eksenine yapıştırılmış olan gerinim ölçerler ile Poisson eksenine yapıştırılmış gerinim ölçerlerin sinyalleri arasında 0.3 oranı olduğu için köprü çıkış sinyali daima doğrusallıktan sapacaktır. Bu hatanın büyüklüğü ise kolon eksenindeki her bir 100 $\mu\text{m}/\text{m}$ 'lik birim şekil değişimi için % 0.007'dir. Hatanın işareti ise doğrusallıktan sapmanın üzerinde belirlendiği alanın değişiminin ters yönündedir [10].

Her türlü kuvvet dönüştürücüsüne uygulanmak üzere geliştirilen bir teknik ile dönüştürücünün doğrusallıktan sapması kompanse edilebilmektedir. Uygulanan bu teknikte yay elemanı üzerine ilave bir gerinim ölçer yapıştırılmakta ve tam köprü devresi yerine enerji kaynağı ile köprü devresi arasına seri bağlanmaktadır. Böylelikle bu gerinim ölçer, doğrusallıktan sapma hatasını azaltacak yönde köprü besleme gerilimini ayarlamak için geri besleme olarak hizmet etmektedir. Gerinim ölçer ızgara malzemesine ve gerinim ölçerin yay elemanı üzerindeki konumuna bağlı olarak; monoton olarak değişen bir doğrusallıktan sapma hatası için yaklaşık bir kompanzasyon elde edilmektedir.

Kolon kesit alanı örneğin dairesel değil kare olabilir veya gerinim ölçerlerin yapıştırılacağı alanda dört tarafından işlenerek kare kesite dönüştürülmüş olabilir. Kolon tipi yay elemanı içi boş olarak üretilebilir. Aynı net kesit alanı için (dolayısı ile tek eksenli yüklemeye aynı esneklik için) içi boş silindirler daha büyük atalet momentine sahip olduklarından eğilme momentine karşı daha mukavimdirler.

Her ne kadar kolon tipi yay elemanları halen daha yüksek kapasiteli kuvvet dönüştürücülerinde kullanılmaktaysa da popolariteleri her geçen gün azalmaktadır. Bir çok durumda kesmeye çalışan yay elemanları daha büyük çıkış sinyali, daha iyi doğrusallık özellikleri, daha düşük histerisiz ve yüklemeye daha çabuk cevap verme özellikleri ile kolon tipi yay elemanlarının yerini almaktadır [6], [9], [10], [13].

4. REFERANSLAR

- [1] BAUMANN, E., 1976. "Elektrische Kraftmeßtechnik", VEB Verlag Technik Berlin, Germany
- [2] BAUSCHKE, H., 1968. "Kraftmeßtechnik, Deutsches Amt für Meßwesen und Warenprüfung", Berlin-Bereich Metrologie, DDR
- [3] HBM- Hottinger Baldwin Meßtechnik GmbH.-Germany. "Ürün Katalogları", 1995
- [4] HOFFMAN, K. 1976. "An Introduction to Strain Gage Techniques by Practical Experiments." HBM Publication, VD 76004e, Germany
- [5] HOFFMAN, K. 1973. "Measuring Elementary Load Cases With Strain Gages." HBM Publication, VD 73002e, Germany
- [6] "Instruțiuni Pentru Verificarea Masurilor Şi Aparatelor De Masurat, Forte" (6), 1961. Editie Oficiala - Bucureşti, Romania
- [7] "Measurement of Force, (Group Training Course in Metrology and Measurement Standards)", 1989. Japan National Research Laboratory of Metrology, Japan
- [8] Measurements Group -Vishay-U.S.A. "Ürün Katalogları", 1995
- [9] Measurements Group -Vishay-U.S.A. "Technotes", 1988-1989
- [10] "Modern Strain Gage Transducers", 1981-1984. Epsilonics, Measurements Group Inc., U.S.A.
- [11] ÖZBAY, H.Ö., 1996. "Metrolojide Kullanılan Temel ve Genel Terimler Sözlüğü", 2.Basım, UME 97-004.
- [12] ÖZBAY, H.Ö., URAL, K., 1997, "Gerinim Ölçerli Kuvvet Dönüştürücülerinde Elektrik Devresinin Kurulması ve Performansın İyileştirilmesi"
- [13] RATIU, M and POPESCU, P., 1961. "Tehnica Măsurării Fortelor, Manual Pentru Şcolile Tehnice de Metrologie, Anul II. Ditura de Stat Didactica şı Pedagogica", Bucureşti, Romania
- [14] URAL, K., ÖZBAY, H.Ö., 1997, "Gerinim Ölçerli Kuvvet Dönüştürücüsü Yay Elemanlarında Aranan Malzeme Özellikleri" İkinci Ölçümbilim Kongresi Kitapçığı, Eskişehir.
- [15] WEILER, W., 1994. "Handbuch der Physikalischen-Technischen Kraftmessung", Verlag, ISBN 3-528-08945-8