

HV-ACSR İletkenli Enerji İletim Hatlarındaki Titreşim ve Korozyon Hasarları

Dr. Sedat Karabay, Dr. Ahmet Şen
Türkkablo A.O. / Kocaeli

1. Giriş

Yapılan en son istatistik çalışmalarından elde edilen verilere göre Türkiye'deki elektrik enerjisi nakil hatlarının uzunlukları; 380 kV- 10512 km, 154 kV 22727, 66 kV 1156 km, dağıtım hatları ise 35 kV ve aşağısı olarak 592186km'dir. Transmisyon hatlarımızda kullanılan iletken tiplerimiz ise genel olarak Tablo-1'de verildiği gibidir. Bu iletkenler kompozit yapıdadırlar. İletkenlerin merkezinde [1+6] veya [1+6+12] kombinasyonunda yüksek mukavemetli çelik tellerden bükülmüş bir öz bulunur. Bunun üzerine %99.7 saflıkta ve EC-grade Alüminyumlardan çekilmiş teller [10+16] veya [12+18+24] kombinasyonlarında katlar halinde bükülür. Kullanılan tel çapları, adetleri diğer fi-

Bu makalede, Türkiye'de elektrik enerjisi naklinde kullanılan HV-ACSR tip iletkenlerin servis ömürlerine etki eden ve kalıcı hasarlara sebep olan temel faktörler iki ana başlık altında ele alınmış ve bu etkilerin asgariye indirilmesinde göz önünde bulundurulması gereken öneriler sunulmuştur.

zikel özellikler Tablo-1'de verildiği gibi düzenlenir.

Enerji nakil hatlarının nominal servis ömürleri asgari 30 yıl olarak tasarlanırlar. Ancak aktif çevre koşulları; korozyona neden olan gazların yoğun olduğu sa-

nayi bölgeleri, nakil hatlarının volkanik gaz sızıntılarının olduğu arazilerden geçmesi, rüzgara açık sahalar ve bu sahalarda bitmek tükenmek bilmeyen titreşimler, galvaniz bozukluklarıyla tetiklenen galvanik korozyon ve bunu redükleyen nem ve ısı yoğun ortamlar, damperlerin iletkenlere bağlı olduğu nemli noktalar ve diğer direk geçiş bağlantı elemanlarının bağlantı noktaları ve tüm bu etkiler yetmezcesine Türkiye'de kullanılan kompozit yapıdaki iletkenlerin içlerinde gres yağının olmayışı nakil hatlarının servis ömürlerini önemli ölçüde düşüren temel nedenleri oluşturmaktadır.

Tüm bu ömür kısaltan etkiler genel olarak iki ana başlık altında toplanabilir;

1- İletken hatlarında rüzgar tesir-

İletken adı	Al.kesiti mm ²	iletken çapı mm	iletken ağırlığı kg/km	Çelik tel çapı ve adedi mm / no.	Al. tel çapı ve adedi mm / no.	Maks.yük daN	DC Direnci ohm/km maks.
Phesant	645.08	35.10	2423.5	2.45/19	3.90/54	19767	0.0449
Cardinal	484.53	30.42	1829	3.38/7	3.38/54	15589	0.0597
Drake	402.33	28.11	1621.9	3.45/7	4.44/26	14165	0.0715
Hawk	241.65	21.77	972.	2.67/7	3.44/26	8798	0.1194

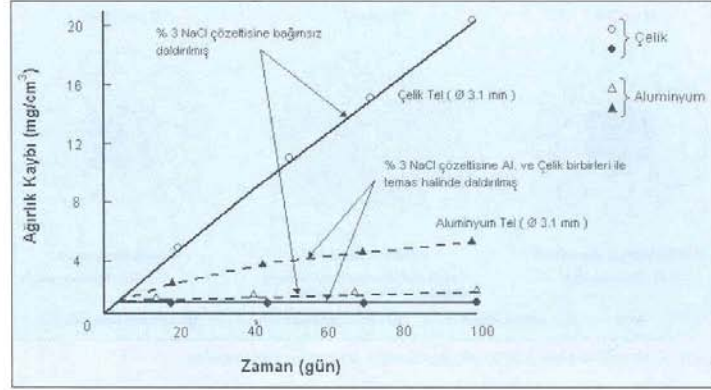
Tablo-1. Türkiye'de enerji nakil hatlarında kullanılan ACSR tip iletkenler [IEC-TS/1089]

lerinin sebep olduğu titreşimler-
ler nedeniyle oluşan malzeme
yorulmaları ,
2- Kompozit iletken yapıların se-
beb olduğu galvanik korozyon.

2. ACSR tip iletkenlerde ko- rozyon hasarları

Yüksek gerilim hava hatlarında
kullanılan alüminyum iletkenler-
in korozyon dirençleri, volka-
nik bölgeler, tuzlu çölleşmiş
alanlar, yoğun korozif gaz atık-
lı sanayi bölgeleri ve deniz alan-
larına yakın bölgeler, hat montaj
sahası kapsamına girdiğinde çok
önem kazanmaktadır.

Bilindiği gibi konvansiyonel çel-
lik özlü iletkenlerden ACSR tip-
leri alüminyum ve çelik teller-
den oluşmuş yapılardır. Genel
olarak %70 alüminyum ve %30'u
galvanizle kaplanmış çelik teller-
den oluşan bu tür kompozit ya-
pılarda ortam korozyon redükle-
yici olduğunda iki metal arasın-
da süratle pilleşme başlamakta-
dır. İletkenlerde kullanılan gal-
vanizli çelik tel %3 NaCl çözelti-
si içine daldırıldığında korozif
ortama maruz kalmaktan dolayı
ağırlık kaybı 0,2 mg/gün civarın-
dadır. Bu oran aynı çözelti içi-
ne daldırılan %99,7 saflığındaki
alüminyum telde 20 kat daha
düşüktür. Ancak, alüminyum
ve çelik tel birbirleri ile temas
halinde çözelti içine sokularak
korozyona maruz bırakılınca,
alüminyum katot ve çelik anot
olarak çalışır ve her iki metal
arasında oluşan galvanik etkileş-
me dolayısı ile alüminyum ağır-
lığı hızla düşmeye başlar, buna
karşın çelik tellerde korozyon

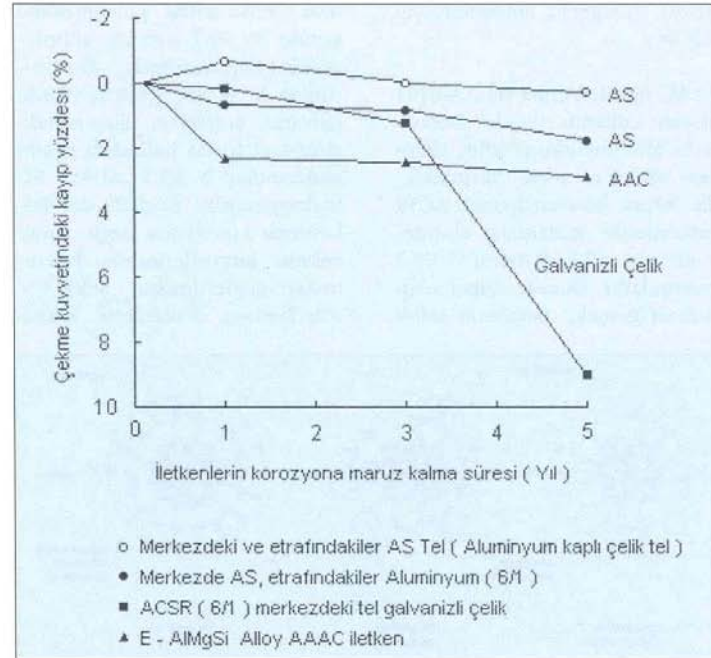


Şekil 1. Alüminyum ve çelik telin ayrı ayrı ve birlikte korozyona karşı dirençleri

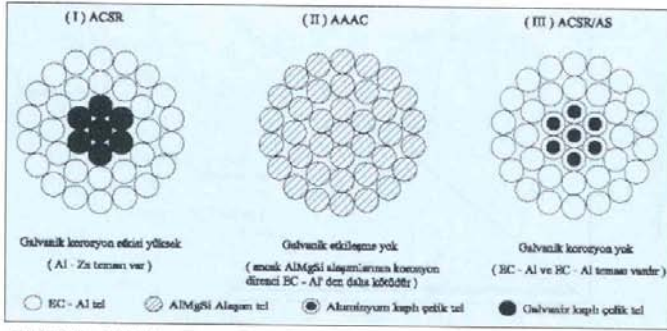
etkileri alüminyuma göre önem-
senmeyecek düzeylerde oluşur.
Bu durum Şekil-1'de grafiksel
olarak gösterilmiştir [1-2].

Bu sorunun ACSR tip iletkenler-

de son yıllarda çeliklerin üzerine
galvaniz kaplama yerine alü-
minyum kaplanarak aşımaya
çalışılmıştır. Çelik tel üzerine
alüminyum kaplama "conform"
prosesi ile yapılmaktadır ve çok



Şekil 2. İletkenlerin zamana göre korozyona karşı direnci

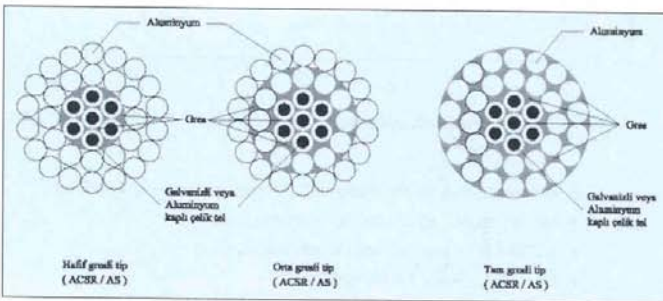


Şekil 3. Mutelif İletken Konstrüksiyonlarının korozyon etkileşimleri

yaygın değildir ve Türkiye'de henüz imal edilememektedir. Bu tür mamüllerden beklenen özellikler IEC-1232'de tanımlanmıştır. Alüminyum kaplı çelik tellerin dünya piyasalarından tedari ki hem kolay değil hem de fiatı alüminyum alaşımli İletkenlere AAAC [AlMgSi'lu İletkenler] yakındır.

AAAC tipi İletkenler de AA-6101 alaşımı kullanılmaktadır. Dolayısıyla alüminyumun saflık derecesi %98,9 civarına düşmektedir. Oysa konvensiyonel ACSR İletkenlerde kullanılan alüminyumlarda saflık derecesi % 99,7 civarındadır. Burada aşikar olan fiziksel gerçek, metallerin saflık

derecesi arttıkça korzyona karşı olan dayançlarının artacağıdır. Dolayısı ile AAAC İletkeninin tellerinde min. %0,5 Mg ve min. % 0,5 Si olduğundan korzyon dayancı ACSR'ye göre daha iyi ancak ACSR/AS'ye göre daha kötüdür. AS kodunun manası çelik telleri galvanizleme yerine % 99,7 saflıkta alüminyumla kaplanmasıdır. Bu durumda ACSR/AS tip İletkenlerde galvanik korzyon oluşmamaktadır zira temas halindeki bütün malzemeler % 99,7 saflıkta EC malzemelerdir. Şekil-2' de İletkenlerin korzyona bağılı olarak çekme kuvvetlerindeki bozulmalar gösterilmiştir. Şekil-3'te söz konusu İletkenlerin konst-



Şekil 4. ACSR ve ACS / AS İletkenlerin greslenme çeşitleri.

rüksiyonlarına ait kesit resimleri ve temas yüzeylerinin korzyonla ilgileri gösterilmiştir. Bu İletkenlerin üretilme safhasında şartnamelere ilave edilen bir madde ile İletkenlerin dış tabakası hariç tüm iç tabakalarının nötr bir gres ile yağlanması şartı getirilirse ki bu bizim en önemli önerimizdir, servis ömürleri en az 10-15 arttırılmış olacaktır [1-2]. Gres uygulamalarına ait kesit görünümleri Şekil-4'te gösterilmiştir.

3. Enerji İletim Hatlarındaki Sürekli Titreşimler ve Sebep Oldukları Malzeme Hasarları

Direkler arasında belirli bir tansiyon altında bulunan İletkenler sürekli olarak tüm hava akımlarına ve muhtelif hava şartlarına maruz kalırlar. Hava akımlarının etkisiyle oluşan rüzgarın İletken yüzeylerine değişik yönlerden çarpması sonucunda genel olarak üç ana başlık altında toplanan titreşimlere sebep olurlar. Rüzgar kuvvetleriyle İletkene verilen enerjiler İletkenler tarafından absorbe edilirler ve bu enerjiler; moleküler seviyedeki iç sürtünmelerle, bükülmüş tellerin kendi aralarındaki sürtünmeleri ile hat üzerine monte edilmiş bağlantı elemanlarına olan geçişlerle, hatta monte edilmiş sönmüleyici elemanlar [damperler] vasıtası ile, demet halinde çekilen İletkenlerin aralarındaki araç elemanları ile yada enerjinin rüzgar olarak geri dönüşümüyle dağıtırlar.

İletkenlerin direkler arasındaki hareketleri aşağıda verilen para-

metreler ile karakterize edilebilirler;

- 1- Enerji transfer mekanizması
- 2- İletkenin yaptığı hareketin şekilleri
- 3- Titreşimlerin olduğu frekans aralığı
- 4- Titreşimlerin genlikleri
- 5- Tüm hat donanımı üzerindeki etkiler

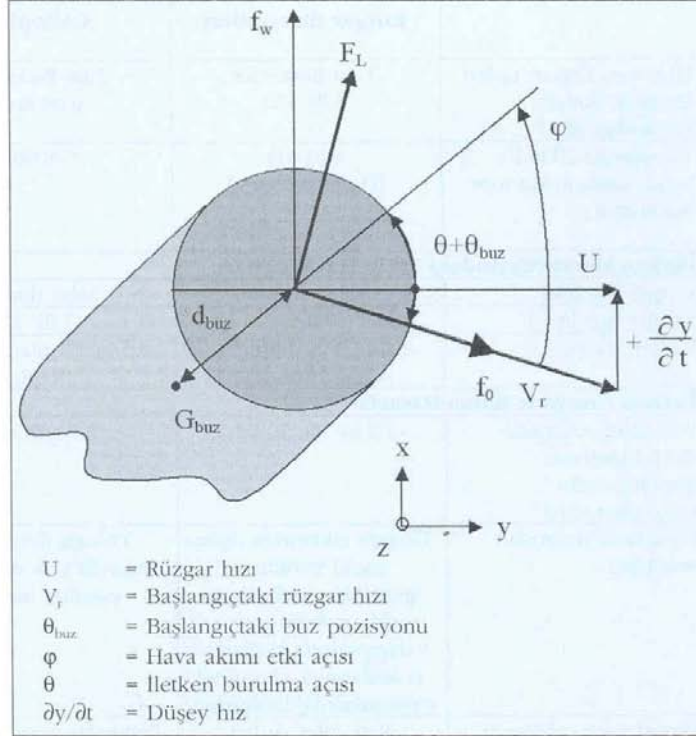
Enerji nakil hatlarındaki titreşimler genel olarak üç ana başlık altında toplanabilirler;

- 1- Rüzgar tahrikli titreşimler
- 2- Galloping
- 3- Kendi kendini besleyen titreşimler

3.1. Rüzgar Tahrikli Titreşimler

Enerji iletim hatlarındaki titreşimlerin en genel hali rüzgar tahrikli titreşimlerdir. Bu tür titreşimler tek yada demet haline getirilmiş iletkenler üzerinde görülebilmektedirler. Bunların fiziksel değerleri ve iletim hatlarında sebep oldukları hasarlar tüm detayları ile Tablo-2'de özetlenmiştir.

Rüzgar tahrikli titreşimler, hava akım girdaplarının yarattığı kuvvetlerin tesiri ile iletkenin düşey ve yatay düzlemlerdeki salınımları ile oluşurlar. Direkler arasında gerili haldeki yuvarlak kesitli iletken hava akımının önündeki engeli oluşturur. Titreşimler, bu engele çarpan ve arkasında girdap akımları oluşturan hava akımı düşük türbülans değerlerinde olunca ortaya çıkarlar bu da laminar akımdan türbülanslı



Şekil 5. Galloping titreşimlerinde iletken üzerindeki buz kanadı ve etkileyen kuvvetler

akıma geçiş aralığında oluşur. Rüzgar tahrikli titreşimleri düşükleyen diğer önemli unsur doğal olarak iletim hatlarının açık sahalardan geçmeleridir. Bu tür titreşimlerin hat hırdavatlarının ve iletkenlerin üzerinde sebep oldukları hasar örnekleri Şekil-6'da a/b/c/ ve d tasniflerinde verilmiştir [4].

3.2. İletkenlerin galloping hareketleri

İletkenlerin galloping hareketleri düşük frekanslı buna karşın çok yüksek genlikli titreşimlerdir. Genlikler iletken çapının 5 katından 3000 katına çıkabilmekte-

dir. Rüzgar hızı 7-18 m/sn aralığında sürekliliğini korur ve hava şartları da buzlanma ve kar yağışına sebebiyet verirse galloping hareketleri için yeterli ve gerekli ortam oluşmuş demektir. Zira bir müddet sonra iletkene yanal doğrultuda esen rüzgarın akış yoluna isabet eden kar tanecikleri iletkenin yüzeyine hava akımının yarattığı basınç etkisi ile yapışarak birikirler. Bu birikim iletken kesitinde dairesel olmasından dolayı asimetrik kanat formunda şekillenir. Silindirik formulu iletkenin üzerinde rüzgarla aynı doğrultuda olan ve iletkeni rüzgar istikametinde sü-

	Rüzgar titreşimleri	Galloping	Kendi kendini besleyen titreşimler
Etkilenen iletken tipleri Yaklaşık titreşim frekansları [Hz.]	Tüm iletkenler 3 ile 150	Tüm iletkenler 0.08 ile 3	Tüm iletkenler 0.15 ile 10
Titreşim genlikleri [tepe noktasından tepe noktasına]	0.01-1D [D: iletken çapı]	5-3000D	Rijit cisim modu: 0.50-80D Demet hali modu: 0.50-20D
İletken Hareketlerindeki Etkin Hava Şartları:			
Rüzgar durumu	Sabit durum	Sabit durum	Sabit durum
Rüzgar hızı [m/s]	1 ile 7	7 ile 18	4 ile 18
İletken yüzeyi	Çıplak / Üniform olarak buzla kaplı	Asimetrik olarak buzla kaplı	Çıplak / Kuru
İletken Üzerinde Kalıcı Hasarlar:			
İletkenler üzerinde ciddi hasarların görülmesi için öngörülen süre	3 ay ile 20 yıl	1 ile 48 saat	4 ile 18 saat
Hasarların doğrudan sebepleri	Tekrarlı etkilerden dolayı metal yorulması, genellikle iletkenlerin askı noktalarında, damperlerin bağlantı noktalarında oluşan tel çatlama ve kırılmaları.	Yüksek dereceden dinamik yük etkilerinin yarattığı hasarlar	İletken çarpışmaları ve hat donanımında oldukça hızlı aşınma kayıpları
Hasarlardan etkilenen nakil hattının elemanları	İletkenler ve hat topraklama iletkenleri	İletkenler, tüm donanım bunlara izolatör ve direkler dahil	Askı bağlantıları, spayserler fayraçlar, damperler, iletkenlerin telleri
İletken hareketlerinde etkin olan tasarım parametreleri	Hat tansiyonu, iletkenin kendi kendini sönümlenme özelliği, damperlerin ve zırh çubukların kullanılması	Düşey tabii titreşim frekanslarının burulma titreşim frekanslarına oranı, sehim oranı ve bağlantı şartları	İletken demeti ayraçları [spacers], iletken demetlerinde dönmeler, demet halindeki iletkenlerin düzenlenme şekilleri

Tablo 2. İletken titreşim hareketlerinin oluşum şartları ve karşılaştırmaları

rüklemeye çalışan kuvvete f_D ve asimetrik şekli veren kanatlı iletkeni havalandırmaya çalışan kuvvete f_L (bu kuvvet hava akımına dik doğrultudadır) ve moment M_w ki iletkene yapışan kar ve buz ağırlığının etkin oldu-

ğu tarafa doğru döndürmeye çalışır. İletken merkezini etrafında aktif olan f_D , f_L ve moment M_w etkin olan bağıl rüzgar hızının karesi ile orantılıdır. İlgili kuvvet ve momentler şekil-5'de gösterilmiştir.

İletkendeki burulmalar ile iletkendeki kanat profili iletkenle birlikte döner ve bu dönüşle daha çok kar ve buzun üzerinde birikmesine yol açar. Bütün bunlara ilaveten iletken, birim uzunlukta artan yükler ile birlikte yüksek genlikli titreşimler

yapmaya başlaması sonucunda hattın kopması direklerin dinamik kuvvetler dolayısıyla devrilmesi ve diğer hasar tipleri (Tablo-2'de verilmiştir) ortaya çıkar.

3.3. Kendi kendini besleyen titreşimler

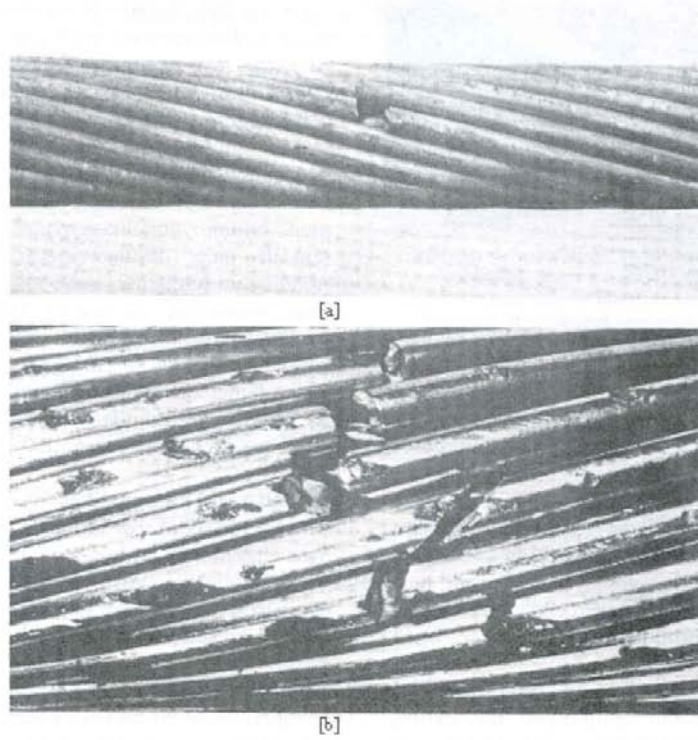
Bu tür titreşimler sadece demet haline getirilmiş iletken hatlarında görülürler. İletken demet-ayraçları [spacer] ile demet haline getirilmiş iletkenlerde hava akımına karşı maruz kalan demet içindeki bir iletkenin , hava akımı istikametine göre korunmalı tarafta kalan diğer iletkeni tahrik eder. Hava akımının tahrik edici etkisine karşı korunmalı tarafta kalan demet içindeki iletken daha büyük genliklerle titreşirler. Hava akım yönlü titreşimler 4 değişik tipte ortaya çıkarlar. Bu titreşimlerin neden olduğu hasar tipleri Tablo-2'de verilmiştir [3-4].

- 1- Demet ayraçları arasında kalan iletkenin titreşimleri
- 2- Düşey düzlemde galloping
- 3- Yatay düzlemde galloping
- 4- İletken demetinin burulma titreşimleri

3. Sonuç ve Öneriler

Kompozit HV-ACSR yapılarda korozyon önleme ve geciktirme çareleri olarak aşağıdaki önerilerimiz sıralanabilir;

- 1- Türkiye'deki hatların tesis edilme süreçleri incelendiğinde nominal servis ömürlerinin tamamlandığı görülebilir. Bu ise önümüzdeki yıllarda hatların plan dahilinde yenilenmesini gündeme getirecektir. Eğer hat-

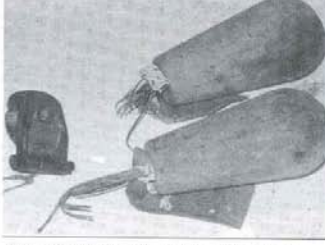


Şekil 6 / (a) ve (b) Enerji nakil hatlarında bitmek tükenmek bilmeyen rüzgar titreşimlerinin açık alanda dampersiz olarak çalışan Drake (795 000 MCM-ACSR) iletkeni üzerinde sebep olduğu yorulma etkileri [9]

ların yenileşme süreci başlamışsa veya yakın bir gelecekte başlayacaksa , bizim önerimiz servis ömürlerinin maksimizasyonu için kompozit ACSR'ler yerine AAAC [AlMgSi] iletkenlerin ilgili birimlerce etraflıca etüd edilmesidir. Gelişmekte olan ülkeler enerji iletim hatlarını AAAC tip iletkenler kullanarak tesis etmektedirler. Bu şekilde galvanik korozyon tesirlerinden dolayı servis ömürlerinin kısalması önlenabilmektedir [2-5].

- 2- Bugünden itibaren ihale edi-

lecek yeni HV-ACSR iletkenlerin çelik özlerinde basit fakat çok önemli bir tedbirle galvanik korozyonun servis ömrü kısaltma etkileri 10 ila 15 yıl ötelenebilir [1]. Bu galvanizlenmiş çelik özler örülürken nötr gres ile yağlanarak ve aynı zamanda PE bant ile çapraz şekilde "s" ve "z" sarım tekniği kullanılarak çelik nüve üzerindeki gresin yağmur ve benzeri etkilerle yıkanmasını önleyerek yapılabilir. Rusya'nın pek çok alanlarında aynı uygulama yıllardan beri kullanılmaktadır bakınız GOST/839-80 stan-



Şekil 6/ [c] "Stockbridge" damperinin ağır taşıyan esnek ankastre çubuklarının tekrarlı salınım dolayısıyla kırılmaları ve servis dışı kalmaları [6-7]

dardının ACK iletkerler bölümü ki bu Türkiye'de kullanılan ACSR ile aynıdır. Korozyonu önleyici basit ve ihmal edilebilecek maliyetteki bu işlemler neden Türkiye'deki iletim hatlarında yapılmamaktadır? Üstelik volkanik arazileri bol ve üç tarafı tuzlu sularla çevrili ülke olmamıza rağmen.

3- Uluslararası iletker üretimlerinde kullanılan IEC-TS1089, DIN-48203 ve NF C 34-125 standartlarının hepsi korozyon hasarlarını indirgeyebilmek için gres uygulamalarını tanımlamaktadır ve önermektedir. TS'de IEC-1089'u kabul edip ismini bu standardın üzerine yazdırdığına göre geriye ilgili kurum/kurumların ACSR iletkerlerinin servis ömürlerinin uzatabilmek için gres uygulamalarının kararını almak ve ihale şartnamelerine yazdırmaları kalmaktadır kanaatindeyiz.

4- Türkiye'de bir plan dahilinde başlatılacak hat yenileştirme çalışmalarında AAAC yerine eğer tekrar konvansiyonel ACSR tip iletkerler tercih edilecekse, gal-

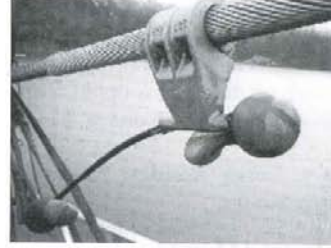
vanik ve diğer korozyon sorunlarından iletkerleri korumak için ACSR/AS tip konstrüksiyonlar önerilebilir. Burada AS rumuzu çelik tellerin üzerini galvaniz yerine alüminyum kaplamayı belirtmektedir. Bu konstrüksiyonda yapı Al+St. yerine tamamen "alüminyuma-alüminyum" teması hale dönüşmektedir. Alüminyum kaplanmış çelik tellerin maliyetleri ise gavanizle kaplanmış olanlara nisbetle 2.5 kat daha pahalıdır ve Türkiye'de imal edilmemektedir ancak bunlar sanayimiz tarafından süratle aşılacak geçici sorunlardır.

5- Hatlardaki titreşim etkilerinden kaynaklanan metal yorulması hasarlarını önlemek için gördüğümüz ve gözlemlediğimiz kadarıyla yapılması gereken herşey ilgililerce yapılmaktadır. Rüzgar etkileriyle oluşan bu tür titreşimlerin iletkene verdikleri enerjileri iletker üzerinden süratle alabilmek için iletim hatlarında mutlaka kullanılması gereken hırdavatlar ise bilindiği gibi;

- a)- İletkerlerin asıldığı noktalara gelen titreşim dalgalarının telleri kırılmaması için zırh çubukları,
- b)- Damperler,
- c)- Demet iletkerler için ayrıçlar.

Bunlara ilave edilebilecek daha pek çok hırdavat malzemelerinin kalite seviyesi yüksek ve şartnamelerin gereklerini tam olarak yerine getirebilen ulusal ve uluslararası firmalardan temin edilmesi yeterli olacaktır.

Ayrıca hasar görmüş ve fonksi-



Şekil-6 / [d] İletim batlarındaki titreşimler dolayısıyla "Stockbridge" damperlerinin ağır taşıyan ankastre çubuğunun yatağından kayıp fonksiyon dışı kalması [6-7]

yonlarını yerine getiremeyen sönmüleyici tüm elemanların [Bakınız Şekil-6/b/c/ç] yenileriyle değiştirilmesi ve periyodik olarak kontrollerinin yapılması iletkerlerin servis ömürlerinin uzatılmasında ve hasarların süratle ilerlemesini geciktirici faaliyetlerdir.

5. Kaynaklar

- [1] Ferguson, J.M., Gibbon, R.R., 1994. Overhead transmission lines-refurbishment and developments. *Power Engineering Journal*, pp. 109-118.
- [2] Davies, G., 1988. Aluminium alloy [6201, 6101A] conductors, *International conference on overhead line design and construction: Theory and practice (up to 150kV) 28-30 Nov.*, pp. 93-97., London, UK.
- [3] Havard, G.David., 1999. *Vibration dampers.*, Ph.D., P.Eng., Oct.18-19., Montreal.
- [4] Havard D.G., Mollis, Y., Meale, J.R., and Woodward S.R., 1994. *Spacer damper spacing to reduce damage due to aeolian and wake induced vibration. Electricity 94th conference for the electric power industry, Westin harbour castle, Toronto, Ontario, Canada, March 20-24.*
- [5] Sedat Karabay, M.Yılmaz, M. Zeren, 2003. AA-6101 Alaşımının yüksek gerilim çıplak bavaı batlarında AAAC iletker olarak kullanımı. *Metaller Dergisi, Şubat-sayı/117., s.56-62.*