سیزدهمین کنفرانس شبکه های توزیع نیروی برق
۱۱و ۱۲ اردیبهشت ۱۳۸۷- گیلان

پیشنهادات اجرایی استفاده از هادیهای آلومینیومی به جای مسی با توجه به تجربیات عملی استفاده از آن در استان گیلان

شهرام مرادی
شرکت توزیع نیروی برق استان گیلان
Moradi_sh@yahoo.com

واژه های کلیدی: هادی آلومینیومی، هادی مسی، شبکه فشار ضعیف

چکیده:
با توجه به روند رو به افزایش قیمت مس در بازار جهانی و اختلاف قیمت حدود ۳/۵ برابر آن با آلومینیوم و پیش بینی های انجام شده تا حدود ۴ برابر تا سال ۱۳۹۰، استفاده از هادیهای آلومینیوم در صنعت برق کشور خصوصا شبکه های توزیع با لحاظ نمودن مسائل فنی و مهندسی مقرون به صرفه خواهد بود.
حال با توجه به استفاده از سیم و کابل مسی که در شبکه های توزیع ایران رایج است؛ این مقاله به بررسی اجمالی مشخصات فنی هادیهای آلومینیومی و مسی و شرایط استفاده از سیم آلومینیوم در شبکه های فشار ضعیف هوایی و روشهای انتخاب کابل آلومینیومی به جای مسی و تجهیزات مورد استفاده و مورد نیاز می پردازد، همچنین به سه نمونه عملی اجرا شده در شهر رشت و حومه اشاره می گردد.

۱- مقدمه:
استفاده از هادیهای آلومینیوم و یا آلیاژی از آلومینیوم خصوصا در خطوط هوایی انتقال نیرو که بیش از ٪۹۷ خطوط انتقال کشور را شامل می شود در ایران متداول است. البته در خطوط فشار متوسط 20Kv هوایی نیز از هادیهای آلومینیوم تقویت شده با فولاد[1] با مقاطع مختلف استفاده می شود. علت استفاده از این فلز سبک و ارزان بودن آن نسبت به مس می باشد.
استفاده از کابل های آلومینیوم به جای مس در شبکه های فشار ضعیف نیز اخیرا مورد استقبال شرکتهای توزیع قرار گرفته است و امروزه در شبکه های زمینی با رعایت مسائل فنی و استفاده از تجهیزات مناسب مورد استفاده قرار می گیرد. این مقاله شامل قسمتهای مختلفی می باشد: ابتدا به بررسی مشخصات هادیهای آلومینیومی و مسی به تفکیک پرداخته و استانداردها و پارامترهای مختلف مرور می گردد. سپس ضمن مقایسه فنی و اقتصادی انجام شده، شرایط انتخاب کابل آلومینیومی بجای مسی در شبکه های فشار ضعیف زمینی و استفاده از یراق آلات مربوطه در شرایط استفاده مختلط مس و آلومینیوم و همچنین شرایط مختلف استفاده ازسیم آلومینیومی در شبکه فشار ضعیف هوایی تشریح می شود. در انتها ضمن بررسی سه پروژه نمونه، مشکلات و مزایای استفاده از هادیهای آلومینیومی اشاره می گردد.

۲- مشخصات انواع هادی های مسی
بخش عمده تولید مس جهانی در صنعت برق استفاده می گردد. مس در میان فلزات صنعتی متداول، بالاترین هدایت الکتریکی را دارا می باشد؛ ساختمان راحت، خواص مکانیکی خوب، مقاومت خوردگی بالا و ارزش بالای ضایعات از دیگر خصوصیات این هادی می باشد.
سیمهای مسی در سه شکل استفاده می شود: سیم مسی سخت[2]، سیم مسی نیمه سخت[3]، سیم مسی نرم[4].

[1] ACSR "Aluminium Conductor Steel Reinforced"

[2] Hard Drawn Copper
[3] Medium-hard Drawn Copper
[4] Soft Drawn Copper

سیم مسی سخت از استحکام و مقاومت بیشتری نسبت بـه بقیـه برخوردار است و حالت ارتجاعی کمتری دارد. سیم مسی نـرم در بعضی از مدارات و برق کشی ساختمان استفاده مـی شـود. سـیم مسی نیمه سخت گستره کاربرد آن در شبکه های توزیع بـوده و استفاده می گردد. درجه خلوص این نوع هادی بالاست و با روش الکترولیتی درجـه خلـوص مـس را بـه ٪۹۹/۹۶ مـی رسـانند. از خصوصیات دیگر این هادی عدم خوردگی در هوای آزاد اسـت. همچنین این هادی می تواند دانسیته جریان بالایی را از خـود عبور دهد که این امر خود باعث کوچـک شـدن سـطح مقطـع هادی خواهد شد. مشخصات سـیمهای مسـی رایـج در شـبکه های فشار ضعیف در جدول (۱) بیان شده است.

ظرفیت جریانی (A)	مقاومت DC در ۲۰ ^{oC} (Ω/Km)	نیروی گسیختگی (N)	وزن تقریبی (Kg/Km)	قطر نهایی (mm)	مفتولها		سطح مقطع حقیقی (mm^2)	سطح مقطع نامی (mm^2)
					قطر نهایی (mm)	تعداد		
۱۲۵	۱/۱۳۹	۶۳۷۰	۱۴۳	۵/۱	۱/۷	۷	۱۵/۸۹	۱۶
۱۶۰	۰/۷۴۶	۹۷۲۰	۲۱۹	۶/۳	۲/۱	۷	۲۴/۲۵	۲۵
۲۰۰	۰/۵۲۶	۱۳۷۷۰	۳۱۰	۷/۵	۲/۵	۷	۳۴/۳۶	۳۵
۲۵۰	۰/۳۶۶	۱۹۷۹۰	۴۴۷	۹/۰	۳/۰	۷	۴۹/۴۸	۵۰
۲۵۰	۰/۳۷۶	۱۹۴۰۰	۴۳۸	۹/۰	۱/۸	۱۹	۴۸/۳۶	۵۰
۳۱۰	۰/۲۷۹	۲۶۳۸۰	۵۹۷	۱۰/۵	۲/۱	۱۹	۶۵/۸۲	۷۰

جدول(۱) مشخصات هادیهای مسی

۳-مشخصات انواع هادی های آلومینیومی:

آلومینیوم فلزی است که قابلیت کوره کاری و چکـش خـواری دارد، قابل جوش دادن و ریخته گری اسـت و در مقابـل زنـگ زدن مقاوم است؛ در برابر اسیدها و بازها مقاوم اسـت و نسـبت به مس سبکتر است. البته آلومینیـوم خـالص بسـیار شـکننده است و دارای استحکام مکانیکی کمتری نسبت به هادی مـس می باشد که برای افـزایش اسـتحکام، هـادی آلومینیـوم را بـه صورت آلیـاژ بـه کـار مـی برنـد ماننـد آلـدری کـه آلیـاژی از آلومینیوم، منیزیم، سیلسیوم و آهن می باشد. قابلیـت هـدایت آن ٪۱۰ از آلومینیوم خالص کمتر و لی مقاومـت مکـانیکی آن خیلی بیشتر است که البته به دلیل بالاتر بودن قابلیت انبساط از پایه های بلندتر با اسپن های کوتـاهتر اسـتفاده مـی شـود. آلومینیوم بیشتر در خطوط انتقال با ولتاژ های بالا به کار مـی رود. در مقایسه با مس ضریب هدایت آن کمتر و تاثیر عوامـل جوی از قبیل رطوبت و اشـعه مـاوراء بـنفش خورشـید بـر آن بیشتر است و در برابر هوای مرطوب زودتر اکسیده مـی شـود. البته در صورتیکه سیم آلومینیوم و مس مستقیما بـه یکـدیگر اتصال داده شود در اثر رطوبت هوا پیل الکتریکی با مدار بسته بوجود می آورد که پس از مدتی در اثر عبور جریان برق، سیم آلومینیوم خورده می شود، لذا به منظور اتصال سیم آلومینیوم به مس از یراق آلات مخصوص و تبدیلی اسـتفاده مـی گـردد. مشخصات هادی هـای آلومینیـوم فـولاد در جـدول (۲) آورده شده است.

راکتانس (Ω/Km)	نیروی گسیختگی (N)	مقاومت DC (Ω/Km)	وزن (kg/km)				سطح مقطع (mm)			قطر نهایی (mm)	قطر مفتول (mm)		تعداد مفتول		نام تجاری
			گریس	کل	فولاد	آلومینیوم	کل	فولاد	آلومینیوم		فولاد	آلومینیوم	فولاد	آلومینیوم	
۰/۲۸۳۵	۱۲۸۱۲	۰/۷۸۲۲	۷/۵	۱۴۹	۴۸	۱۰۱	۴۲/۷۷	۶/۱۱	۳۶/۶۶	۸/۳۷	۲/۷۹	۲/۷۹	۱	۶	فاکس
۰/۲۶۶۴	۲۱۳۱۳	۰/۴۵۴۵	۱۲/۹	۲۵۵	۸۲	۱۷۳	۷۳/۶۵	۱۰/۵۲	۶۳/۱۳	۱۰/۹۸	۳/۶۶	۳/۶۶	۱	۶	مینک
۰/۲۶۶۴	۳۹۹۷۷	۰/۲۷۱۲	۲۱	۴۵۰	۱۶۰	۲۹۰	۱۲۶/۴۳	۲۰/۴۸	۱۰۵/۹۵	۱۴/۵۷	۱/۹۳	۴/۳۹	۷	۷	هاینا
۰/۲۲۷۷	۷۹۸۰۰	۰/۱۵۷۶	۴۴/۷	۸۴۲	۳۳۵	۵۰۷	۲۲۶/۲	۴۲/۷۷	۱۸۳/۴	۱۹/۵۳	۲/۷۹	۲/۷۹	۷	۳۰	لینکس

جدول (۲) مشخصات هادی های آلومینیوم- فولاد استاندارد شبکه های توزیع (فشار متوسط)

۴- مزایا و مـوارد اسـتفاده از سـیم آلومینیـوم بجـای مسی در شبکه فشار ضعیف

ضریب هدایت الکتریکی از پارامترهای مهم انتخاب هادی مـی باشد، اما سایر مشخصه های فلز یا آلیاژ تشکیل دهنده آن نیز مهم است؛ بنـابر ایـن در انتخـاب هـادی، مقطـع، قطـر، وزن،

جریان مجاز، مقاومت مکانیکی و تحمل هادیها در مقابل جریان اتصال کوتاه مدنظر قرار می گیرد.

برای اینکه مشخصه های ذکر شده در هادیهای مختلف مورد بررسی و مقایسه قرار گیرند لازم است مبنای مشترکی تعریف شود. از آنجا که تلفات الکتریکی یکی از پارامترهای مهم در انتخاب مقاطع هادیها می باشد، در مقایسه های ارائه شده ذیل فرض می شود مقاومت هادیها با هم برابر باشند تا امکان مقایسه هماهنگ آنها میسر گردد؛ ضمنا با توجه به اینکه تغییرات عوامل فوق در هادیهای ACSR زیاد می باشد و نیز پارامترهای فوق برای هادیهای آلیاژ آلومینیوم تقریبا مشابه هادیهای آلومینیومی است، لذا در ادامه تنها هادیهایی از جنس آلومینیوم و مس که در شبکه های توزیع نیرو کاربرد گسترده ای دارند مورد مقایسه قرار می گیرند.

نتایج بررسی های اقتصادی نشان دهنده این واقعیت است که در بیشتر موارد (خصوصا در رابطه با روستاهای کوچک و متوسط که چگالی بار بر سطح کمتری دارند) کاربرد سیم آلومینیوم نسبت به مس که تا کنون به صورت عمده در شبکه های فشار ضعیف هوایی شهری و روستایی مورد استفاده قرار می گیرد ارجح می باشد. علل اصلی ارجحیت سیم آلومینیوم نسبت به سیم مسی برای مواردی که معمولا میانگین جریان فیدرهای فشار ضعیف در حد متوسط است به قرار ذیل می باشد:

در هدایت الکتریکی یکسان، ۱۰۰Kg آلومینیوم جایگزین ۱۹۹/۵Kg مس می شود. چون:

$$100Kg_{-Al}* \frac{60.7}{100} * \frac{8.89}{2.7} = 199.5Kg_{-Cu}$$

($\frac{60.7}{100}$ هدایت نسبی آلومینیوم نسبت به مس نرم و ۸/۸۹ و ۲/۷ به ترتیب وزن مخصوص مس و آلومینیوم در دمای $20\ ^{o}c$ بر حسب g/Cm^3 می باشد.)

در مقاومت مکانیکی یکسان، ۱۰۰Kg آلومینیوم جایگزین ۱۳۲Kg مس می شود. چون

$$100Kg_{-Al}* \frac{40}{100} * \frac{8.89}{2.7} = 131.7Kg_{-Cu}$$

$\frac{40}{100}$ مقاومت کششی نسبی آلومینیوم نسبت به مس سخت شده و ۸/۸۹ و ۲/۷ به ترتیب وزن مخصوص مس و آلومینیوم سخت شده است؛ البته اگر مقاومت مکانیکی مس نیمه سخت را منظور نماییم نتیجه بیشتر از این مقدار می گردد که تایید کننده مقدار بیشتر مس می باشد.

همانطور که مشخص است علیرغم هدایت الکتریکی و مقاومت مکانیکی (کششی) بالاتر مس نسبت به آلومینیوم به علت وزن مخصوص خیلی بالاتر مس نسبت به آلومینیوم (حدود ۳/۳ برابر) در شرایط یکسان از نظر هدایت الکتریکی و همچنین از نظر مقاومت مکانیکی (کششی)، وزن سیم مسی نسبت به سیم آلومینیوم بیشتر است و با توجه به این که متوسط قیمت واحد وزن مس در بازار جهانی معمولا خیلی بیشتر از متوسط قیمت واحد وزن آلومینیوم است لذا استفاده از سیمهای رشته ای آلومینیوم برای این موارد در شبکه های فشار ضعیف اقتصادی تر است و با توجه به اینکه در شبکه های فشار ضعیف هوایی به علت کوچک بودن اسپن، مقاومت کششی سیم آلومینیوم کافی است در نتیجه نقش هدایت الکتریکی بسیار بالا می باشد.

ضمنا در صورت نیاز به مقاومت مکانیکی بالاتر می توان از آلیاژهای آلومینیوم با مقاومت کششی بالاتر استفاده نمود، در عین حال به علت سطح مقطع بیشتر آلومینیوم نسبت به سیم مسی در شرایط یکسان انتقال حرارت با محیط مطلوب تر بوده و در نتیجه ظرفیت حرارتی سیم آلومینیوم نیز بالاتر می باشد.

مقاومت خوردگی آلومینیوم به علت تشکیل لایه نازک مقاوم اکسید آلومینیوم نیز برای محیط های دارای عوامل خورنده، مناسب می باشد ولی برای بارهای متراکم یعنی برای نواحی که چگالی بار بر واحد سطح بالا است استفاده از سیمهای مسی به دلایل ذیل مناسب تر خواهد بود.

۵- معایب استفاده از سیم آلومینیوم در مناطق با چگالی بار بر واحد سطح بالاتر

در مناطق شهری مخصوصا مناطق با تراکم بار بالا و طبیعتا جریانهای زیاد، سطح مقطع سیم آلومینیومی افزایش قابل ملاحظه و غیر مطلوبی پیدا می کند و به دلیل ضریب انبساط حرارتی بیشتر آلومینیوم ($23*10^{-6}\ 1/^{o}c$) نسبت به مس با ضریب حرارتی ($17*10^{-6}\ 1/^{o}c$) سیم آلومینیوم تغییرات کشش و فلش بیشتری به وجود می آورد و به علت بالا بودن نسبی سطح اتصال کوتاه در این موارد که افزایش دمای سیم را به دنبال دارد، سیم مسی مشخصه بهتری دارد (نقطه ذوب سیم مسی سخت $1083^{o}c$ و نقطه ذوب آلومینیوم حدود $660^{o}c$ می باشد.) یاد آوری می شود که ضریب افزایش مقاومت الکتریکی به ازاء یک درجه سانتیگراد افزایش دما، برای مس سخت ۰/۳۹۳۰۰ و برای آلومینیوم حدود ۰/۴۰۰ می باشد که تقریبا یکسان است.

مـدول الاستیسـیته (ضـریب یونـگ) مـس سـخت شـده ($E=12000\ Kg/mm^2$) حدود ۱/۸ تا ۱/۸۵ برابر آلومینیـوم می باشد که برای سطح مقطع های بزرگ آلومینیوم و ضرورت اعمـال کشـش هـای بیشـتر، افـزایش طـول ناشـی از کشـش بیشتری (فلش بیشتر) را ایجاد می نماید.

رابطه $S=\frac{T_2-T_1}{AE}$ تغییر طول سیم ناشـی از تغییـر کشـش سیم می باشد (که در آن S طول سیم در حالت بودن کشش، T_1 و T_2 کشش های اولیـه و ثانویـه و A سـطح مقطـع و E مدول الاستیسیته سیم می باشد). در نتیجه در برخی از موارد و مناطق با چگالی بار بر سطح بالا استفاده از سـیم آلومینیـوم مطلوب نخواهد بود.

۶-بررسی استفاده از سیم آلومینیـوم فقـط بـه جـای سیم نول و روشنایی معابر در مناطق شهری با چگالی بار بالا

همانطور که اشاره شد در منـاطق شـهری بـا تـراکم بـار بـالا، استفاده از سیم آلومینیوم به دلیل افزایش قابل ملاحظه سطح مقطع، میسر نخواهد بود و هادی مسی مطلوب تر است؛ اما در صورتی که بخواهیم از سیم آلومینیوم فقط به جای هادی نول و روشنایی معابر و یا فقط روشنایی معـابر اسـتفاده کنـیم، در این صورت اجرای شبکه فشار ضعیف هوایی به صورت متریـک در شرایط ذیل طبق جدول (۳) خواهد بود:

حالت اول: استفاده از هادی مسی برای فازها و نول و روشنایی معابر

حالـت دوم: اسـتفاده از هـادی مسـی بـرای فازهـا و هـادی آلومینیومی برای نول و روشنایی معابر

حالت سوم: استفاده از هادی مسی برای فازها و نـول و هـادی آلومینیومی برای روشنایی معابر

آرایش شبکه		حالت اول	حالت دوم	حالت سوم
نوع هادی	فاز اول	مسی	مسی	مسی
	فاز دوم	مسی	مسی	مسی
	فاز سوم	مسی	مسی	مسی
	نول	مسی	آلومینیومی	مسی
	روشنایی معابر	مسی	آلومینیومی	آلومینیومی
هزینه تقریبی به صورت متریک		۳۴۲۰۶۹ریال	۳۰۹۵۵۳ریال	۳۲۸۰۹۲ریال

جدول (۳) شرایط استفاده از هادیهای مختلف در شبکه های توزیع

با توجه به هزینه های محاسبه شده در صورت استفاده هـادی در حالت دوم جدول فوق در مناطق شهری با چگالی بـار بـالا بـرای هـر متـر احـداث شـبکه فشـار ضـعیف هـوایی حـدود ۳۲۵۱۶ریال در مقایسه با حالت اول صرفه جویی خواهد شد و این مبلغ برای متراژهای بالاتر قابل ملاحظه خواهد بود.

۷-شرایط انتخاب سیم و کابل آلومینیوم بجای مس

چون هدایت الکتریکـی فلـزات بـا آلیاژهـای مختلـف مسـاوی نیست، لذا مقاومت الکتریکی دو هادی با مقاطع یکسان امـا از دو فلز متفاوت با هم برابر نمی باشد؛ بنابر این در صـورتی کـه مقاومت الکتریکی دو هادی مسی و آلومینیومی یکسان فـرض شود با توجه به رابطه: $R=\frac{\rho * L}{A}$

نسبت مقاطع آنها به صورت زیر محاسبه می گردد:

$$K=\frac{A_{al}}{A_{cu}}=\frac{\rho_{al}}{\rho_{cu}}$$

مشخصه	واحد	مس	آلومینیوم
هدایت الکتریکی (آنیل شده)	%IACS	۱۰۱	۶۱
مقاومت الکتریکی (آنیل شده)	$\mu\Omega$ cm	۱/۷۲	۲/۸۳
ضریب دمای مقاومت (آنیل شده)	$/^oc$	۰/۰۰۳۹	۰/۰۰۴
هدایت الکتریکی در دمای ۲۰^oC	W/mK	۳۹۷	۲۳۰
ضریب انبساط	$/^oc$	۱۷×۱۰^{-۶}	۲۳×۱۰^{-۶}
مقاومت کششی (آنیل شده)	N/mm^2	۲۰۰-۲۵۰	۵۰-۶۰
مقاومت کششی (نیمه سخت)	N/mm^2	۲۶۰-۳۰۰	۸۵-۱۰۰
مدول الاستیسیته	kN/mm^2	۱۱۶-۱۳۰	۷۰
گرمای ویژه	J/kg K	۳۸۵	۹۰۰
چگالی	g/cm^3	۸/۹۱	۲/۷۰
نقطه ذوب	^oc	۱۰۸۳	۶۶۰

جدول (۴) مقایسه مشخصه فنی بین سیمهای مسی و آلومینیومی

با اسـتفاده از جـدول (۴) و محاسـبه در روابـط بـالا K=۱/۶۵ است، یعنی اگر هادی آلومینیـومی بخواهـد هـدایتی برابـر یـا بیشتر از مس داشته باشد باید سطح مقطع آن ۱/۶۵ برابر مس باشد. البته این ضریب برای هادیهای غیر رشته ای صادق نمی باشد.

به عنوان مثال برای جایگزینی یک کابل $1\times50mm^2$ مسی کابل $1\times95mm^2$ آلومینیومی جایگزین می شود.

$50*1.65= 82.5 \approx 95\ mm^2$

به جهت رعایت نرم[5] سازندگان سیم و کابل تا میزان ۱۰٪ کمتر و یا بیشتر مقادیر واقعی را می توان رعایت نمود.

از نقطه نظر استحکام مکانیکی، با توجه به جدول (۱) مقدار مقاومت کششی و مدول الاستیسیته سیمهای مسی دو تا سه برابر بیشتر از آلومینیوم است و معمولا برای جبران این مشکل در سیمهای انتقال انرژی از سیمهای آلومینیوم با مغز فولاد استفاده می گردد و با توجه به اینکه جریان بیشتر در اطراف هادی وجود دارد این عیب به نحوی جبران می شود.

در رابطه با کابلهای آلومینیومی با توجه به اینکه کابلها برای دفن در زمین یا کشیده شدن، در کانالها و داکتها قرار دارد تحت هیچ گونه کشش یا خمشی قرار نمی گیرد، اما در نقاطی که استفاده از کابل با آرمورهای فلزی و یا پلیمری اجتناب ناپذیر باشند، خود این آرمورها نگهدارنده مکانیکی خوبی برای کابل هستند.

البته عامل مهم دیگر که می بایست مورد توجه قرار گیرد، تحمل جریان اتصال کوتاه است. نسبت جریان اتصال کوتاه هادیهای آلومینیومی و مسی ($\frac{I_{sc(al)}}{I_{sc(cu)}}$) را با توجه به رابطه $I_{sc}=\frac{K*A}{\sqrt{t}}$ می توان از عبارت زیر به دست آورد:

$$K_{sc}=\frac{A_{al}}{A_{cu}}*\frac{K_{al}}{K_{cu}}$$

مقدار K_{sc} برای هادیهای آلومینیوم حدود ۸۰ تا ۱۰۰ و برای هادیهای مسی حدود ۱۱۰ تا ۱۳۰ می باشد که با لحاظ نمودن مقادیر متوسط K_{cu} و K_{al} در رابطه بالا، مقدار K_{sc} در حالت برابری مقاومت هادیها، برابر ۱/۰۳۳ خواهد بود. رابطه فوق نشان می دهد که هادیهای آلومینیومی می توانند ۳/۳٪ بیشتر جریان اتصال کوتاه را تحمل نمایند که در کاربرد هادیهای مسی در شبکه توزیع، لازم است به این نکته توجه گردد. البته در شرایطی که مقاطع هادیهای مسی و آلومینیومی یکسان در نظر گرفته شود، تحمل هادیهای مسی در مقایسه با آلومینیوم ۳۳٪ بیشتر است.

۸- دلایل اقتصادی

یکی از مهمترین پارامترها برای یک مهندس طراح، بحث اقتصادی بودن پروژه و پایین آوردن قیمت تمام شده طرح با رعایت کلیه اصول فنی و مهندسی می باشد. قیمت مس و آلومینیوم بین سالهای ۸۲ الی ۸۶ طبق جدول (۴) می باشد: (آخرین قیمت از بازار بورس ۸۶/۷/۷)

سال	آلومینیوم (دلار در تن)	مس (دلار در تن)
۱۳۸۲	۱۵۶۰	۳۱۰۰
۱۳۸۵	۲۴۴۵	۷۵۴۰
۱۳۸۶/۷/۷	۲۴۴۰	۸۱۶۵

جدول (۵) مقایسه قیمت مس و آلومینیوم در سالهای اخیر

با توجه به جدول فوق مشاهده می شود اختلاف قیمت مس و آلومینیوم در سال ۱۳۸۲ دو برابر و در سال ۱۳۸۶ تقریبا به ۳/۵ برابر رسیده است و شاید تا سال ۱۳۹۰ به ۴ برابر نیز برسد.

بر اساس قیمت سال ۸۶ مس و آلومینیوم و با فرض اینکه هدایتهای الکتریکی کابل مسی و آلومینیومی را یکسان بگیریم و سطح مقطع کابل آلومینیوم نیز ۱/۶۵ برابر سطح مقطع کابل مسی می باشد، با صرفه نظر از پوسته کابل، جدول (۶) را مبنایی برای محاسبه و مقایسه قیمت کابل های مسی با آلومینیومی قرار می دهیم.

هادی	مس	آلومینیوم
سطح مقطع (cm^2)	۱	۱،۶۵
چگالی (g/cm^3)	۸/۹۱	۲/۸۳
وزن (g)	۸/۹۱	۴/۶۷
قیمت واحد وزن هادی (دلار در گرم) ($/g)	۰/۰۰۸۱۶۵	۰/۰۰۲۴۴
قیمت تمام شده واحد طول کابل (دلار در سانتیمتر) ($/cm)	۰/۰۷۲۷۵۰۱۵	۰/۰۱۱۳۹۴۸

جدول (۶) محاسبه قیمت یک متر کابل مسی با کابل آلومینیومی با هدایت الکتریکی یکسان بر اساس قیمت سال ۸۶

همانطور که در جدول فوق مشخص است قیمت واحد طول کابل مسی ۶/۳۸ و یا ۶/۵ برابر قیمت کابل آلومینیوم می شود و در صورتیکه قیمت مواد پلیمری مصرف شده در کابل و مواد پر کننده نیز منظور شود، قیمت واحد طول کابل مسی ۵ الی ۶ برابر کابل با هادی آلومینیوم می شود؛ این در حالی است که وزن کابل با هادی مسی نیز دو برابر وزن کابل با هادی آلومینیومی است و هزینه های مرتبط با ساخت، حمل و نصب کابل با هادی آلومینیومی نیز به مراتب کمتر خواهد بود.

[5] Norm

۹- پروژه های نمونه انجام شده در شهر رشت و حومه

به عنوان نمونه به سه پروژه اجرا شده با هادی آلومینیومی در قالب شبکه فشار ضعیف هوایی و زمینی در شهر رشت و حومه اشاره می گردد:

۱. اصلاح ۱۳۰ متر شبکه فشار ضعیف هوایی در کوچه ضیاء العلما:

در نمونه اول شبکه فشار ضعیف کوچه ضیاء العلما که از مناطق قدیمی شهر رشت محسوب می گردد با سیم آلومینیوم فولاد Fox اصلاح گردید. مشخصات این طرح اجرا شده و قیمت تمام شده آن در مقایسه با سیم مسی به شرح جدول (۷) می باشد:

مشخصات طرح	سیم آلومینیوم Fox	سیم مسی
تعداد مشترکین	۴۰	۴۰
سطح مقطع سیم	۵×۴۲/۷mm^2	۵×۲۵mm^2
هزینه تمام شده طرح	۲۴۹۳۲۰۰۰ریال	۳۲۰۴۲۰۰۰ریال

جدول (۷)

همانطور که مشاهده می گردد هزینه تمام شده طرح با سیم مسی۱/۳ برابر اجرای طرح با سیم آلومینیوم فولاد می باشد، البته شبکه فشار ضعیف هوایی در این منطقه قابل توسعه نبوده و افت ولتاژ محاسبه شده در نقطه انتهایی شبکه ۳/۲٪ می باشد. در این طرح از یراق آلات مناسب و کلمپ های آلومینیومی/مسی (بی متال)[6] شکل (۱) جهت اتصال کابل سرویس های مشترکین به شبکه هوایی استفاده شده است. لازم به ذکر است که به دلیل غیر قابل توسعه بودن شبکه هوایی و تعداد کم مشترک در منطقه فوق، این طرح قابل توجیه خواهد بود؛ اما با توجه به تراکم بار در اکثر مناطق مختلف شهر رشت همانطور که قبلا نیز اشاره شد، استفاده از سیمهای آلومینیوم در شبکه های فشار ضعیف هوایی روستاها با تراکم بار کمتر مفیدتر خواهد بود (شکل شماره ۲).

(شکل شماره ۱) نمونه کلمپ بی متال

(شکل شماره ۲) شبکه فشار ضعیف هوایی با سیم آلومینیوم

۲. احداث ۳۷۸ متر شبکه فشار ضعیف هوایی در منطقه روستایی لاکان

نمونه دوم احداث شبکه فشار ضعیف هوایی با استفاده از سیم آلومینیوم-فولاد Fox به طول ۳۷۸ متر می باشد. مشخصات این طرح در جدول (۸) آورده شده است:

مشخصات طرح	سیم آلومینیوم Fox	سیم مسی
تعداد مشترکین	۶۵	۶۵
سطح مقطع سیم	۵×۴۲/۷mm^2	۵×۲۵mm^2
هزینه تمام شده طرح	۷۴۰۶۱۵۳۴ریال	۱۰۱۰۶۱۰۰۰ریال

جدول (۸)

۳. احداث ۱۱۵ متر شبکه فشار ضعیف زمینی در بلوار معلم

نمونه سوم احداث کابل کشی فشار ضعیف زمینی در بلوار معلم شهر رشت به منظور کاهش شعاع تغذیه و رفع ضعف ولتاژ مشترکین با استفاده از کابل

[6] Al/Cu (Bimetal)

آلومینیومی است که مشخصات آن بـه شـرح جـدول (۹) می باشد:

مشخصات طرح	کابل آلومینیوم	کابل مسی
تعداد مشترکین	۷۰	۷۰
سطح مقطع کابل اصلی	$۳\times۱۵۰+۷۰mm^2$	$۳\times۹۵+۵۰mm^2$
سطح مقطع کابل معابر	$۴\times۲۵mm^2$	$۴\times۱۶mm^2$
هزینه تمام شده طرح	۴۱۳۲۷۰۰۰ریال	۷۱۳۳۹۰۰۰ریال

جدول (۹)

افت ولتاژ محاسبه شده در نقطه انتهایی شبکه، ٪۳/۱ می باشد. طبق جدول فوق، هزینه تمام شده طرح با کابل مسی ۱/۷ برابر اجرای طرح با کابل آلومینیومی می باشد.

۱۰- مشکلات اجرایی استفاده از هادیهای آلومینیومی

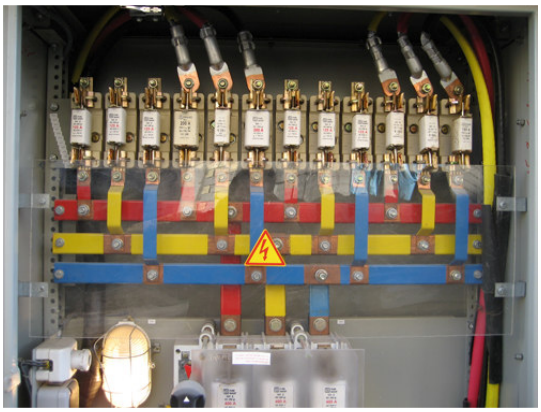
همانطور که در ابتدای مقاله اشاره شد، هادیهـای آلومینیـومی به دلیل چکش خواری کمتر نسبت به مـس، در صـورت عـدم رعایت استانداردها در کابـل کشـی زمینـی و یـا سـیم کشـی هوایی، آسیب جدی خواهند دید.

به عنوان مثال در اتصالات کابلهـای فشـار ضـعیف زمینـی بـه تابلوهای خیابانی از کابلشوهای پرسی بی متال اسـتفاده مـی شود.

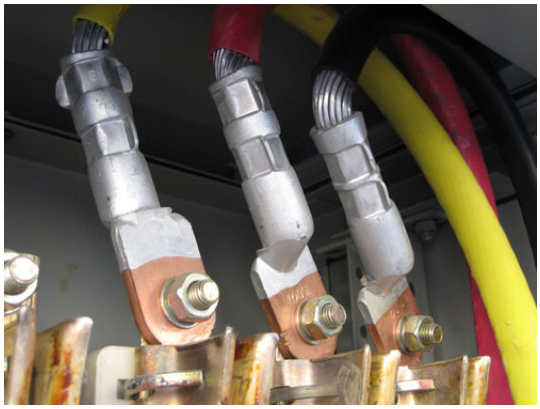
این کابلشوها از دو قسـمت آلومینیـوم و مـس تشـکیل شـده است؛ قسمت آلومینیوم کابلشو با کابل در ارتباط است، لـذا در هنگام نصب و پرس نمودن بایـد دقـت لازم اعمـال گـردد. در صورت وارد نمودن ضربات مکـانیکی بـه منظـور قـرار گـرفتن کامل کابل درون کابلشو، این قطعه از حالـت طبیعـی خـارج و طبعـا در آینـده نیـز مشـکلات بهـره بـرداری در پـی خواهـد داشت(شکل شماره ۳).

(شکل شماره ۳) اثرات ضربات مکانیکی بر کابلشوی بی متال

از مشکلات دیگر کابلشوهای بـی متـال بلنـد بـودن طـول آن است. به عنوان مثال در هنگـام انشـعاب گـرفتن از فیـدرهای خروجی یک دستگاه تابلوی خیابانی با توجه به اینکه از کابل با مقطع بزرگتری نسبت به کابل مسی استفاده می گـردد، بـا در نظر گرفتن خمش مجاز کابل و فضای بالای تابلو مشـکلاتی را ایجاد می نماید که باعث می گردد کابل از حـد مجـاز بیشـتر خم شود (شکل شماره ۴ و ۵).



(شکل شماره ۴) نمای داخل تابلوی خیابانی



(شکل شماره ۵) خمش بیش از حد کابل آلومینیوم

بنابراین در صورتی که قرار باشد از کابلهای آلومینیوم به طـور گسترده در شبکه های توزیع استفاده گردد علی الخصـوص در شبکه های زمینی و تابلوهای خیابانی، لذا نیاز به تغییر آرایش داخلـی تـابلو و کوتـاه کـردن طـول کابلشـو در حـد نرمـال و استاندارد خواهد بود.

نتیجه گیری

افزایش قابل ملاحظه قیمت مـس در بـازار جهـانی و اخـتلاف قیمت آن با آلومینیوم توجه شرکتهای توزیع برق را به استفاده از هادی آلومینیوم جلب نموده است.

البته تجربیات کارشناسان در مناطق مختلـف کشـور بـا آب و هوای متفاوت، در استفاده یا عدم استفاده از سیم آلومینیوم در

شبکه های فشار ضعیف و متوسط هوایی و کابل آلومینیوم در شبکه های زمینی مفید خواهد بود. به عنوان مثال هادی های آلومینیوم فولاد در مناطق ساحلی شمال و جنوب کشور دارای مکانیزم خوردگی کاملا متفاوت است، نمکهای موجود در این محیط با رطوبت موجود، موجب خوردگی می گردد که این مساله باعث شده در این مناطق بیشتر از هادی های مسی استفاده گردد، لازم به ذکر است کیفیت هادی مسی نیز در بروز خوردگی موثر می باشد و وجود ناخالصی خود موجب خوردگی می گردد.

هرچند در مناطق شهری با چگالی بار بالاتر استفاده از سیم مسی توصیه می گردد، اما استفاده از سیم آلومینیوم فولاد فقط به جای هادی نول و روشنایی معابر نیز بهتر است مد نظر قرار گیرد. همینطور در برخی از موارد مانند روستاها و یا مناطق دور دست که دارای چگالی بار کمتری می باشند با رعایت مسائل فنی استفاده از سیم آلومینیوم فولاد در شبکه های فشار ضعیف مطلوب و از نظر اقتصادی مقرون به صرفه تر از سیم مسی خواهد بود.

طبق نظر سنجی های انجام شده از مهندسین شرکت های توزیع در شبکه های فشار ضعیف گرایش بیشتر به سمت هادیهای مسی به دلیل نصب آسان تر، ضریب هدایت بهتر، قطر کمتر و در نتیجه سطح بادخور کمتر، مقاوم بودن در مقابل خوردگی و کم بودن فلش بوده است؛ اما بر اساس مطالب ارائه شده در مقاله با افزایش قطر هادی آلومینیوم مشکل ضریب هدایت و تلفات را می توان جبران کرد، ضمن اینکه جریان هادی نیز افزایش خواهد یافت.

اگرچه از نظر اقتصادی بکارگیری هادیهای آلومینیومی مناسبتر است، اما با توجه به قیمت متعارف مس در گذشته و دلایل مختلف از قبیل بروز خوردگی و تخریب هادیها در محل اتصال هادیهای مسی و آلومینیومی استفاده از هادیهای آلومینیومی تا کنون مورد استقبال کارشناسان قرار نگرفته است؛ البته این مشکل به راحتی و با استفاده از یراق آلات بی متال مناسب از قبیل کلمپهای بی متال، کابلشوهای بی متال، مفصل های حرارتی بی متال با کیفیت بالا قابل حل خواهد بود.

بنابراین با رعایت مسائل فنی و مهندسی در طراحی و اجرای شبکه های توزیع برق هوایی و زمینی و با توجه به افزایش روز افزون قیمت مس استفاده از هادیهای آلومینیوم مفید خواهد بود.

مراجع

۱. استاندارد خطوط هوایی توزیع- جلد پنجم
۲. گزارش علمی دکتر فرشید فروزبخش معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه تهران
۳. سیستمهای توزیع انرژی الکتریکی- تالیف مهندس سید عباس شهرآیینی، مهندس علی جاجرمی
۴. دیدگاههای مهندسی در طراحی خطوط انتقال انرژی- دکتر عربانی، مهندس اسلام زاده
۵. مشخصات فنی و اجرایی هادیهای شبکه توزیع نیروی برق- قسمت اول (بررسی و شناخت هادیهای توزیع)
۶. مشخصات فنی و اجرایی هادیهای شبکه توزیع نیروی برق- قسمت دوم (تنوع زدایی)
7. www.donya-e- eqtesad.com
8. Guide To Electrical Power Distribution Systems – Anthony j.Pansini "sixth Edition"
9. Electrical Engineer's Reference Book by M A LAUGHTON