

بررسی اقتصادی بکارگیری هادیهای هوایی غیر لخت در شبکه های فشار متوسط

کریم روشن میلانی

شرکت توزیع نیروی برق آذربایجانشرقی
kr_milani@yahoo.com

مهرداد طرفدار حق

دانشگاه تبریز، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر
tarafdar@tabrizu.ac.ir

چکیده - این مقاله به بررسی اقتصادی بکارگیری هادیهای هوایی غیر لخت شامل، هادی روکش دار، کابل خودنگهدار، کابل فاصله دار در شبکه های هوایی توزیع برق فشار متوسط ایران و مقایسه آن با شبکه های رایج که با استفاده از هادیهای لخت اجرا می شوند می پردازد. در این بررسی تمام هزینه های مربوط به سرمایه گذاری اولیه، آزادسازی حریم، خسارت خاموشیها و هزینه های بهره برداری و تعمیرات در نظر گرفته شده اند. یک روش جدید بمنظور محاسبه خسارت خاموشیها بر اساس ضریب اهمیت مشترکین پیشنهاد شده است. محاسبات بر اساس معیارهای اقتصاد مهندسی و قیمت های بدست آمده از نصب و بهره برداری پروژه ها در زمان فعلی ایران برای هر کیلومتر هر مدار خط هوایی عایق شده، بدست آمده است.

کلیدواژه - بررسی اقتصادی، کابل فاصله دار، کابل خودنگهدار، هادی روکش دار، هزینه خسارت خاموشی

۱-مقدمه

سیم های لخت خطوط هوایی علاوه بر اثرات زیانبار بر محیط زیست شامل شاخه زنی درختان، مرگ و میر پرندگان، ایجاد آتش سوزی در جنگلها و نیز تخریب های اعمال شده ناشی از آزادسازی باند حریم بعنوان یکی از عوامل مهم در کاهش قابلیت اطمینان شبکه های توزیع عمل می کنند. همچنین مسائل مرتبط با ایمنی، بهره برداری و تعمیرات آنها و اجرای چندین فیدر بر روی یک پایه مشکلات زیادی را برای شبکه های توزیع برق فراهم می کند.

موارد مذکور موجب گردیده که جایگزینی شبکه های هوایی غیر لخت^۱ در مناطق مورد نیاز به عنوان یک راه حل موثر در کشورهای پیشرفته مورد استفاده قرار گیرد. خوشبختانه این موضوع در طی سالهای اخیر در ایران نیز مورد توجه و استقبال شبکه های توزیع برق کشور قرار گرفته است [۱-۶].

انواع گونه های هادیهای هوایی روکش دار (CC^۲)، کابل فاصله دار (SC^۳) و یا کابل های خودنگهدار (ABC^۴) به عنوان اقتصادی ترین نوع شبکه های هوایی عایق شده هستند که به تکنولوژی مختص به خود جهت تولید نیاز دارند، این هادیها سالها است که در اکثر کشورها مورد استفاده قرار می گیرند. رسانای سیمهای مذکور از نظر نیازهای بهره برداری و امکانات تولید می تواند شامل تمام انواع رایج هادیهای هوایی مانند هادیهای آلومینیومی، آلومینیوم آلیاژی، آلومینیوم تقویت شده با فولاد یا سایر هادیهای پیشرفته باشد. بر روی هادی مذکور به ترتیب یک، سه و یا چند لایه روکش عایق الکتریکی که در مقابل عوامل جوی و اشعه ماورا بنفش مقاوم بوده و عمر طولانی نیز داشته باشد، کشیده می شود. عایق اصلی همه گونه های فوق عموماً پلی اتیلن کراس لینک (Cross Linked Polyethylene - XLPE) می باشد [۲].

^۲ - Covered Conductor - CC

^۳ - Aerial Spacer Cable - SC

^۴ - Aerial Bundled Cable - ABC

^۱ - Non-Bare Networks

طی پنج سال گذشته تکنولوژی تولید هادیهای هوایی روکش دار فشار متوسط با استفاده از روش و نیل سیلان توسط مولفین مقاله و سایر همکاران در داخل کشور حاصل گردیده و به تولید انبوه رسیده است [۴۱]. خوشبختانه سایر تولید کنندگان معتبر سیم و کابل کشور نیز اقدامات موثری در رابطه با تولید کابل‌های منوفاز فشار متوسط پیچیده شده بدور سیم فولادی (مسنجر) و بعنوان کابل خودنگهدار فشار متوسط انجام داده اند و هم اکنون نیز هادی روکش دار ضخیم (سه لایه) در داخل کشور برای استفاده در شبکه پایلوت خط هوایی کابل فاصله دار در دست تولید و اجرا می باشد [۴۵].

کلیه این محصولات به صورت صنعتی از داخل کشور قابل دسترس شده اند. اجرای خط هوایی غیر لخت در شرکت‌های توزیع در سطح کشور بصورت خرید و استفاده از این هادی ها و یراق آلات مربوطه در حال توسعه بوده و مراحل کاربرد آزمایشی گونه های جدید آن در چندین شبکه نمونه توزیع برق کشور آغاز و هم اکنون نیز ادامه دارد [۳]. این مقاله در نظر دارد تصویر روشنی از قابلیت های این شبکه ها نسبت به هادی لخت و تحلیل اقتصادی آنها را ارائه نماید.

یکی از سوالات مهم در خصوص بکارگیری هادیهای هوایی غیر لخت در سطح کشور، محاسبات و مقایسه اقتصادی آنها و شبکه های توزیع رایج با استفاده از هادیهای لخت می باشد. مقاله حاضر که نتایج قسمتی از پروژه های تحقیقاتی و اجرای آزمایشی خطوط مذکور می باشد بمنظور پاسخگویی به سوال فوق تهیه شده و در آن تمام هزینه های مربوط به سرمایه گذاری اولیه، آزادسازی حریم، خسارت خاموشیها و هزینه های بهره برداری و نگهداری آنها مطابق با قیمت تمام شده کشور در نظر گرفته شده است تا امکان مقایسه اقتصادی آنها را ارائه نماید.

۲- پارامترهای موثر در محاسبات اقتصادی خطوط توزیع هوایی

بطور کلی در تعیین هزینه های احداث و بهره برداری هر کیلومتر خط هوایی باید چهار پارامتر زیر مد نظر قرار گیرد:

- الف- هزینه سرمایه گذاری اولیه احداث خط (INV)
- ب- هزینه حال آزادسازی حریم (C ROW)
- ج- هزینه حال خسارت خاموشی سالیانه (PV IE)

د- هزینه حال بهره برداری و تعمیرات (PV OM)
مجموع هزینه های فوق (PV T) (برای سی سال دوره بهره برداری هر کیلومتر خط هوایی ۲۰ کیلوولت ملاک مقایسه اقتصادی خواهد بود. با توجه به عوامل موثر اشاره شده می توان مقدار ارزش فعلی کل هزینه را از رابطه (۱) بدست آورد:

$$PV_T = INV + C_{ROW} + PV_{IE} + PV_{OM} \quad (1)$$

در ادامه بحث روش تعیین هر کدام از پارامترهای چهارگانه فوق در مورد خطوط با هادیهای لخت و شبکه های غیرلخت مورد بررسی قرار می گیرد. محاسبات مذکور برای خط هوایی ۲۰ کیلوولت با هادی آلومینیوم فولاد (۱۲۰×۳) میلیمتر مربع و آرایش مقرر هادی سوزنی در پایه های تو خطی که یکی از خطوط رایج در شبکه های توزیع کشور می باشد انجام گرفته است. خط مذکور یکبار بصورت هادی لخت تک و دو مداره و در مراحل دیگر بصورت هادی روکشدار، کابل خودنگهدار و کابل فاصله دار تکمداره تا سه مداره اجرا شده بر روی یک پایه مشترک در نظر گرفته شده است. بدیهی است روش انجام محاسبات را می توان برای انواع سطح مقاطع خطوط تکرار نمود.

۳- سرمایه گذاری اولیه (INV)

جهت مقایسه میزان سرمایه گذاری اولیه برای احداث خط با هادی رایج آلومینیوم مغز فولاد ACSR (لخت) و خط با هادی های غیر لخت مقدار متوسط قیمت تمام شده هر کیلومتر/هر مدار خط فشار متوسط با استفاده از هادی به سطح مقطع ۱۲۰ میلیمتر مربع و متوسط اسپن ۵۵ متر استخراج و مورد مقایسه قرار گرفته است.

۳-۱- هادی لخت

بطور متوسط قیمت هر کیلومتر خط فشار متوسط بر اساس فهرست بهای مصوب سال ۱۳۸۸ وزارت نیرو طبق رابطه شماره (۲) استخراج گردیده است [۷].

$$INV_{bare} = P_t + P_i + P_c = 139820 \quad \text{هر کیلومتر/هر مدار/هزارریال} \quad (2)$$

در این رابطه داریم :

INV_{bare} : سرمایه گذاری اولیه

P_i : هزینه تهیه و نصب پایه های بتنی و فونداسیون (جمعاً به مبلغ ۴۸۴۰۰ هزار ریال برکیلومتر)
 P_i = هزینه نصب کنسول و کراس آرم، مقره ها و یراق آلات (جمعاً به مبلغ ۲۹۲۰۰ هزار ریال برکیلومتر)
 P_c = قیمت هادی به همراه هزینه سیم کشی و سه کلمپ وسط خط (جمعاً به مبلغ ۶۲۲۲۰ هزار ریال برکیلومتر)
 با افزایش تعداد مدار بر روی پایه مذکور (و با لحاظ فواصل مجاز و شرایط مکانیکی) به قیمت تمام شده هر کیلومتر خط هزینه P و cP برای هر مدار جدید اضافه می شود.

۳-۲- هادی روکش دار (CC)

مقدار متوسط هزینه سرمایه گذاری اولیه در احداث یک کیلومتر خط هوایی روکش دار (INV_{cc}) از رابطه زیر محاسبه شده است [۵].

$$INV_{cc} = P_i + P_i + P_c + P_a = ۱۵۹۶۸۲ \text{ هزار ریال} \quad (۳)$$

P_i = مانند تجهیزات مربوط به خط هوایی با سیم لخت می باشد. در بکارگیری هادیهای روکش دار همان مقره و یراق آلات و لوازم خطوط هوایی با کراس آرم کوتاهتر قابل استفاده است و فقط به جهت بالا بردن قابلیت اطمینان خط روکش دار دو اصله پایه کششی و لوازم آن به کل خط اضافه شده است. مبالغ P_i عبارت است از ۷۳۱۹۴ هزار ریال در هر کیلومتر

P_c و P_i = قیمت خرید و دستمزد نصب کنسول و یراق آلات و هادی آلومینیوم فولاد هاین روکش دار با عایق XLPE و سه کلمپ اتصال سیم در وسط خط (به ترتیب عبارتند از ۲۳۸۴۱ و ۵۵۰۷۴ هزار ریال برکیلومتر).

P_a = هزینه خرید و نصب یک مجموعه کامل برقگیر به همراه یک حلقه سیستم چاه ارت در هر ۵۰۰ متر یک عدد و هزینه خرید کاورهای عایق ۲۰ kV و سیم اصلی کردن از جنس PVC (جمعاً به مبلغ ۷۵۷۳ هزار ریال در کیلومتر).
 از نظر مکانیکی می توان در اجرای شبکه خط هوایی با هادی روکش دار دو و سه مداره با حداقل فواصل ۴۵ سانتیمتر افقی و ۵۵ سانتیمتر عمودی بر روی همان پایه اجرا نمود.

۳-۳- کابل خودنگهدار (ABC)

متوسط هزینه احداث هر کیلومتر کابل خودنگهدار فشار متوسط ۱۲۰ میلیمتر مربع با کلیه کلمپ های مربوطه عبارتند از [۸]:

$$=Pt+Pi+Pc+Pa=_{ABC} INV ۳۷۱۰۲۰$$

(۴) هرکیلومترهمدمدارهزارریال

P_t : هزینه نصب پایه های بتنی و اجرای فونداسیون آنها در متوسط اسپن ۵۵ متری با سیستم مهار در پایه انتهایی (به مبلغ ۶۸۶۰۰ هزار ریال).

P_i و P_c : تهیه و نصب یراق آلات مخصوص کابل خودنگهدار فشار متوسط شامل کلمپ عبوری و قلاب های مخصوص آنها خرید و نصب کابل خودنگهدار سه فاز به مقطع ۱۲۰*۳ با سیم نگهدارنده فولادی گالوانیزه ۷۰ mm² به همراه سرکابلها و مفصل به ترتیب به مبلغ ۴۸۹۵ و ۲۹۱۰۳۹ هزار ریال در هر کیلومتر هر مدار خواهد بود.

P_a : بمنظور حفاظت در مقابل اضافه ولتاژهای احتمالی بر روی سرکابلها از سیستم برقگیر و اجرای سیستم چاه ارت مربوطه استفاده می گردد که هزینه آن در ابتدای فیدر به مبلغ ۶۴۸۶ برآورد گردیده است. ضمناً اجرای چندین مدار کابل خودنگهدار فشار متوسط در صورت تحمل پایه کششی امکان پذیر خواهد بود.

۳-۴- کابل فاصله دار (SC)

برآورد مصالح مورد نیاز و دستمزد نصب هر مدار در هر کیلومتر خط هوایی فاصله دار ۲۰ kV با متوسط اسپن ۵۵ متر و هادی روکش دار سه لایه ای ۱۲۰ آلومینیومی بر طبق تجهیزات مورد نیاز آن به شرح زیر است [۶]:

$$=Pt+Pi+Pc+Pa=_{SC} INV ۲۴۵۱۹۰$$

(۵) هرکیلومترهمدمدارهزارریال

که در آن:

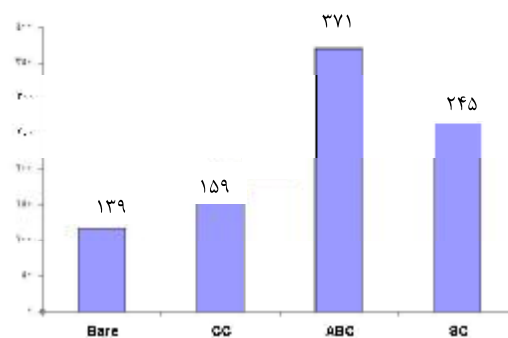
P_t : هزینه تهیه و اجرای تیرهای بتنی مانند شبکه کابل خودنگهدار بوده با این تفاوت که قدرت چهار پایه عبوری آن یک ساینز تقلیل یافته است جمعاً به مبلغ ۶۱۴۸۰ هزار ریال در هر کیلومتر.

P_i و P_c : هزینه اجرایی ۱۶ آرایش آویزی و ۴ آرایش انتهایی در هر مدار شبکه فاصله دار در هر کیلومتر می باشد. قیمت خرید و نصب هادی روکش دار ضخیم به مقطع ۱۲۰ میلیمتر مربع بعلاوه

سیم فولادی نگهدارنده آن به ترتیب به مبلغ ۲۹۸۵۰ و ۱۳۱۲۰۰ هزار ریال در هر کیلومتر هر مدار می باشد.

Ps: هزینه تهیه و نصب فاصله نگهدارهای عایقی (اسپیسر) در وسط اسپن ها (هر ۱۰ متر یک عدد) و نیز اجرای شبکه ارت و چاه مربوط جهت اتصال به سیم نگهدارنده(به ترتیب ۱۸۵۶۰ و ۳۲۰۰ هزار ریال در کیلومتر)

میلیون ریال



جدول (۱) - هزینه احداث هر کیلومتر خط هوایی تک و چند مداره با هادی های لخت و روکش شده

	هزینه احداث هر کیلومتر/هزار ریال INV =			
	Bare	CC	SC	ABC
تک مداره	۱۳۹۸۲۰	۱۵۹۶۸۲	۲۴۵۱۹۰	۳۷۱۰۲۰
دو مداره	۲۳۱۲۴۰	۲۴۶۱۷۰	۴۲۴۸۰۰	۶۷۳۴۴۰
سه مداره	۳۲۲۶۶۰	۳۳۲۶۵۸	۶۰۴۴۱۰	۹۷۵۸۶۰
چهار مداره	-	-	۷۸۴۰۲۰	۱۲۷۸۲۸۰

۴- هزینه آزادسازی حریم $(C)_{ROW}$

برابر تصویب نامه شماره ۲۹۰۵۲ هیات وزیران در مورخ ۱۳۴۷/۱۰/۷ حریم درجه یک خطوط هوایی فشار متوسط (۲۰ کیلوولت) ۳ متر از طرفین فاز های کناری با رعایت شرایط قانونی آن می باشد. به این ترتیب هزینه های متصوره برای آزاد سازی باند حریم برای خط با هادی لخت و نوع هادی روکش دار به صورت فوق می باشد بدیهی است

استخراج هزینه های آزادسازی مسیر خطوط انتقال انرژی الکتریکی متأثر از مسیر انتخاب شده و پیکتاژ مناطق از نظر وجود اعیانی، اشجار و مستحداث است که در صورت واقع شدن در داخل محدوده شهرها به جهت ضرورت جلب رضایت

صاحبان املاک هزینه ها براساس نظریه کارشناس حقوقی با قوانین فعلی، فوق العاده افزایش می یابد.

۴-۱- هادی لخت

هزینه آزادسازی حریم برای احداث هر کیلومتر خطوط با هادیهای لخت براساس اسناد مالی خسارات پرداخت شده در مرجع شماره [۹] برای قیمت های خرید عرصه و اعیانی سال ۱۳۸۵ و پرداخت هزینه های قطع اشجار مسیر ملاک محاسبات بوده است. متوسط هزینه آزادسازی حریم و تحصیل اراضی در مناطق شهری و روستائی به ترتیب مطابق رابطه (۶) و (۷) می باشد.

$$(۶) \text{ کیلومتر/ هزارریال } = ۶۰,۰۰۰ = C_{ROW, Bare, inside-city}$$

$$(۷) \text{ کیلومتر/هزارریال } = ۵,۰۰۰ = C_{ROW, Bare, rural}$$

همین باند آزاد شده برای احداث مدارهای بعدی بر روی همان پایه قابل لحاظ می باشد.

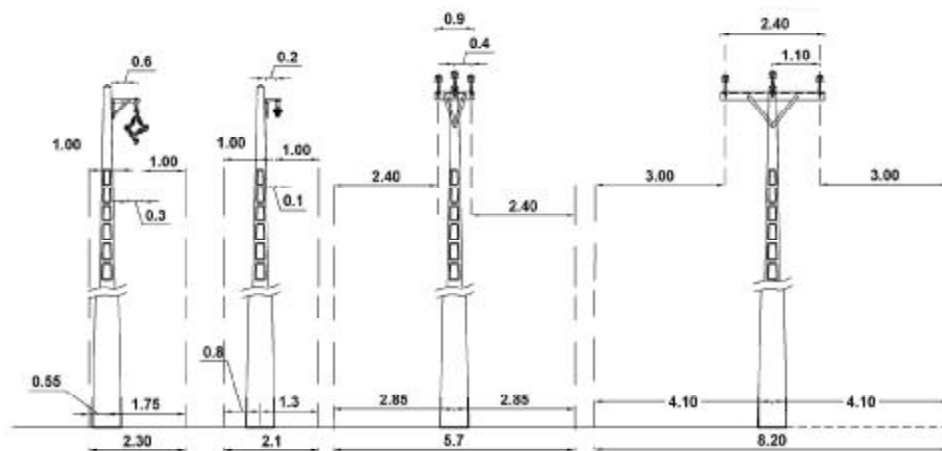
۴-۲- هادی های هوایی غیر لخت

با استفاده از هادیهای روکش دار می توان فاصله فازها را تا ۴۵ سانتی متر از همدیگرتقلیل داد [۱۰]. دراین صورت طول کراس آرم ها نیز به ۹۰ سانتی متر کاهش خواهد یافت و با برخورداری از تخفیف ۶۰ سانتی متری هادی روکش شده باند

حریم مورد نیاز جهت آزادسازی مطابق شکل (ب-۲) به مقدار ۲/۵ متر کاهش می یابد که نهایتاً ۲۵۰۰ مترمربع در هر کیلومتر خط، فضای مورد نیاز جهت تحصیل را نسبت به خطوط با هادی لخت کاهش می دهد. بدین ترتیب روابط (۶) و (۷) را برای متوسط هزینه آزادسازی حریم هر کیلومتر خط با هادی روکش دار در شرایط قوانین فعلی در مناطق شهری و مناطق روستائی مطابق جدول (۱) خواهیم داشت. نکته قابل

توجه اینکه در صورت تجدید نظر و تخفیف میزان حریم برای دیگر خطوط هوائی عایق شده همانند فواصل یک متر ارایه شده در استاندارد OHSAS آزادسازی حریم و هزینه های مربوط به شبکه های احداث شده با کابل خودنگهدار فشار متوسط و شبکه خط فاصله دار به ترتیب با ۶/۱۰ و ۵/۹۰ متر در آزادسازی حریم تقلیل خواهند یافت (شکل ۲-ج) و (۲-د) [۱۱].

در استاندارد OHSAS فاصله امن برای افراد و تاسیسات در خطوط فشار متوسط لخت (همانند قوانین فعلی) ۳ متر و برای



شکل (۲) باند حریم برای خط هوایی ۲۰ کیلوولت با انواع هادی ها و عایق شده و لخت (فواصل به متر است)
 (الف) خط با هادی لخت (ب) خط با هادی روکش دار (ج) کابل خودنگهدار (د) کابل فاصله دار

PV_{IE} : هزینه حال خسارت سالیانه خاموشیها در طی دوره مورد مطالعه (سی سال) به هزار ریال بر کیلومتر
 i: انواع کاربرهای انرژی الکتریکی که مطابق تعرفه بندی وزارت نیرو در ایران عبارتند از:

- ۱- خانگی (residual)
 - ۲- عمومی (public)
 - ۳- کشاورزی (agriculture)
 - ۴- صنعتی (industrial)
 - ۵- تجاری (commercial)
 - ۶- روشنایی معابر (street li.)
- مقاله از مقادیر جامعه آماری مشترکین شرکت توزیع نیروی برق آذربایجان شرقی واقع در سایت www.ezepdico.ir تا پایان سال ۱۳۸۷ به شرح جدول شماره (۳) استفاده شده است [۱۳].
- CP_i : درصد مشترکین بر اساس متوسط بار مصرفی در طی یکسال که در هر تعرفه جامعه آماری مورد نظر می باشد و از نسبت فروش انرژی سالیانه کل مشترکین در کاربری مشخص بر کل انرژی فروخته شده سال حاصل می گردد.

$Cout_i$: هزینه عدم تامین هر واحد انرژی یا نرخ خسارت خاموشی هر مشترک به ریال بر کیلووات ساعت از دید شبکه درمدت زمان متوسط یک ساعت قطعی برق میباشد. که برای مشترکین خانگی، صنعتی و تجاری از مراجع [۱۴ و ۱۵] و با تبدیل تفاوت نرخ ارز از سال ۱۳۷۴ به زمان حال (۱/۲۵٪) و نرخ خسارت برای کاربری های عمومی از دید مشترک بر اساس مرجع [۱۶] به شرح جدول شماره (۳) تکمیل شده است. در این تحقیق مقادیر خسارات تعرفه های کشاورزی و روشنایی معابر را

خطوط غیر لخت یک متر می باشد که با استاندارد بکار برده شده در استرالیا نیز تطابق دارد [۱۲]. با کاهش فراهم شده در میزان باند حریم مقادیر هزینه های روابط (۶) و (۷) به میزان درج شده در جدول (۲) کاهش خواهند یافت که در این فضای آزاد شده می توان خطوط عایق شده با تعداد فیدر بیشتر (دو الی چهار مداره) را بدون هزینه اضافی اجرا نمود.

جدول (۲) - هزینه آزادسازی باند حریم

	هزینه آزادسازی حریم کیلومتر/هزار ریال = ROW			
	Bare	CC	SC	ABC
In side-city	60000	41707	16829	15366
rural	5000	3476	1402	1280

۵- هزینه خسارت خاموشیها (PV_{IE})

رابطه (۸) بمنظور محاسبه هزینه انرژی توزیع نشده براساس میزان انرژی تامین شده سالیانه به انواع مشترکین (کیلووات ساعت برای هر مشترک) پیشنهاد شده است.

$$PV_{IE} = \left[\sum_{i=r,i,a,p,c,sl} (CP_i \times Cout_i \times S_i) \right] \times ENS \times LEC \times P_{w1} / L \quad (8)$$

در این رابطه داریم:

جدول (۳)- مشترکین شرکت توزیع نیروی برق آذربایجانشرقی (تا پایان سال ۱۳۸۷

نشانه	انواع کاربری (تعرفه) i	خانگی r	صنعتی i	کشاورزی a	تجاری c	عمومی p	روشنایی معابر sl
i_{CP}	درصد بار مشترکین	۳۶٪	۳۲٪	۱۵٪	۴٪	۱۱٪	۲٪
i_{Cout}	نرخ خسارت خاموشی [Rial/kwh]	۴۴۶۳	۹۰۰۰	۷۶۵۰	۶۸۲۵	۵۸۰۰	۲۰۰۰
i_S	ضریب اهمیت مشترک	۲	۳	۲.۵	۳	۲.۵	۲

دیگر عوامل مختلف در ایجاد خاموشیها در شرکت توزیع برق آذربایجانشرقی در سال ۱۳۸۸ به درصد زیر می باشد :

$$LEC_{Bare} = 0.96 \quad (10)$$

P_{w1} : فاکتور تبدیل ارزش سالیانه هزینه به ارزش فعلی برای یک دوره ۳۰ ساله که مقدار آن به ازای نرخ سود ۱۸٪ معادل $P_{w1} = 5/5412$ می باشد.
 L : طول خطوط برحسب کیلومتر (که در شبکه نمونه معادل ۱۲۰۱۷ کیلومتر طول خط هوایی فشار متوسط است).

۵-۱- هزینه خسارت خاموشیها در خطوط با هادیهای لخت

با در نظر گرفتن رابطه (۸) و بکار گیری پارامتر های مذکور می توان ارزش حال خسارت خاموشیها را در طی یک دوره سی ساله ناشی از خطوط هوایی لخت فشار متوسط شبکه نمونه بصورت زیر محاسبه نمود

$$PV_{IE, Bare} = 75054 \text{ هزار ریال / کیلومتر} \quad (11)$$

۵-۲- خسارت خاموشیها در خطوط با هادیهای غیر لخت

گرچه به جهت محدود بودن بازه زمانی اجرا خطوط هوایی با هادیهای عایق شده در سطح کشور بررسی کاهش هزینه خسارت خاموشیها در این خطوط نمی تواند بصورت دقیق انجام گیرد اما با توجه به بکارگیری انواع گونه های شبکه های هوایی غیر لخت در دیگر کشورها از جمله نتایج ارائه شده در شرکت برق CEMIG برزیل : هادیهای روکش دار، کابل فاصله دار و کابل خودنگهدار به ترتیب $1/5$, $1/10$, $1/20$ خطا را در مناطق بحرانی کاهش میدهند [۱۹]

برخوردار شدن از حداکثر سود بکارگیری هادی های هوایی غیر لخت و کاهش خسارات خاموشیها بستگی به نحوه بکارگیری

به ترتیب مشابه تعرفه های صنعتی و خانگی ولیکن با ضریب ۸۰٪ خسارت کمتر فرض شده است.

i_S : ضریب اهمیت مشترک یا ضریب تفاوت هزینه های اجتماعی-اقتصادی ازدید مشترکین نسبت به قطع برق شبکه می باشد. این ضریب متأثر از میزان وابستگی مشترک به انرژی، استمرار زمان قطع برق ، ارزش اقتصادی توقف فعالیت و... خواهد بود. میزان این خسارت را در بعضی از کاربری ها حتی ۵۰ الی ۱۰۰ برابر بیشتر از هزینه خسارات خاموشیها از دید شبکه اعلام می دارند [۱۷]. مدیر عامل محترم توانیر در سال ۱۳۸۶ میزان خسارت خاموشیها را برای مشترکین بسته به تعرفه ها بطور متوسط ۷۰ الی ۱۵۰ برای قیمت تامین آن بیان نموده اند [۱۸]. مقدار دقیق این ضریب باید بر اساس اطلاعات آماری از انواع کاربری ها و برای تاثیر انواع بازه های زمانی از قطعی برق انجام پذیرد. در این مقاله برای کلیه تعرفه ها و با ملاحظات خوش بینانه و با فرض مبلغ خسارت ۱۰۰ برابر قیمت تامین انرژی (۷۶۰ ریال) برای تعرفه های خانگی و معابر عدد ۲ و تعرفه های عمومی و کشاورزی ضریب ۲/۵ و تعرفه های صنعتی و تجاری عدد ۳ در نظر گرفته شده است.

ENS: انرژی تامین نشده (اعم از بی برنامه و با برنامه) ناشی از شبکه فشار متوسط بر حسب کیلووات ساعت. برای جامعه نمونه آماری که ملاک محاسبات در این مقاله بوده است متوسط انرژی تامین نشده بخش فشار متوسط در ده ماهه اول سال ۱۳۸۸ ، ۸۸۲۱ مگاوات ساعت بوده که بر اساس برازش مقادیر یکساله آن خواهد بود [۱۳]

$$ENS = 9850000 \text{ کیلووات ساعت} \quad (9)$$

LEC : ضریب تاثیر خطوط هوایی در خاموشیهای شبکه بر حسب درصد. بر اساس آمار سهم شبکه هوایی فشار متوسط به

شرکت های توزیع برق برای مناطق پرعارضه و حادثه خیز دارد. بعنوان نمونه در مناطقی که قطعی ها ناشی از برخورد پرندگان و حیوانات زیاد می باشد می توان ضمن روکش دار نمودن هادی ها از ارتقاء قابلیت اطمینان شبکه نیز برخوردار گردید. بر اساس نتایج جدول (۴)، با بکار گیری هادیهای هوایی غیر لخت می توان عوامل ایجاد حوادث و خاموشیهای ناخواسته را نسبت به خطوط رایج کاهش داد. جدول (۴) میزان کاهش متوسط زمان قطعی مشترکین در سال (SAIDI) با افزایش قابلیت اطمینان شبکه های عایق شده را نشان می یابد [۱۹].

از طرف دیگر انرژیهای توزیع نشده (ENS)، متشکل از دو بخش حفاظتی (بی برنامه) و دستی (با برنامه)، میباشد، که انرژیهای توزیع نشده حفاظتی شبکه نمونه که متاثر از حوادث و اتصالات نا خواسته میباشد ۶۲٪ کل انرژیهای توزیع نشده می باشند. به این ترتیب ضریب LEC برای خطوط با هادیهای غیر لخت بصورت رابطه (۱۲) خواهد بود:

جدول (۴) - متوسط زمان خاموشی هر مشترک در سال SAIDI=

ABC	SC	CC	Bare	شبکه نمونه
3.0	4.7	7.92	9.9	Bernis and Minas Gerais - 2001

$$LEC_{Non-bare} = 0.96 * 0.62 = 0.59 \quad (12)$$

حال رابطه (۸) را برای تعیین خسارت خاموشیها در طی یک دوره مطالعه سی سال برای خطوط با هادیهای غیر لخت می توان بکار برد. سایر مقادیر رابطه (۸) مشابه خطوط با هادی لخت در نظر گرفته شده است. نتایج کاهش هزینه های خسارات خاموشی شبکه های عایق شده در جدول شماره ۵ آمده است.

جدول (۵) - هزینه خسارات خاموشی شبکه های غیر لخت

(هر کیلو متر هر مدار به هزار ریال)

	Bare	CC	SC	ABC
PV_{IE} تکمداره	۷۵۰۵۴	۹۲۲۵	۲۷۰	۱۳۴
PV_{IE} دو مداره	۱۵۰۱۰۸	۱۸۴۵۰	۵۴۰	۲۶۸
PV_{IE} سه مداره	۲۲۵۱۶۲	۲۷۶۷۵	۱۶۲۰	۴۰۲

۶- هزینه بهره برداری و تعمیرات (PV) OM

هزینه های سالیانه نگهداری، تعمیرات و بهره برداری خطوط براساس دفاتر مالی و جداول منضم به آن در کلیه شرکت های توزیع محاسبه و نگهداری می شوند. هزینه شاخه زنی درختان به صورت دوره های ۵ ساله به طور جداگانه به هزینه های سالیانه بهره برداری اضافه می شوند. ارزش فعلی هزینه بهره برداری و تعمیرات از رابطه (۱۳) به شرح زیر بدست می آید

$$PV_{OM} = (M_r + C_p)P_{W1} + C_f P_{Wk} \quad (13)$$

PV_{OM} = ارزش حال هزینه های بهره برداری و تعمیرات سالانه به ازای هر کیلومتر خط هوایی فشار متوسط بر حسب هزار ریال.

M_r = هزینه سالیانه تعمیرات، رفع عیب و تعویض تجهیزات معیوب و بهینه سازی هر کیلومتر خط هوایی می باشد. این هزینه سالیانه شامل موارد بازدید دوره ای، سرویس و نگهداری هر کیلومتر خط هوایی نیز می باشد. هزینه های صرف شده برای سرویس و بازدید خط بر اساس دفاتر مالی هزینه های تعمیرات و نگهداری خطوط فشار متوسط شرکت توزیع برق آذربایجان شرقی با حجم بیش از ۱۲ هزار کیلومتر در سال ۱۳۸۸ که شامل عمده فعالیت هایی از جمله تعویض مقره ها و یراق آلات شکسته، تعویض فیوز لینگ و لنگه کات اوت های معیوب و رفع پارگی سیم بوده است، در هر کیلومتر بالغ بر ۱۲۴ هزار ریال در سال است [۲۱].

C_p = هزینه دستمزد سالیانه اکیپ های عملیاتی، کلیدزنی، نگهداری و اکیپ اتفاقات شبکه به ازای هر کیلومتر خط هوایی می باشد. این هزینه از اسناد مالی پرداخت حقوق و دستمزد اکیپ بهره برداری محاسبه می گردد. سهم حقوق دستمزد پرسنل بهره برداری که به امر تعمیر و نگهداری فقط خطوط هوایی مبادرت ورزیده اند از محل بودجه کل شرکت در سال ۱۳۸۸ مبلغی بالغ بر ۴۹۰ هزار ریال بر کیلومتر بوده است.

C_f = هزینه های شاخه زنی درختان و رفع اجسام و موانع از روی هر کیلومتر خط هوایی که معمولا برای هر ۵ سال یکبار این عملیات برای هادیهای لخت در مناطق پر درخت انجام می پذیرد. باتوجه به آمار ارایه شده در مرجع [۲۱] بطور متوسط در هر سال در خطوط نمونه اجرا شده جهت قطع اشجار در آن شرکت بطور متوسط مبلغی معادل ۳۳ هزار ریال در هر کیلومتر سالیانه پرداخت شده است.

جدول (۶) تعداد اتصالات منجر به قطعی به ازای هر ۱۰۰ کیلومتر در سال در شرکت توزیع برق آذربایجان شرقی

ردیف	شرح عوامل	شبکه CL&P				شبکه نمونه باهادی لخت
		Bare	CC	SC	ABC	
۱	برخورد شاخه درختان	39.84	5.76	1.76	9.6	1.56
۲	برخورد پرندگان و حیوانات	33.44	4.8	3.84	3.84	12.35
۳	برخورد صائقه (سوختن برقیگیر) و عوامل بدجوی	8.32	1.6	2.56	5.92	10.47
۴	خرابی تجهیزات هوایی و کات اوت ها	9.12	1.12	2.88	16.96	12.38
۵	عوامل نامشخص خارجی	1.92	1.28	1.28	3.84	38.52
۶	سایر اتفاقات (پارگی سیم و جمپر، شکستن مقره و یراق آلات، برخوردهای به هم و به بدنه)	31.68	4.16	4.32	13.12	8.58
	جمع	77.7	11.6	10.5	33.3	83.86

کشورهای صنعتی میتوان به کاهش نرخ بروز خطا در هادی های هوایی غیر لخت تا حد ۷۰ درصد رسید.

از طرف دیگر به تعویق افتادن عملیات شاخه زنی در اطراف خطوط غیر لخت، که بازه زمانی آن با بکارگیری هادیهای روکش دار و شبکه کابل خودنگهدار به طور متوسط به هفت و نیم سال یکبار و شبکه کابل فاصله دار هر ده سال یکبار قابل انجام خواهد بود

P_{wk} : برای هر دوره (۷/۵ و ۱۰) با تقریب قابل قبول معادل $P = 1/83592/1743$ و $P_{7.5,10}$ می باشد. رابطه فوق به منظور محاسبه هزینه بهره برداری و نگهداری به ارزش فعلی هادیهای غیر لخت قابل استفاده است:

$$PV_{OM,CC,ABC} = (M_{r,CC} + C_{P,CC})P_{W1} + C_{t,CC} \cdot P_{W7.5} \quad (15)$$

$$PV_{OM,CC,ABC} = 2456 \quad \text{کیلومتر/هزارریال}$$

$$PV_{OM,SC} = 2445 \quad \text{کیلومتر/هزارریال}$$

رابطه فوق نسبت ارزش حال هزینه های بهره برداری و تعمیرات سالانه خط هوایی فشار متوسط با هادی غیر لخت به خط هوایی با سیم لخت را به ازای هر کیلومتر نشان می دهد. مطابق این رابطه هزینه های مذکور برای خط با هادی عایق شده تقریباً معادل هفتاد درصد هزینه های خط با هادی لخت است

$$\frac{PV_{OM,Non_Bare}}{PV_{OM,Bare}} = 69\% \quad (16)$$

۷- منافع اقتصادی خطوط غیر لخت

باتوجه به موارد ذکر شده هزینه بهره برداری خطوط هوایی با هادیهای لخت از رابطه (۱۴) به دست می آید.

$$PV_{OM,BAR} = (M_{r,BAR} + C_{P,BAR})P_{W1} + C_{t,BAR} \cdot P_{W5}$$

$$PV_{OM,BAR} = 3518 \quad \text{کیلومتر/هزارریال} \quad (14)$$

که در آن P_{wk} : فاکتور تبدیل هزینه های پنچسال یکبار به ارزش فعلی در دوره سی سال می باشد. که مقدار آن (k = 5) با تقریب قابل قبول معادل $P_{W5} = 3/4976$ میباشد.

۶-۱- خطوط با هادیهای غیر لخت

استفاده از هادیهای هوایی روکش دار و کاورهای عایقی موجب کاهش آمار اتفاقات و حوادث نسبت به هادیهای لخت می گردد. لذا بازدهها و اعزام اکیپ های تعمیراتی (M_r) نیز حداقل به میزان ۳۰ درصد کاهش می یابد. به این ترتیب هزینه پرسنل نگهداری هر کیلومتر شبکه هوایی با هادیهای عایق شده در شبکه توزیع برق بر این اساس کاهش خواهد یافت.

در شبکه برق کمپانی CL&P که از انواع هادی های عایق شده استفاده شده است نتایج کاهش تعداد اتصالات و عیوب منجر به عملیات رفع قطعی (به ازای هر ۱۰۰ کیلومتر شبکه) در طی یک سال نسبت به شبکه لخت در جدول (۶) نشان داده شده است [۲۰]. مقادیر این جدول برای شبکه نمونه آماری این مقاله نیز تکمیل گردیده، تعداد حوادث خطوط هوایی با هادی های لخت قبل از جایگزینی هادی های روکشدار جهت مقایسه آورده شده است. با مقایسه مقادیر جدول با نتایج عملکرد در

این منافع زمانی که خط بصورت چهار مداره بر روی پایه موجود برای کابل فاصله دار در مقایسه با دو خط دومداره مقایسه شود به میزان ۴۰٪ در هزینه تمام شده خط صرفه جویی خواهد داشت

۸- نتیجه گیری

با مقایسه هزینه های خط با سیم لخت و خطوط با هادی غیر لخت ملاحظه می گردد که علی رغم افزایش هزینه احداث خطوط با هادی روکش دار و کابل فاصله دار به ترتیب به میزان ۱۴ و ۷۵ درصد بیشتر از هزینه احداث خطوط با هادیهای لخت، با در نظر گرفتن ارزش فعلی کلیه هزینه های آزاد سازی حریم، تعمیر و نگهداری و انرژی های توزیع نشده در مدت بهره برداری ۳۰ سال، ارزش حال خطوط (PV) T (با هادیهای روکش دار بمیزان ۷۶ درصد و شبکه کابل فاصله دار به میزان ۹۷ درصد کمتر از هزینه خطوط رایج می باشد.

۹- مراجع

- [1] M. Tarafdar Hagh, S. M. Seyed Giasi, K. R. Milani, M. Mostofi, "State of the Art of Application of Covered Conducors in IRAN", TPE-06, 3rd Intl. Conf. on Technical and Physical Problems in Power Eng, 2006 – Turkey.
- [2] F. Shahnian, A. M. Kashtiban, K. R. Milani, M. Tarafdar Hagh "Insulation Effects and Characteristics of XLPE Covered Overhead Conductors in Low and Medium Voltage Power Distribution Systems in IRAN", IEEE Intl. Conf., on Elect. Insulation, 2006, Canada.

[۳] مهرداد طرفدار حق، کریم روشن میلانی، سید محمد سید قیاسی "هادی های هوایی روکش دار- نسل جدید خطوط توزیع ایران"، دهمین کنفرانس شبکه های توزیع ایران، ادیبهشت ۸۴، دانشگاه تبریز، صفحه ۶۴-۷۲.

[۴] مهرداد طرفدار حق، سید محمد سید قیاسی، مجید مستوفی سرکاری، فرهاد فرنام "هادیهای هوایی روکش دار و نتایج حاصل از تولید نیمه صنعتی" بیستمین کنفرانس بین المللی سیستمهای قدرت، آبان ماه ۱۳۸۴، 98-F-PDS-468

[۵] - قیاسی، طرفدار حق، مستوفی، روشن میلانی، گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی «امکان سنجی کاربرد هادیهای روکش دار خطوط توزیع از نظر فنی، اقتصادی، محیط زیست و سایر جنبه های آن» - کمیته مرکزی تحقیقات برق آذربایجان-

۱۳۸۶

بمنظور مقایسه اقتصادی ارزش حال احداث یک کیلومتر خط تکمداره با سیمهای لخت و خطوط با هادیهای غیر لخت، در این قسمت مجدداً رابطه (۱) را که مجموع ارزش حال " سرمایه گذاری احداث"، "آزادسازی حریم"، " خسارت خاموشی" و " بهره برداری و نگهداری" را بعنوان ملاک مقایسه اقتصادی طرح های مذکور معرّفی نموده است یادآوری می نماید. مجموع این چهار هزینه به صورت ارزش فعلی آنها برای سی سال دوره بهره برداری تبدیل شده و ملاک مقایسه اقتصادی طرحهای مذکور قرار گرفته و با در نظر گرفتن مباحث بخشهای قبل، جدول (۷) تنظیم گردید است. همانطوریکه مشاهده می شود صرفه جوئی ناشی از خسارت خاموشیها بیشترین نقش را در اقتصادی بودن خطوط با هادیهای غیر لخت نسبت به خط با هادیهای لخت دارد. با این وجود صرفه جوئی های دیگر مانند هزینه های آزاد سازی حریم و همچنین هزینه های تعمیرات و نگهداری نیز در این مورد دخیل می باشند. نسبت مجموع ارزش حال احداث یک کیلومتر خطوط با هادیهای غیر لخت روکش دار و شبکه کابل فاصله دار (CC و SC) به خط با هادیهای لخت با توجه به مقادیر جدول (۷) از رابطه (۱۷) بدست می آید:

$$\frac{PV_{T,CC}}{PV_{T,Bare}} = 76\%,$$

$$\frac{PV_{T,SC}}{PV_{T,Bare}} = 95\%$$
(۱۷)

این رابطه نشان می دهد که علیرغم سرمایه گذاری اولیه بیشتر در مورد احداث خطوط با هادیهای روکشدار و فاصله دار نسبت به خط هوایی فشار متوسط رایج، در طی مدت بهره برداری از نظر اقتصادی شرایط بسیار بهتری را نسبت به خطوط لخت دارند.

جدول (۷) مقایسه ارزش حال یک کیلومتر خط تکمداره هادی غیر لخت (هزار ریال)

نوع خط	Bare	CC	SC	ABC
INV	۱۳۹۸۲۰	۱۵۹۶۸۲	۲۴۵۱۹۰	۳۷۱۰۲۰
C_{ROW}	۶۰۰۰	۴۱۷۰۷	۱۶۸۲۹	۱۵۳۶۶
PV_{IE}	۷۵۰۵۴	۹۲۲۵	۲۷۰	۱۳۴
PV_{OM}	۳۵۱۸	۲۴۵۶	۲۴۴۵	۲۴۵۶
(PV) T (مجموع)	۲۷۸۳۹۲	۲۱۳۰۷۰	۲۶۴۷۳۴	۳۸۸۹۷۶

[۱۴] علیرضا شیرانی: " خسارت های ناشی از عدم تامین برق در بخش های خانگی، تجاری و صنعتی"، نشریه علمی برق، شماره ۲۹- سال ۱۳۷۹- صفحه ۳۹-۴۸

[۱۵] معاونت برنامه ریزی شرکت توانیر، " هزینه خاموشی در ایران"، جلد ۲ الی ۶، سال ۱۳۷۴

[۱۶] نازنین خسروی، فرخ امینی، "محاسبه خسارت ناشی از عدم تامین برق برای مشترکین عمومی شرکت برق منطقه ای تهران"، قسمت دوم نشریه علمی برق-شماره ۳۷- سال ۱۳۸۲- صفحه ۱۰۳ الی ۱۱۱

[۱۷] خلیل بانان و همکاران "ارزیابی هزینه قطع برق از دیدگاه شبکه و مشترکین در یک شبکه نمونه با نرم افزار Neplan " بیستمین کنفرانس بین المللی برق، تهران

[۱۸] روزنامه جهان اقتصادی، " مصاحبه مدیر عامل محترم توانیر (آقای مهندس وحدتی)" در ارتباط با خسارت خاموشی- اسفند ۱۳۸۶

[19] EPRI Technical Report, "Power Quality Implications of Transmission and Distribution", Chapter 3, Covered Conductor and other Construction Approaches to Reduce Tree Faults, March 2005

[20] Connecticut light and power company (CL&P) Transmission and Distribution Reliability performance (TDRP) reports , submitted to the Connecticut Department of public Utility Control Department , 2004

[۲۱] اسناد مالی هزینه های بهره برداری و تعمیرات خطوط هوایی توزیع- کد ملی ۱۶۲-۴۰۲

[۶] گزارش فاز اول پروژه پژوهشی: « تدوین و بومی سازی دانش فنی طراحی و اجرای اولین خط هوایی فاصله دار فشار متوسط در ایران» -دانشکده برق و کامپیوتر - دانشگاه تبریز - ۱۳۸۸

[۷] فهرست بهای تجهیزات شبکه های توزیع و دستمزد نصب آنها، شرکت توزیع نیروی برق آذربایجان شرقی-۱۳۸۸

[۸] - مهدی الهویردی نوه سی « کاربرد هادی های روکشدار و کابل خودنگهدار در شبکه های توزیع» پایان نامه کارشناسی ناپیوسته برق، موسسه عالی آموزشی و پژوهشی آذربایجان، ۱۳۸۵

[۹] دفاتر مالی هزینه پرداخت شده جهت آزادسازی حریم (عرصه و اعیانی) و اسناد مالی هزینه های قطع اشجار- شرکت توزیع برق آذربایجان شرقی -۱۳۸۵

[10] SFS 5791, Finish Standards Association 12/20Kv Overhead Line Construction and Lighting Protection for XLPE Covered Overhead Conductor, PAS-2004

[11] OHSAS 18001 , Occupational Health and Safety Assessment Standard , part 17 , Explanation Guide ,2009

[۱۲] خدمات پژوهشی: « تدوین استاندارد ملی و حریم خطوط هوایی فشار ضعیف و فشار متوسط توزیع برق با هادی روکشدار، فاصله دار و کابل های خودنگهدار (تا سطح ولتاژ ۳۳ کیلوولت) دانشگاه تبریز - شرکت توانیر ، معاونت هماهنگی توزیع - ۱۳۸۸

[۱۳] گزارش آماری عملکرد فنی شرکت توزیع نیروی برق آذربایجان شرقی -www.ezepdico.ir- سال ۱۳۸۷- دفتر انفورماتیک و آمار.