

# سیستم های ارتباطی فرکانس رادیویی در معادن زیرزمینی هند

احمد یزدانی فرد

Engineer.yazdany@gmail.com

## چکیده:

به توجه سیگنال فرکانس بالا (RF) در معادن زیر زمینی و محدودیت های قانونی استفاده از ابزارهای های تخصصی ارتباطی معادن کاربرد های سیستم های ارتباطی بی سیم در معادن زیرزمینی، محدود شده اند. این مقاله در مورد تکنیک های ارتباطی فرکانس رادیویی مختلف به کار گرفته شده در معادن زیرزمینی هند است. معادن زیرزمینی، به عنوان محیط هایی با شرایط کاری سخت و خطرناک شناخته می شوند. بنابراین به سیستم های ارتباطی هوشمند معدن عریض برای عملکرد روان معدن و اطمینان از ایمنی بهترین نیاز است. سیستم های ارتباطی مناسب و قابل اعتماد فقط برای صرفه جویی در زمان نیست؛ بلکه در فرستادن فوری پیام از مجاورت منطقه کار زیرزمینی به سطح زمین برای عملیات سریع نجات کمک می کند. همچنین یک سیستم ارتباطی قابل اعتماد و موثر است برای ایمنی در معادن زیرزمینی لازم است و ضروری است. همه سیستم های موجود بایه گذاری شده بر اساس ارتباطی خط (سیمی) اند، از این رو قادر به مقاومت در برابر در شرایط حادثه و همچنین توانمند در مکان های غیر قابل دسترس نیستند. توپولوژی معادن غیر متقارن و معادن با ساختار پیچیده موانع بیشتری در راه های ارتباطی قرار داده است. بنابراین، ارتباطات بی سیم اجتناب ناپذیر بوده و قابل اعتماد ترین و مناسب ترین سیستم است و باید برای مقابله با حوادث غیرمترقبه وجود داشته باشد. فرستنده ها و گیرنده های فرکانس (FM) با آنتن وابسته به هدایت و با آنتن فعال متصل به کابل فیدر سوراخ دار و تقویت کننده های تکرار کننده در فواصل منظم می توانند برای عملکرد سیستم های ارتباطی گسترده، قابل اعتماد و مناسب استفاده شود. فرستنده و گیرنده ای قابل حمل طوری ساخته می شوند که می توان آن را حتی در مکان های غیر قابل دسترس معادن زیرزمینی استفاده کرد. بطور خلاصه ارتباطات آر اف مناسب ترین و قابل اعتمادترین سیستم ارتباطی برای کار ایمن در معادن زغال سنگ است. همچنین برای افزایش تولید و بهره وری در معادن کمک میکند.

## تکنیک های ارتباطی:

سیستم های ارتباطی مورد نیاز برای معادن زیرزمینی را بر اساس هدف و مکان می توان به چهار دسته تقسیم می شوند: ارتباطات محور ارتباطات گالری مستقیم، ارتباطات معدن عریض، ارتباطات معدنچی، محبوس

## ارتباط محور:

سیستم های زنگ بل امروزه در بسیاری از معادن زیرزمینی هند استفاده می شود. اما این سیستم معایب خود را دارد. بنابراین، نیاز به بهبود ارتباطات اهرم جرتقیل و اپراتور جرتقیل وجود دارد. سیستم هایی که بر تئوری القاء پایه گذاری شده اند با استفاده از طناب راهنمای جرتقیل / به عنوان یک حامل جریان در حال توسعه اند، این سیستم ارتباط دو طرفه صوتی قابل اعتماد بین قفس متحرک و اپراتور بالابرا فراهم می کند. انرژی سیستم انتقال و دریافت و فرکانس رادیویی (RF) از یک خط انتقال طناب هدایتگر جرتقیل بیش تر است. این سیستم همچنین از فرستنده و گیرنده هایی که توسط جریان آراف سوار شده بر یک کابل با یکدیگر ارتباط برقرار می کند بهره گیری میکند. سیستم شامل یک ایستگاه اصلی متصل به یک آنتن حلقه ی فرکانس ۴۸۵ کیلوهرتز و یک آنتن «shoulder» یک مجموعه ی فرستنده و گیرنده از همان فرکانس متصل است. هنگام انتقال، فرستنده و گیرنده آنتن حلقه خود را با فرکانس مدوله شده اف ام تغذیه می کند. آنتن باعث القاء یک سیگنال به طناب می شود، حرکت به بالا و پایین انتخاب می شود توسط فرستنده و گیرنده متصل به آنتن shoulder آنتن حلقه و شولدر آنتن به عنوان یک عنصر انتقال و دریافت بکار می روند. آنتن حلقه با ایستگاه اصلی با طناب راهنمای جرتقیل در نقطه (درست در بالای قفس) نگهداشته میشوند.

## ارتباطات راهروهای مستقیم:

سیستم های رادیویی ارتباطات صوتی در معدن زیرزمینی را پوشش می دهند. در فرکانس فوق العاده بالا (UHF)، میرایی نسبتا پایین است. در مدخل معادن مستقیم هنگامی که سیگنال منتشر میشود به طور قابل توجهی بالاتر است. حول و حوش گوشه ها و یا زمانی که یک قطعه عظیم از ماشین آلات در مسیر انتشار قرار می گیرد. در محدوده ی فرکانسی ۲۰۰-۴۰۰ مگاهرتز، تونل یک معدن زغال سنگ به عنوان یک دی الکتریک ضعیف عمل می کنند و ثابت دی الکتریک در محدوده ۵-۱۰ است. فرکانس قطع برای راهرو تونل معدن را تقریباً می توان با فرمول زیر تخمین زد [فرمول یک]

که در آن  $a$  و  $b$  نشان دهنده عرض تونل و ارتفاع بود.  $m$  و  $n$  تعداد نیم طول موجها ترکیبی حالت های الکترومغناطیسی ترکیبی (HEM<sub>mn</sub>) که به ابعاد  $a$  و  $b$  متناسب خواهد شد.  $\mu$  وزیگما دی الکتریک و ثابت های نفوذپذیری اند. دی الکتریک ها با ضریب مقاومت پایین طول موج های بزرگتری را پشتیبانی می کنند امواج دی الکتریک ضعیف بزرگ بسیاری از حالات ترکیبی

الکترومغناطیسی HEMmn را پشتیبانی می کند. Laakman و [Steier] 5 نشان داده است که ثابت انتشار؟  $G$  همراه با هر حالت  $(m, n)$  می توان به صراحت بیان کرد که ابعاد عرضی  $A$  و  $B$  همچنین طول موج؟ رافراهم می کند نابرابری زیر را بررسی کنید .  
[فرمول ۲]

در این حالت ثابت انتشار برابر است با: فرمول های ۳، ۴، ۵، ۶ که در آن  $\epsilon_0$  و  $\epsilon_y$  ثابت رسانای آزاد-فضا و ثابت گذردهی نسبی اند. «امگا» و «رو» زاویه توجه داشته باشید که  $re$  به معنی بخشی واقعی متغیر است. معادله ی ۴ نشان می دهد که میرایی انتشار موج رادیویی در یک خلامستقیم و بدون مانع تونل مستطیل شکل متناسب با است « $y^2/a^3$ » و « $y^2/b^3$ » و در نتیجه به مجذور فرکانس کاهش می یابد اما تنها در صورتی که ناهمواری های دیواره کوچک باقی بماند.

معادله (۵) نشان دهنده اختلاف فاز حالت های مختلف HEMmn با توجه به انتشار در فضای آزاد است. حرکت یک موج الکترومغناطیسی در امتداد یک تونل مستطیل شکل در یک محیط دی الکتریک می تواند در هر یک از حالاتی که هادی امواج اجازه می دهد منتشر شود. همه ی این حالات با اتلاف همراه اند به دلیل آنکه هر قسمت از یک موج که با روی یک دیوار از یک تونل برخورد کند بخشی به محیط اطراف می شکند و بخشی به هادی موج منعکس می شود. بخش شکست نوردور از هادی امواج منتشر میشود که این نشان دهنده ی از دست دادن قدرت است. نرخ میرایی تقریباً به طور کامل به حالات شکست هادی امواج بستگی دارد. به طور کلی قدرت، در یک راهرو مستقیم، مجموع انتشارها و افت انتقال و دریافت آنتن است. ثابت شده است که کمترین افت در محدوده مورد ۴۵۰-۱۰۰۰ مگاهرتز است، بسته به فاصله ی مورد نظر و ابعاد تونل

### ارتباطات معدن شبکه ای

میرایی زیاد امواج رادیویی در انتشار سخت زغال سنگ دارای بتن سخت یک مشکل در پوشش محدوده های بزرگ ارتباطی است. مسیر دخمه های پرپیچ و خم و شرایط زمین شناسی پیچیده ی معادن موانع بیشتری در ارتباطات بی سیمی قرار داده است. گوشه ها و خمیدگی ها در گالری معدن زیرزمینی باعث موانع انتشار امواج UHF می شود. اما اگر یک آنتن فعال نزدیک / در گردش مسیر قرار داده شده باشد، ممکن است سیگنال تقویت شده و ارتباطات بهتری به ارمغان بیاورد. علاوه بر این، ما نمی توانیم با توجه به محدودیت های ایمنی ذاتی در منطقه پر خطر (مانند معدن زغال سنگ) سراغ فرستنده و گیرنده با وات بالاتر برویم. به منظور استقرار و حفظ و نگهداری سیستم های ارتباطی معدن عریض با نظر گرفتن تمام شرایط فوق، ما کابل فیبر سوراخ دار را به عنوان آنتن و همچنین خطوط انتقال پیشنهاد می کنیم. فیبر سوراخ دار به انتشار سیگنال به بیرون یا به خود در میزان کنترل شده اجازه می دهد. که به طور موثر به عنوان یک آنتن طولانی رفتار میکند که می تواند امواج رادیویی را در سراسر گوشه و کنار و خمیدگی ها هدایت کند. قدرت خروجی سیستم ارتباطی که به شکل فرکانس بسیار بالا (VHF) یا فرکانس مدوله شده (FM) عملیات باند بالا در ۱۴۶-۱۷۴ مگاهرتز با فرکانس رادیویی (RF) در آمده است مورد نیاز. یک معدن زیرزمینی است. کابل های ممتاز مشخص شده برای فرکانس بیش از محدوده ی مورد نیاز برای پاسخگویی ویژگی های صنعت معدن را پاسخ میدهند. این ممکن است با توجه به نیازهای آن، مقاومت در برابر آتش، مقاوم در برابر آب، و غیره باشد، تقویت کننده های خط برای جبران خودکار آف از دست داده بعد جبران از افت های اضافی در کابل در هر ۳۵۰ متر از کابل قرار داده شد. این تقویت کننده هادر هر دو جهت به جلو و معکوس به طور مستقل عمل می کنند. همه تجهیزات متصل به برای کابل خود طراحی شده اند. فرستنده و گیرنده های VHF 2 وات با آنتن حلقه و فیبر سوراخ دار به عنوان رسانه مخابره پس از تکرار در فواصل منظم می تواند برای ارتباط در میان راهروهای مستقیم استفاده شود. با توجه به پدیده ی اثر پوست «phenomenon» امواج رادیویی از طریق کابل فیبر سوراخ دار و با کمک ریبیتر در محدوده ی بزرگتری منتشر می شوند، امواج ضعیف می توانند با قرار دادن ریبیتر در فواصل منظم بیشتر تقویت شده و کل منطقه معدن را می توان تحت پوشش قرارداد

### ارتباطات معدنی محبوس

در معادن زیرزمینی گاهی اوقات فروپاشی سقف با شکافته شدن دیوار یک طرف یا راهرو باعث فروپاشی طبقات می شود، کارگران معدن در داخل معدن محبوس می شوند. بسیاری از کارگران معدن زیر تکه بزرگ از سقف افتاده و حبس می شوند. راه های ارتباطی بین معدنی محبوس و تیم نجات برای پیدا کردن محل دقیق معدنی محبوس به منظور انجام عملیات امداد و نجات ضروری است. مطالعات نشان داد که میرایی فرکانس پایین کمتر است از بلوک ذغال سنگ. سیگنال آر اف بالای ۴۵۷ کیلو هرتز مدوله شده می تواند از بین بلوک زغال سنگ با ضخامت بالا منتقل شود.

### توسعه و آزمایش میدانی

شاخه ابزار دقیق موسسه مرکزی تحقیقات معدن، دانباد به طور فعال درگیر توسعه سیستم های مختلف ارتباطی بی سیم نقاط مختلف معادن زیرزمینی است. برخی از سیستم های توسعه یافته در این زمینه مورد آزمایش قرار داده شده اند و در زیر توضیح داده شده اند. سیستم ارتباطی آر اف محور تغذیه کننده سوراخ دار برای برقراری ارتباط راهرو دخمه های پرپیچ و خم معدن در آینده ی نزدیک اجرا خواهند شد. سیستم حامل جریان فعلی که روی نظریه القا کار می کنند برای محور ارتباط استفاده شده اند و همچنین مورد آزمایش قرار گرفته اند در راهرو همچنین برای ارتباط خط دید کار همین اصول فرستنده و گیرنده های سیستم حامل جریان فعلی که روی نظریه القا کار می کنند استفاده شوند برای ارتباط محور و همچنین مورد آزمایش قرار گرفته در راهرو همچنین برای ارتباط خط دید کار همین اصول فرستنده و گیرنده های VHF و UHF 160 مگاهرتز و ۴۵۰ مگاهرتز با ۱w قدرت انتقال استفاده شده خروجی در راهروهای مستقیم همچنین برای ارتباط خط

دید نیز استفاده شده است برای ارتباط قفس. ترنسپور های فرکانس متوسط با ۴۵۷ کیلو هرتز و ۵۰ میلی وات قدرت برای ایجاد ارتباط صوتی بین معدنچی محبوس و تیم نجات استفاده می شوند.

### آزمون های میدانی

آزمون های میدانی انجام شد در عمق ۹ پوت و ۱۲ پوت معدن بیگدیگی (عمق حدود ۲۰۰ متر از زمین سطح) معادن BCCL، NANDIRA (معدن شیبدار) Chinakuri عمق ۶۱۲ متری از سطح زمین، ECL، MCL، Talcher area با فرستنده و گیرنده های VHF و UHF عدم موضع گیری معدنچی محبوس و تئوری القاء بر اساس سیستم ارتباطی، ترنسپورتر های UHF و VHF در راهرو های مستقیم (افقی، عمودی) با هدف های ارتباطی مورد آزمایش قرار گرفتند. مشاهده شد که محدوده ی UHF حدود ۳۰ متر در یک راهرو مستقیم بود (با عرض حدود ۳ الی ۴ متر) همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است.

از A تا B و ترنسپور های VHF حدود ۷۵ متر مکان یابی معدنچی محبوس محدوده ی ۳۰ متر در یک راهرو مستقیم داشته و قادر به نفوذ به یک دیوار به ضخامت ۳-۴ متر بود. سیستم ارتباط مبتنی بر تئوری القاء آزمایش شدند و مشاهده شد که ارتباطات به درستی با فرد موجود در سطح زمین و فرد موجود در زیر زمین برقرار شد همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است. ارتباط قفس با فرستنده و گیرنده UHF نیز برقرار شد. همانطور که در شکل ۲ نشان برقرار شده است. ارتباط از سطح زمین (A) برقرار شده با قفسه ی متحرک (B) و سپس به گودال پایین (C). همچنین مشاهده شد که ارتباط توسعه یافت به بیشتر ۱۰ متر از پایین گودال (C) به (D).

آزمایش دیگری که برای ارتباطات خط دید در راهرو های مستقیم زیرزمینی انجام شد مشابه سیستم ارتباطی با استفاده از تئوری القاء است. مشاهده شد که ارتباط می تواند نقطه ای که در آن القاء دائمی امکان پذیر است شکل گیرد. این آزمایش همچنین با جستجوی معدنچی محبوس در انجام شد در گودال ۱۲ متری معدن Badging که در شکل ۳ نشان داده شده است. اهداف سیستم انتقال ممکن بودند به ترتیب باشخص A و B ایستاده در شکاف ۷ و ۹ متری قفسه ی متحرک بی ایستاده در شکاف ۹ متری. فاصله ی بین هر دو شکاف در حدود ۱۲-۱۵ متر است سیگنال بلند و واضح بود اما سیستم هنوز هم نیاز به برخی از اصلاحات نیاز دارد.

### نتیجه گیری

با موفقیت آزمون های میدانی- در چند معدن، متوجه شدیم که یک سیستم ارتباطات بی سیم موثر و قابل اعتمادی تواند در معادن زیرزمینی اجرا شود. بسته به عرض راهرو و ابعاد قفسه، پیدا کردن فرکانس بهینه ترانسپورها به هدف افزایش مساحت تحت پوشش. انجام میشود. ابزار ارتباطی سیستم سیستم های ارتباطی بی سیم شفت نمی تواند به تنهایی برای برقراری ارتباط موثر در قفس استفاده شود اما همچنان می تواند در راهرو ها با پشتیبانی مواد القاء در هر شکل بیشتر استفاده شود. سیستم های ارتباطی بی سیم فیدر سوراخ دار، هر چند در آزمون های میدانی مورد استفاده نیست، مورد تجزیه و تحلیل می شود یکی از با صلاحیت ترین سیستم های ارتباطی بی سیم VHF است که امروزه در معادن زیرزمینی وجود دارند. مسافت پوشش تمام سیستم های ارتباطی مختلف علیرغم وقوع میرایی با توجه به ساختار نامنظم معدن رضایت بخش است. در نتیجه ابزار های سیستم های ارتباطی ارائه شده، به منظور جایگزین ارتباط سیستم ارتباطی قدیمی سیمی (تلفن ثابت) مورد قبول واقع شد.

نویسنده ها از مدیر، موسسه مرکزی تحقیقات معدن، دانباد برای دادن اجازه برای ارائه مقاله. سپاسگزارند. همچنین نویسندگان قدر دان مدیران معادن

ذغال سنگ Bagdiggi BCCL، ECL، Chinakuri MCL، Nandira اند.

برای ارائه کمک های لازم در طول مطالعات میدانی. نیز تشکر صمیمانه از

MCIT، DIT، دولت هند، برای حمایت از تکمیل این پروژه

### REFERENC

- [۱]. Underground Mine Communications, Control and Monitoring, IC 8955, Bureau of Mines Information, Circular, ۱۹۸۴.
- [۲]. S. Kumar, L. K. Bandyopadhyay, A. Kumar and A. Narayan, "Improvised wireless communication system for underground coal mines utilizing active antenna," Minetech, Vol. 24, No. 1, pp. 38 – 41, 2003
- [۳]. S. Outalha, R. Le and P. M. Tardif, Toward the unified and digital communication system for underground mines, CIM Bulletin, Vol. 93, pp.100-105, 2000
- [۴]. Ph. Mariage, M. Lienard and P. Degauque, "Theoretical and experimental approach of the propagation of light frequency waves in road tunnels", IEEE Trans. Antenna Propagat., Vol. 42, pp. 75-81, 1994
- [۵]. K. D. Laakman and W. H. Steier, "Wave Guide: characteristic mode of hollow rectangular dielectric wave guides", Applied Optics, Vol. 15, pp.1334-1341, 1979
- [۶]. A. Kumar, S. Chaulya, S. Kumar and L. K. Bandyopadhyay, "Trapped miner detection, location and

.communication”, Minetech, Vol. 24 No. 6 pp. 1 – 13, 2003  
L. K. Bandyopadhyay, S. Kumar, P. K. Mishra, A. Narayan and M. K. Sinha, “Studies on Wireless [V]  
Communication systems for Underground Coal Mines”, Global Coal-2005, Int. Seminar on Coal Science and  
Technology: Emerging Global Dimensions, pp. April 12-13, 2005, New Delhi