بررسی شکل موج های مختلف در آشکارسازی اهداف زیرسطحی

زهرا شاد 1، دکترسید علیرضا سیدین2

1دانشگاه فردوسی مشهد، گروه برق ، zahra-shad@mail.um.ac.ir

2دانشگاه فردوسی مشهد، گروه برق ، seyedin@um.ac.ir

چکيده – انتخاب سیگنال مناسب در شرایط محیطی مختلف و با وجود تضعیف مسیر ها مثل تلفات جذب و تلفات پخش و تلفات مربوط به انعکاس از سطح و بستر آب موضوع بسیار مهمی است. آب هاي کم عمق از جمله محیط هایی هستند که پدیده ي چند مسیره بودن در آن ها بسیار شدید است و سیگنال ارسالی پس از جدا شدن از فرستنده به سطح و بستر آب برخورد کرده و علاوه بر مسیر مستقیم از طریق تعداد زیادي مسیر غیر مستقیم به گیرنده می رسد و هر مسیر تأخیر و تضعیف جداگانه اي داشته که در شکل گیري پاسخ ضربه ی کانال نقش مهمی دارد. در این مقاله دو معیارPSLR[[1]](#footnote-1)وISLR[[2]](#footnote-2) برای سیگنال های سوناری متداول LFM [[3]](#footnote-3)، HFM [[4]](#footnote-4) و همچنین برای سیگنال جدید [[5]](#footnote-5) GSFM بررسی شده است و طبق نتایج بدست آمده ، سیگنال LFM از نظر ISLR و سیگنال GSFM از نظر PSLR عملکرد بهتری دارد و همچنین هر دو سیگنال LFM و HFM در شرایط مختلف رفتار مشابهی دارند.

كليد واژه- تضعیف ، تلفات ارسال، ISLR ، PSLR

# مقدمه

آب هاي کم عمق از جمله محیط هایی هستند که پدیده ي چند مسیره بودن در آن ها بسیارشدید است و سیگنال ارسالی پس از جدا شدن از فرستنده به سطح و بستر آب برخورد کرده و علاوه بر مسیر مستقیم از طریق تعداد زیادي مسیر غیر مستقیم به گیرنده می رسد. هر مسیر تأخیر و تضعیف جداگانه اي داشته که در شکل گیري پاسخ ضربه کانال نقش مهمی دارد.

تاخیرهای ناشی از چند مسیرگی منجر به پدیده ISI[[6]](#footnote-6) شده و همچنین به دلیل برخورد سیگنال به بستر و سطح ، پدیده ی پخش شوندگی درمسافت های طولانی با تلفات زیادی همراه است و انرژی سیگنال را به شدت کاهش می دهد. از طرفی کاهش انرژی سیگنال به معنی کمتر شدن قابلیت آشکارسازی اهداف است. بنابراین انتخاب سیگنال مناسبی که بتواند در این شرایط عملکرد خوبی برای آشکارسازی داشته باشد، اهمیت زیادی دارد و موضوع بسیار مهمی است.

معیار های مهم برای مقایسه و انتخاب سیگنال ها ، پایین بودن

مقدار PAPR[[7]](#footnote-7)، PSLR و ISLR و بالابودن SE[[8]](#footnote-8) آن ها است [5][3]. در سال 2015، Kaoutar Farnane و همکارانش[3]، سیگنال های کد شده ی فاز را از نظر ISLR وPSLR مورد ارزیابی قرار دادند.

در سال 2018 ،[5]، نیز سیگنال های LFM، GSFM،BPSK[[9]](#footnote-9)، QPSK[[10]](#footnote-10) و Costas از نظر PAPR و SE با هم مقایسه شدند که طبق نتایج بدست آمده سیگنال GSFM نسبت به سایر سیگنال ها بهتر است و می تواند با سایر سیگنال ها رقابت کند و همچنین سیگنال LFM به خوبی سه سیگنال BPSK،QPSK و Costas عمل می کند.

اما در مقاله حاضر سیگنال های LFM ، HFM و GSFM از نظرPSLR و ISLR و با لحاظ کردن تاثیر شرایط محیطی، نویز گوسی، نویز جمینگ و تضعیف کانال روی پارامتر های PSLR و ISLR برای خروجی فیلتر منطبق[[11]](#footnote-11) با هم مقایسه و بررسی شده اند.

در بخش دوم از مقاله معیارهای ارزیابی خروجی فیلتر منطبق تشریح می گردد. در بخش سوم رابطه ی سرعت صوت بیان شده است و سپس در بخش چهارم به تضعیف مسیرها پرداخته شده و در بخش پنجم پاسخ ضربه کانال بیان شده است. در ادامه مدل شکل موج و رابطه ی سیگنال ها توضیح داده شده و در بخش هشتم نتایج بدست آمده از شیبه سازی انجام شده، ذکر شده است. در پایان نتیجه گیری و مقایسه ارائه گردیده است.

# ارزیابی خروجی فیلتر منطبق

اغلب سیستم های سونار و رادار از فیلتر منطبق برای پردازش سیگنال های بازگشتی از هدف استفاده می کنند تا سیگنال به نویز خروجی حداکثر باشد.

در این مقاله دو معیار PSLR و ISLR برای سنجش اندازه ی خروجی فیلتر منطبق مورد استفاده قرار گرفته است[3].

## PSLR

این معیار نشان دهنده ی قابلیت آشکارسازی اهداف ضعیف

توسط رادار است. و طبق رابطه ی (1) بدست می آید[3]:

## ISLR

این معیار نشان دهنده ی میزان انرژی توزیع شده در لوب های فرعی است و در سناریو های متراکم که پارازیت یا کلاتر[[12]](#footnote-12) وجود دارد، مهم است. ISLR را می توان از رابطه ی (2) محاسبه کرد [3].

# سرعت صوت

سرعت امواج آکوستیک در هر عمق، با توجه به دما و میزان شوری آب به شکل زیر محاسبه می شود[1]:

که در آن دما برحسب ، *S* شوری برحسب  *، z* عمق برحسب m است.

# تضعیف مسیرها

تضعیف مسیرها در آب هاي کم عمق ناشی از سه عامل است: تلفات پخش[[13]](#footnote-13)، تلفات جذب[[14]](#footnote-14)،و تلفات ناشی از انعکاسات سطح و بستر آب. تلفات پخش به دلیل کاهش چگالی توان با فاصله گرفتن از فرستنده ایجاد می شود و در اثر آن توان سیگنال ارسالی با دور شدن از فرستنده کاهش می یابد. تلفات پخش در تمام محیط ها و براي هر گونه موجی به وجود می آید، اما تلفات جذب پدیده ای است که برای امواج آکوستیک اتفاق می افتد. تلفات جذب ناشی از تبدیل انرژی آکوستیک به گرما هنگام انتشار امواج است که نکته بارز آن وابستگی به فرکانس می باشد.تلفات ناشی از انعکاسات نیز در اثر از دست رفتن انرژی هنگام انعکاس موج آکوستیک از سطح و بستر آب به وجود می آید.

## ضرایب انعکاس

در آب هاي متلاطم ضریب انعکاس[[15]](#footnote-15) سطح آب تابعی از زاویه برخورد و فرکانس موج می باشد. اما وابستگی به فرکانس شدید نیست و می توان با گذاشتن فرکانس حامل به عنوان فرکانس موج،  
ضریب انعکاس از سطح آب های متلاطم را به صورت زیر بیان کرد[6].

که در آن*ψ*  زاویه برخورد نسبت به افق با واحد درجه،*fc*  فرکانس حامل با واحد کیلوهرتز، و*W*  سرعت باد با واحد گره است.

ضریب انعکاس بستر آب نیز تابعی از زاویه برخورد بوده و طبق رابطه (5) بدست می آید[6]:

که  نسبت چگالی آب به چگالی بستر آب و  نسبت سرعت امواج آکوستیک در آب به سرعت امواج آکوستیک در بستر آب می باشد.

## تلفات پخش و جذب

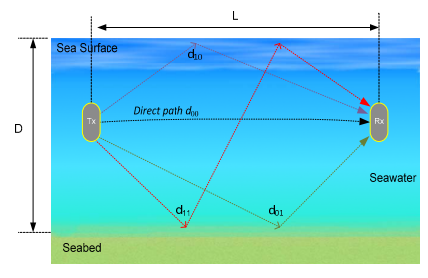
تلفات جذب به فرکانس موج وابسته است و در فرکانس های بالا افزایش می یابد. به همین دلیل این تلفات در امتداد هر مسیر محتویات فرکانس بالای سیگنال را به شدت تضعیف می کند و به همین دلیل می توان فرض کرد که سیگنال عبوري از هر مسیر توسط تلفات جذب، فیلتر می شود. تلفات پخش و جذب برحسب در فاصله ی ارسال از فرستنده به گیرنده ، برای فرکانس را می توان به صورت زیر نوشت[4]:

که رابطه ضریب جذب در واحد و فاکتور پخش هندسی است. مقدار فاکتور پخش هندسی برای پخش استوانه ای برابر 1 و برای پخش کروی برابر 2 در نظر گرفته می شود.

در عمل برای حالتی که انتظار می رود هردو مدل پخش رخ دهد ، 1.5 فرض می شود.

# پاسخ ضربه ی کانال

پاسخ ضربه ی کانال آکوستیک تحت تاثیر هندسه ی کانال و ویژگی های بازتاب و شکست آن است که تعداد مسیر های مهم را تعیین می کنند. برای مدل کردن کانال اگر فرض کنیم هندسه ی آن مطابق شکل 1 باشد، طول امین مسیر انتشار و سرعت صوت باشد، تاخیر مسیر ها از رابطه ی (6) به دست می آید و ضریب بازتاب ، تلفات انتشار در طول امین مسیر باشد ، پاسخ ضربه ی کانال به صورت رابطه ی (7) خواهد بود[4].



شکل 1: نمایش کانال براساس تئوری اشعه

# مدل شکل موج

شکل موج سیگنال ارسالی به صورت یک سیگنال تحلیلی مختلط و با طول پالس در دوره زمانی یا به صورت زیر تعریف می شود[5]:

که فرکانس حامل، فاز لحظه ای[[16]](#footnote-16) ، تابع مدولاسیون فاز [[17]](#footnote-17)و تابع باریک کننده دامنه[[18]](#footnote-18) است*.*

# شکل موج ها

در این بخش ویژگی ها و روابط دو شکل موج متداول LFM، HFM و همچنین شکل موج GSFMشرح داده شده است.

## شکل موج LFM

سیگنال LFM به دلیل دارا بودن رزولوشن در برد خوب و ویژگی مقابله با بازتاب و همچنین سهولت نسبی برای پیاده سازی یکی از سیگنال های پرکاربرد در مخابرات ، رادار و سونار است. یکی از محدودیت های سیگنال LFM برای سیستمی با هدف اصلی رزولوشن برد ، تزویج برد – داپلر است که تخمین برد هدف را با مشکل مواجه می کند. تابع فاز این سیگنال به صورت[5] :

بیان می شود که طول پالس و پهنای باند است.

## شکل موج HFM

سیگنال HFM به دلیل ویژگی تلرانس بهینه و و مقابله با بازتاب خوب در سیستم های سونار مورد استفاده قرار می گیرند. این سیگنال به داپلر حساس نیست اما مانند سیگنال LFM دارای تزویج برد- داپلر می باشد. رابطه ی تابع فاز سیگنال را می توان به شکل[7]:

نوشت که و به ترتیب فرکانس شروع و فرکانس نهایی است.

## سیگنال GSFM

جدول 4 : نتایج ISLR و PSLR برای EPR=0 ،Freq=120kHz

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | GSFM | HFM | LFM |
| ISLR | -9.1593 | -7.7108 | -8.2042 |
| PSLR | -16.8846 | -12.4099 | -13.3542 |

جدول5 : نتایج ISLR و PSLR برای EPR=0.3 ،Freq=80kHz

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | GSFM | HFM | LFM |
| ISLR | -4.0467 | -6.4369 | -8.4572 |
| PSLR | -17.0262 | -11.5863 | -13.8670 |

جدول 6 : نتایج ISLR و PSLR برای EPR=0.3 ،Freq=100kHz

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | GSFM | HFM | LFM |
| ISLR | -3.2935 | -6.6892 | -7.1761 |
| PSLR | -17.1221 | -11.9181 | -13.0730 |

جدول7 : نتایج ISLR و PSLR برای EPR=0.3 ،Freq=120kHz

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | GSFM | HFM | LFM |
| ISLR | -4.9128 | -7.6308 | -7.4791 |
| PSLR | -15.0432 | -13.3971 | -12.8447 |

جدول 8 : نتایج ISLR و PSLR برای EPR=0.6 ،Freq=80kHz

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | GSFM | HFM | LFM |
| ISLR | -2.5388 | -6.0166 | -7.1875 |
| PSLR | -15.2548 | -10.9378 | -12.7562 |

جدول 9 : نتایج ISLR و PSLR برای EPR=0.6 ،Freq=100kHz

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | GSFM | HFM | LFM |
| ISLR | -1.9475 | -6.77457 | -6.7490 |
| PSLR | -14.9464 | -12.3420 | -13.6123 |

جدول 10 : نتایج ISLR و PSLR برای EPR=0.6 ،Freq=120kHz

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | GSFM | HFM | LFM |
| ISLR | -3.0351 | -5.8260 | -6.9734 |
| PSLR | -15.3764 | -12.6755 | -13.056 |

این سیگنال اصلاح شده ی سیگنال SFM[[19]](#footnote-19) است که تابع فرکانس لحظه ی آن مشابه مشخصات ولتاژ - زمان سیگنال LFM بوده که منجر به بهبود رزولوشن می شود و محدودیت تزویج برد – داپلر را ندارد. تابع فاز سیگنال GSFM به صورت رابطه ی (12) است[5]:

که اندیس مدولاسیون ، فرکانس مدولاسیون و پهنای باند، پارامتر بدون واحد و بزرگتر یا مساوی 1 و دوره مدولاسیون فرکانس با واحد است.

# شبیه سازی و نتایج

شبیه سازی براساس شرایط محیطی دما ، شوری آب تنگه هرمز و در فرکانس های حامل80 ، 100 و 120 کیلوهرتز و توان موثر نویز جمینگ 0، 0.3 و 0.6 وات انجام شده است. جدول 1 سایر پارامترهای شبیه سازی را نشان می دهد.

جدول 1: پارامترهای شبیه سازی

|  |  |
| --- | --- |
| طول پالس : 1ms | پهنای باند : 60 kHz |
| سرعت هدف : 20 m/s | ارتفاع فرستنده : 50 m |
| ارتفاع گیرنده : 40 m | عمق : 80 m |
| دما : 23.4 | شوری : 37.4 psu |
| فاصله ی فرستنده و گیرنده : 200 m | |

نتایج شبیه سازی در جدول های 2 تا 10 آمده است.

جدول 2 : نتایج ISLR و PSLR برای EPR=0 ،Freq=80kHz

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | GSFM | HFM | LFM |
| ISLR | -7.6607 | -7.1393 | -7.9180 |
| PSLR | -20.0358 | -12.2821 | -13.0524 |

جدول 3 : نتایج ISLR و PSLR برای EPR=0 ،Freq=100kHz

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | GSFM | HFM | LFM |
| ISLR | -5.4640 | -7.3599 | -7.9584 |
| PSLR | -18.1412 | -12.7502 | -13.1208 |

شکل های 2 تا 5 ، مقایسه ISLR و PSLR سیگنال ها در فرکانس ها و EPR[[20]](#footnote-20) های متفاوت را نشان می دهد.



شکل 2 : مقایسه ISLR در EPR ثابت



شکل 3 : مقایسه ISLR در فرکانس ثابت



شکل 4 : مقایسه PSLR در EPR ثابت



شکل5 : مقایسه PSLR در فرکانس ثابت

طبق شکل های 2 و 3 ، از نظر ISLR سیگنال GSFM شرایط خوبی ندارد اما دوسیگنال دیگردر فرکانس ها و EPR های متفاوت ، رفتار مشابهی دارند. مثلا در EPR= 0.3، اختلاف سیگنال LFM و GSFM تقریبا بین 3 تا 4 دسیبل است.

باتوجه به شکل های 4 و 5، سیگنال GSFM نسبت به دو سیگنال HFM و LFM بسیار بهتر است و برای یک فرکانس ثابت، درEPR های کوچک مقدار PSLR سیگنال GSFM اختلاف بیشتری با PSLR دو سیگنال دیگر دارد . به عنوان مثال در EPR= 0.3، میزان تفاوت بین سیگنال GSFM وLFM حدودا بین 3 تا 4 دسیبل است و

در EPR= 0.3، این اختلاف کاهش یافته و به 1 تا 2 دسیبل می رسد.

بنابراین از نظر ISLR ، سیگنال LFM و از نظر PSLR ، سیگنال GSFM مناسب تر هستند.

همچنین مقادیر مربوط به سیگنال های LFM و HFM نزدیک هم هستند و از بین این دو سیگنال ، سیگنال LFM بهتر از HFM است.

# نتیجه گیری

در این مقاله سیگنال های LFM ، HFM و GSFM از نظر معیارهای ISLR و PSLR با هم مقایسه شدند و طبق نتایج بدست آمده سیگنال GSFM قابلیت بهتری برای آشکارسازی اهداف ضعیف

دارد و پس از آن سیگنالLFM و HFM شرایط تقریبا یکسانی دارند، اما نکته ای که باید به آن توجه داشت سادگی پیاده سازی است که با توجه این موضوع پیاده سازی مدولاسیون خطی نسبت به مدولاسیون سینوسی ساده تر است و پیچیدگی کمتری دارد.

همچنین نکته ی دیگر حساس بودن سیگنال GSFM به انتخاب بهینه ی پارامتر های و *است*.

**مراجع**

1. William A. Kuperman, Philippe Roux, “Springer Handbook of Acoustics “, 2014.
2. Milica Stojanovic, James Preisig, Underwater, “Acoustic Communication Channels: Propagation Models and Statistical Characterization”, IEEE Communications Magazine,2009.
3. Kaoutar Farnane, Khalid Minaoui, Awatif Rouijel, Driss Aboutajdine, “Analysis of the Ambiguity Function for Phase-Coded Waveforms”, IEEE 978-1-5090-0478-2/15/$31.00,2015.
4. Zeeshan Babar, Zongxin Sun, LuMa, Gang Qiao, “Shallow Water Acoustic Channel Modeling and OFDM Simulations”, IEEE 978-1-5090-1537-5/16/$31.00,2016.
5. David A. Hague, John R. Buck,” An Experimental Evaluation of the Generalized Sinusoidal Frequency Modulated Waveform for Active Sonar Systems”, Acoustical Society of America,2018.
6. S Anandalatchoumy, G Sivaradje,” Comprehensive Study of Acoustic Channel Models for Underwater Wireless Communication Networks”, International Journal on Cybernetics & Informatics (IJCI) Vol. 4, No. 2, April 2015.
7. Andrzej JEDEL, Jacek MARSZAL, Roman SALAMON,” Continuous Wave Sonar with Hyperbolic Frequency Modulation Keyed by Pseudo-Random Sequence “, Hydroacoustics, Volume 19,2016.
8. Yasin Yousif Al-Aboosi, Mustafa Sami Ahmed,” Study of Absorption Loss Effects on Acoustic Wave Propagation in SHallow water Using Different Empirical Models”, ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences,2017.

1. Peak Sidelobe Ratio [↑](#footnote-ref-1)
2. Integrated Sidelobe Ratio [↑](#footnote-ref-2)
3. Linear Frequency Modulation [↑](#footnote-ref-3)
4. Hyperbolic Frequency Modulation [↑](#footnote-ref-4)
5. Generalized Sinusoidal Frequency Modulation [↑](#footnote-ref-5)
6. Intersymbol Interference [↑](#footnote-ref-6)
7. Peak to Power Average Ratio [↑](#footnote-ref-7)
8. Spectral Efficiency [↑](#footnote-ref-8)
9. Binary Phase-Shift Keying [↑](#footnote-ref-9)
10. Quadrature Phase-Shift Keying [↑](#footnote-ref-10)
11. Matched Filter [↑](#footnote-ref-11)
12. Clutter [↑](#footnote-ref-12)
13. Spreading loss [↑](#footnote-ref-13)
14. Absorption loss [↑](#footnote-ref-14)
15. Reflection coefficient [↑](#footnote-ref-15)
16. Instantaneous phase [↑](#footnote-ref-16)
17. Phase modulation function [↑](#footnote-ref-17)
18. Tapering function [↑](#footnote-ref-18)
19. Sinusoidal Frequency Modulated [↑](#footnote-ref-19)
20. Effective Radiated Power [↑](#footnote-ref-20)