

کاهش تشعشعات خارج از باند در سیستم های رادیوشناختگر مبتنی بر OFDM در مدولاسیون QAM به روش MS-CE

فاطمه عرفانی راد^۱، محمد فرزانه صباحی^۲، فرهاد فغانی^۳
^۱دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، erfani_rad@yahoo.com
^۲دانشگاه اصفهان، sabahi@eng.ui.ac.ir
^۳دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، faghani@iaun.ac.ir

چکیده - در سیستم های رادیو شناختگر منابع طیفی به صورت دینامیک در طول زمان توسط کاربران مختلف استفاده می شوند. این طیف گاهی آزاد و گاهی اشغال و مورد استفاده کاربران می باشد و سیستم مخابراتی باید بتواند در صورت لزوم بخشی از طیف را برای استفاده کاربر جدید آزاد کند. این نکته مهم است که هر کاربر که یک بخش از طیف را اشغال می کند در بقیه بخشها تشعشعات مزاحم ایجاد نکند. این مطلب بخصوص در سیستم های OFDM حایز اهمیت است. کارهای زیادی برای کنترل تشعشعات خارج از باند صورت گرفته است. در این مقاله روش MS-CE برای کاهش این تشعشعات مزاحم معرفی شده است.

کلید واژه- چگالی طیف توان، سایه لوب، OFDM

۱ - مقدمه

آن اطلاعات با نرخ بالا بر روی چند حامل با نرخ بیت های پایین تر به صورت موازی ارسال می گردد. این روش مقاومت خوبی در برابر پدیده انتشار چند مسیره دارد و به دلیل استفاده از زیرحامل های متعامد دارای بازدهی طیفی بالایی می باشد که آن را کاندیدای اصلی از تشعشعات زیاد خارج از باند OFDM استفاده در سیستم های نوین مخابراتی مانند رادیوی شناختی می کند رنج می برد که ناشی از سایه لوب های مربوط به زیر حامل ها می باشد. این تشعشعات در سیستم های رادیو شناختی باعث تداخل کاربران اولیه و ثانویه شده و همزیستی بین آنها را از بین می برد. به دلیل تکنیک های بکار به میزان قابل ملاحظه ای از سایه لوب ها کاسته می شود. ولی به ازای آن نیاز به، OFDM رفته در سیستم های ارسال اطلاعات اضافی به گیرنده، افزایش بار محاسبات در فرستنده و یا تنزل در پارامترهای سیستم دارند بنابراین پیدا کردن روشی که پیچیدگی سیستم را در حد قابل قبولی حفظ کند و نیاز به

در سال های اخیر سرویس های جدیدی در مخابرات بی سیم مانند اینترنت بی سیم، سیستم های مخابرات سیار نسل آینده و . . . مطرح شده اند که همگی به ارسال داده با نرخ بالا احتیاج دارند. به دلیل اینکه طیف فرکانسی یک منبع محدود است، این محدودیت در سیستم های جدید دارای اهمیت فراوانی می باشد. مشکل دیگر در مواجهه با داده های نرخ بالا، پدیده انتشار چند مسیره است که پدیده فیدینگ را برای سیگنال های باند وسیع به همراه دارد و باعث اعوجاج سیگنال در حوزه فرکانس و همچنین باعث تداخل بین سمبل های مجاور Inter Symbol Interference (ISI) در سیگنال می شود. مدولاسیون Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) فرم مخصوصی از مدولاسیون چند حاملی است که در

پارامتر دیگری که در این روش تحت تاثیر قرار می گیرد، نسبت توان پیک به توان متوسط (Peak to Average Power Ratio) است که باعث یک افزایش جزئی در این پارامتر می گردد.

۲-۴ - روش وزن دهی زیر حامل ه Subcarrier Weighting(SW) [۱۰]

در این روش از توزیع صحیح توان اختصاص داده شده به زیر حامل ها استفاده می گردد و توان اختصاص داده شده به زیر حامل ها دست خوش تغییر نمی گردد در نتیجه دارای اتلاف توان نمی باشد. این روش منابع توان را به نحوی مدیریت می کند که به حداقل سایدلوب در خارج از باند فرکانسی مورد استفاده دست پیدا کند و به دلیل این نوع مدیریت باعث می شود که کاندیدای مناسبی برای ترکیب با سایر روش های کاهش سایدلوب باشد.

یک سیستم OFDM با N زیر حامل برای هر سمبل را در نظر بگیرید. سمبل ها قبل از تشکیل نهایی سیگنال OFDM، وارد بلوک وزن دهی زیر حامل ها می گردد تا توان ارسالی به نحو مناسب در زیر حامل ها توزیع گردد. در این روش، تک تک زیر حامل ها به نحوی وزن دهی می شوند که سایدلوب های یکدیگر را در محدوده مورد نظر خنثی کنند. در این روش چون زیر حامل ها از توان مساوی برای ارسال بهره نمی برند در نتیجه زیر حاملی که دارای توان کمتری می باشد احتمال آشکار سازی صحیح سمبل حمل شده توسط آن کاهش می یابد و همین امر باعث افزایش پارامتر نرخ خطای بیت (Bit Error Ratio (BER) می گردد.

۲-۳ روش توالی چند انتخابی Multiple Choice Sequence(MCS) [۱۱]

این روش یک روش کلی در زمینه کاهش سایدلوب می باشد و تعداد زیادی از روش ها را تحت پوشش خود قرار می دهد. در این روش توالی های مختلف از سمبل ها به دلیل ترکیب گوناگون سایدلوب های ناشی از زیر حامل ها، دارای توان سایدلوب متفاوتی هستند. بنابراین اگر بتوان از بین این توالی ها آنکه کمترین توان را دارد انتخاب کرد به کاهش سایدلوب ها کمک کرده ایم.

ارسال اطلاعات اضافی نداشته باشد در کنار اینکه تاثیر منفی آن بر روی پارامترهای سیستم نیز قابل قبول باشد دارای اهمیت زیادی است.

این مقاله به شکل زیر سازماندهی شده است. در بخش دوم روشهایی برای کاهش سایدلوب ها در سیستم های OFDM همراه با مزایا و معایب آنها معرفی می شود. در بخش سوم به معرفی روش MS-CE در مدولاسیون QAM می پردازیم که در آن تشعشعات خارج از باند کاهش قابل توجهی خواهند داشت.

۲- روشهایی برای کاهش سایدلوب ها در سیستم OFDM

در این بخش روش های اساسی کاهش تشعشعات خارج از باند برای سیستم های OFDM مورد بررسی قرار می گیرد. هر روش گذشته از میزان کاهشی که در سایدلوب های سیگنال OFDM ایجاد می کند، باعث تنزل هایی در پارامترهای سیستم نیز می شود که میزان این تنزل ها و پارامترهای تحت تاثیر، وابسته به اصولی است که روش مورد نظر از آن استفاده می کند. روش های ترکیبی نیز وجود دارد که به عنوان کاندیدای اصلی مطرح هستند. بعضی اوقات اولویت در میزان کاهش سایدلوب می باشد و گاهی تنزل کم در پارامترهای سیستم و یا پراکندگی این تنزل در پارامترهای مختلف دارای اهمیت می باشد.

۲-۴ - روش زیر حامل کنسل کننده Cancellation Carriers(CC) [۹]

اساس این روش بر این استوار است که از سایدلوب های ناشی از زیر حامل های سمبل OFDM، برای خنثی نمودن مجموع سایدلوب های سمبل OFDM استفاده نماید.

یک سیستم OFDM با N_c زیر حامل برای هر سمبل را در نظر بگیرید، که از این میان N زیر حامل آن برای انتقال داده استفاده می شود. از $N_c - N$ زیر حامل ها باقیمانده، برای حمل داده استفاده نمی شود بلکه این زیر حامل ها رزرو می شوند تا از آن ها برای کاهش سایدلوب استفاده گردد. میزانی از توان ارسالی صرف زیر حامل های کنسل کننده می گردد که باعث کاهش نسبت سیگنال به نویز (Signal to Noise Ratio(SNR) می گردد.

۳- روش نوآلی اصلاح شده در فضای سمبل بسط داده شده (MS-CE) Modified Sequence in CE

در این قسمت روش پیشنهادی در این مقاله به منظور کاهش تشعشعات خارج از باند سیستم OFDM مورد بررسی قرار می‌گیرد. روشی که ارجح شده از همان روش بسط فضای سمبل که مبتنی بر نگاشت سمبل‌ها به فضای از مرتبه بالاتر می‌باشد استفاده می‌کند ولی، در روش MS-CE مشکلات روش بسط فضای سمبل از بین رفته و از یک الگوریتم مناسب برای دستیابی به توالی‌ای با توان سایدلوب کمتر استفاده شده است. روش MS-CE در عین حال که یکی از مشکلات بزرگ روش بسط فضای سمبل را که به علت استفاده از الگوریتم تکراری در آن به وجود می‌آید برطرف کرده است. هیچ‌گونه تنزل قابل توجهی نیز در مزیت‌های این روش ایجاد نمی‌کند، در نتیجه روش ارائه شده در این مقاله را می‌توان یک روش کارآمد در زمینه کاهش سایدلوب سیگنال OFDM تلقی نمود. نتایج شبیه‌سازی کاهش مناسب تشعشعات خارج از باند توسط این روش را نشان می‌دهند که کارآمدی روش فوق را اثبات می‌کند. نکته قابل توجه در نتایج شبیه‌سازی، دست‌یابی به کاهش بیشتر در توان سایدلوب‌ها نسبت به روش بسط فضای سمبل می‌باشد در حالی که هدف اولیه روش MS-CE، برطرف کردن مشکل استفاده از الگوریتم تکراری در آن بود، از این رو نه تنها با استفاده از روش MS-CE مشکل الگوریتم تکراری در روش بسط فضای سمبل برطرف شده، بلکه برتری قابل ملاحظه‌ای در زمینه کاهش سایدلوب نیز در آن حاصل گردیده است. در این مقاله، ابتدا علت ارجح روش MS-CE در قسمت ۱-۳ بیان شده و سپس در قسمت ۲-۳ خود الگوریتم روش MS-CE به طور کامل توضیح داده می‌شود. در قسمت ۳-۳ نتایج شبیه‌سازی روش MS-CE و تاثیر آن در کاهش تشعشعات خارج از باند سیگنال OFDM مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۳-۱ علت پیشنهاد روش MS-CE

روش بسط فضای سمبل دارای مزیت‌هایی می‌باشد که استفاده از آن را توجیه‌پذیر می‌نماید. مزیت اصلی روش فوق

روش MCS از دو بخش تشکیل شده است. در بخش اول با استفاده از روش‌های مختلف توالی‌های مختلفی تولید می‌شود و در بخش دوم، آن توالی‌ها از سمبل‌ها که دارای حداقل تشعشعات خارج از باند فرکانسی مورد استفاده می‌باشد برای ارسال انتخاب می‌گردد. روش MCS بسته به نوع انتخاب روش تولید توالی‌های مختلف، دارای تاثیرات مختلف در عملکرد سیستم می‌باشد و در بخش دوم این روش که مربوط به محاسبه توان سایدلوب‌های توالی‌ها است با توجه به تعداد زیاد توالی‌ها بار محاسباتی به سیستم اعمال می‌گردد. البته در این روش دیگر نیازی به حل مسئله بهینه‌سازی نیست و این به نوبه خود مزیت بزرگی از نظر کاهش حجم محاسبات می‌باشد.

۲-۴ روش تنظیم فضای سمبل Constellation Adjustment (CA) [۱۳]

روش CA از تنظیم نقاط فضای سیگنال برای کاهش سایدلوب‌ها استفاده می‌کند. ایده اصلی مورد استفاده در روش فوق همان اصل مورد استفاده در روش MCS می‌باشد. در حقیقت در روش فوق هنگام ارسال یک توالی از سمبل‌ها، تعدادی از آن‌ها با سمبل‌های دیگری از فضای سمبل تعویض می‌گردند به نحوی که ترکیب جدید از سمبل‌ها دارای توان سایدلوب کمتری باشند. این روش برای اینکه گیرنده باید از این تغییرات با خبر باشد تا بتواند عمل بازبازی اطلاعات را انجام دهد پارامتر k تعریف می‌شود که باید همراه با توالی a ارسال شود. k تعداد زیرحامل‌های تحت عمل تنظیم می‌باشد. هر چه این زیرحامل‌ها بیشتر باشند نتیجه بهتری در کاهش سایدلوب حاصل می‌گردد، اما باعث افزایش بار محاسباتی سیستم و تاثیر منفی روی پارامتر PAPR سیستم می‌شود. از این رو انتخاب مناسب اندازه k با توجه به ویژگی‌های سیستم امری ضروری می‌باشد. روش‌های دیگری از جمله روش انتقال و فقی Adaptive Symbole Transition (AST) [۱۴] و روش‌های ترکیبی از ترکیب روش‌های فوق برای کاهش سایدلوب‌ها نیز وجود دارد. [۱۱]

ی توالی تولید شده آن توالی ای که دارای توان سایدلوب کمتری باشد را به عنوان توالی نهایی برای ارسال انتخاب می کند . در ادامه سایر سمبل های OFDM وارد بلوک MS-CE شده و همین رویه برای تک تک آن ها انجام می شود تا برای هر یک از سمبل های OFDM، یک توالی جدید از سمبل های داده بسط داده شده تولید و ارسال گردد.

روش MS-CE نسبت به روش بسط فضای سمبل دارای دو مزیت اصلی است. اولین مزیت آن دستیابی به کاهش بیشتر در توان سایدلوب ها می باشد که پارامتر مهمی در روش های کاهش سایدلوب به شمار می رود. اگرچه هر دو روش MS-CE و بسط فضای سمبل از اصل یکسان که همان نگاشت سمبل ها به یک فضای از مرتبه بالاتر می باشد استفاده می کنند ولی روش بسط فضای سمبل به دلیل بار محاسباتی زیادی که الگوریتم تکراری به آن اعمال می کند امکان بررسی تعداد زیادی از توالی های تولید شده را ندارد و همین امر باعث می شود که روش بسط فضای سمبل در میزان کاهش سایدلوب نسبت به روش MS-CE عملکرد بدتری داشته باشد.

دومین مزیت روش MS-CE نسبت به روش بسط فضای سمبل حجم محاسبات بسیار کمتر آن است . در روش MS-CE به جز زیرحامل N ام، ما توان سایدلوب را برای هر زیرحامل دوبار محاسبه نمودیم تا سمبل مناسب را برای آن زیرحامل پیدا نماییم.

۳-۳ - بررسی نتایج شبیه سازی

در این قسمت به بررسی نتایج شبیه سازی روش MS-CE می پردازیم تا کارآمدی روش فوق را مورد آزمایش قرار دهیم . برای شبیه سازی یک سیگنال OFDM با $N=8$ زیر حامل مدوله شده با مدولاسیون QAM و ۱۶QAM را در نظر می گیریم . از سیگنال زیر به منظور آزمایش روش MS-CE در کاهش سایدلوب سیگنال های OFDM با تعداد زیرحامل های کم و همچنین مقایسه روش MS-CE با روش بسط فضای سمبل استفاده می کنیم. فضای سمبل بسط داده شده برای مدولاسیون QAM در نظر گرفته شده است که در شکل ۳-۱ این نگاشت نشان داده شده است.

استفاده از بسط فضای سمبل به منظور تولید توالی های جدید است، زیرا در نگاشت سمبل ها از فضای سمبل کنونی به فضای سمبل از مرتبه بالاتر هیچگونه تغییری در توان ارسالی مربوط به زیرحامل ها ایجاد نمی شود و در تمام زیرحامل ها با همان توان گذشته ارسال می شوند در نتیجه در روش فوق، افزایش نرخ خطا به دلیل تغییر در توان ارسالی زیرحامل ها مانند روش SW، نخواهیم داشت. همچنین هیچ بخشی از توان ارسالی در این روش به هدر نمی رود و تمامی این توان صرف زیرحامل های ارسالی سیگنال OFDM می گردد. در نتیجه در روش فوق شاهد هیچگونه تنزلی در نسبت سیگنال به نویز مانند روش CC و AST نخواهیم بود و نیازمند به ارسال توان بیشتر در فرستنده به منظور افزایش نسبت سیگنال به نویز هم نمی باشیم . در روش بسط فضای سمبل هیچ زیرحاملی از حمل سمبل های داده کنار گذاشته نمی شود در نتیجه، شاهد کاهش بازدهی سیستم به دلیل کنار گذاشتن بخشی از زیرحامل حمل کننده داده مانند روش CC نخواهیم بود. در کنار موارد بالا، روش بسط فضای سمبل دارای کاهش مناسبی در تشعشعات خارج از باند نیز می باشد.

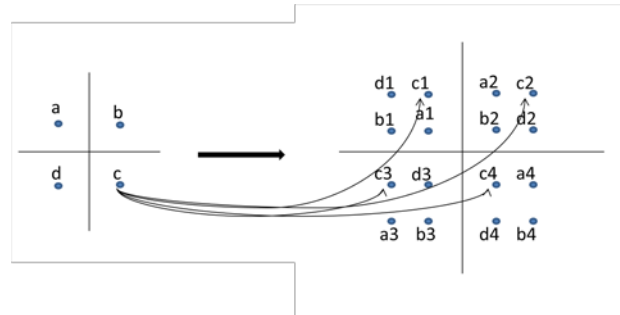
۳-۲ - بررسی روش MS-CE

الگوریتم روش MS-CE سعی بر آن دارد که سایدلوب های مربوط به زیرحامل های قبلی را با استفاده از سایدلوب زیرحامل بعدی خنثی کرده و باعث کاهش سایدلوب کل شود و با استفاده از همین اصل، به انتخاب سمبل مناسب از فضای سمبل بسط داده شده می نماید . با استفاده از الگوریتم فوق به ازای حجم محاسبات بسیار کمتری نسبت به روش بسط فضای سمبل، به توالی مناسب تری از نظر توان سایدلوب دست پیدا خواهیم کرد. هر سمبل OFDM به صورت یک توالی N تایی از سمبل های داده می باشد که N برابر با تعداد زیرحامل های سیگنال OFDM می باشد. در ابتدا سمبل های داده مربوط به توالی مورد نظر از فضای سمبل MQAM به فضای سمبل 4MQAM نگاشت داده می شوند که در این فضای جدید، برای هر سمبل داده چهار حق انتخاب وجود دارد . در این مرحله الگوریتم روش MS-CE به منظور یافتن توالی مناسب از سمبل های بسط داده شده اجرا می گردد. این الگوریتم با محاسبه توان سایدلوب همه

انتخاب درست سمبل مورد نظر، از میان چهار حق انتخاب خود در فضای بسط داده شده انجام می دهد. استفاده از الگوریتم فوق در کاهش بسیار مناسبی که در حجم محاسبات ایجاد می کند دارای عملکرد مناسب تری در میزان کاهش ساییدلوب ها نسبت به روش بسط فضای سمبل نیز می باشد زیرا در روش بسط فضای سمبل به دلیل تعداد بسیار زیاد توالی های تولید شده، امکان بررسی تمام آن ها وجود ندارد از این رو مجبوریم که از یک سقف تکرار برای تعداد توالی های مورد بررسی استفاده کنیم و همین امر باعث کاهش استفاده از پتانسیل روش بسط سمبل ها در کاهش ساییدلوب می گردد. برای مثال در مورد سیگنال OFDM با ۸ زیرحامل، روش MS-CE به حدود ۳۰dB کاهش در توان ساییدلوب ها دست پیدا نمود که نسبت به روش بسط فضای سمبل در حدود ۱۶ dB عملکرد بهتری داشته است.

مراجع

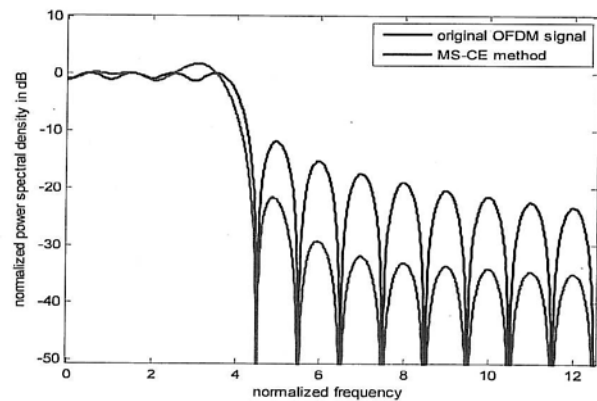
- [1] I. Cosovic, S. Brandes, and M. Schnell, "Subcarrier weighting: a method for sidelobe suppression in OFDM systems," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 1, no. 6, pp. 444-446, June 2006.
- [2] J. van de Beek and F. Berggren, "N-continuous OFDM," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 13, no. 1, pp. 1-3, Jan. 2009.
- [3] J. van de Beek and F. Berggren, "EVM-constrained OFDM precoding for reduction of out-of-band emission," in *Proc. 70th IEEE Vehicular Technology Conference, VTC 2009 Fall, Anchorage, Alaska, USA*, Sept. 2009, in press.
- [4] T. Magesacher, "Spectral compensation for multicarrier communication," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 55, no. 7, pp. 3366-3379, July 2007.
- [5] C.-D. Chung, "Spectrally precoded OFDM," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 54, no. 12, pp. 2173-2185, Dec. 2006.
- [6] W. Chongburee, "Analysis of power spectral density of digitally modulated combined pulse trains," in *Proc. 2nd ECTI Annual Conference Thailand*, May 2005.
- [7] G. Strang, *Linear Algebra and its Applications*, 3rd ed. San Diego, CA: Harcourt Brace Jovanovich Publishers, 1976.
- [8] IEEE P802.22/Draft v2.0, Draft Standard for Wireless Regional Area Networks Part 21.
- [9] S. Brandes, I. Cosovic, and M. Schnell, "Sidelobe suppression in OFDM systems by insertion carriers," in *Proc. 62nd IEEE Veh. Technol. Conf. - Fall*, vol. 1, pp. 152-156, Sept 2005.
- [10] Cosovic, S. Brandes, M. Schnell, "A technique for sidelobe suppression in OFDM system," in *Procoding of IEEE Global Telecommunication Conference, St. Loise, MO, USA*, November 2005.
- [12] S. Ahmed, R. Ur Rehman, H. Hwang, "New techniques to Reduce sidelobes in OFDM system," *Third International Conference*



شکل ۳-۱: نحوه ی نگاشت از QAM به ۱۶QAM

در شکل ۳-۲، چگالی طیف توان نرمالیزه شده Power Spectral Density (PSD) برای سیگنال OFDM با ۸ زیرحامل با و بدون روش MS-CE برای مدولاسیون QAM و ۱۶QAM نشان داده شده است.

همان طور که از شکل مشهود است روش MS-CE موفق به کاهش مناسبی در توان ساییدلوب های سیگنال OFDM شده است که موثر بودن روش فوق را در کاهش تشعشعات خارج از باند برای این مدولاسیون به اثبات می رساند.



شکل ۳-۲: PSD برای سیگنال OFDM با ۸ زیرحامل با و بدون روش MS-CE برای مدولاسیون QAM و ۱۶QAM

۴ - نتیجه گیری

روشی که در این مقاله ارائه شد سعی نمود که از ساییدلوب هر زیرحامل به منظور خنثی سازی ساییدلوب های مربوط به زیرحامل های قبلی استفاده نماید و این کار را با استفاده از



چهارمین کنفرانس ملی ایده های نو در مهندسی برق



۲۰۲۱ آبان ماه ۱۳۹۴ - دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)

Convergence and Hybrid Information Technology, Vol. 2, pp. 117-121, 2008.

[13] D. Li, X. Dai and H. Zhang, "Sidelobe suppression in NC-OFDM systems using constellation adjustment," *IEEE communications letters*, Vol. 13, No. 5, May 2009.

[14] H. A. Mahmoud and H. Arslan, "Sidelobe suppression in OFDM-based spectrum sharing systems using adaptive symbol transition," *IEEE communications letters*, Vol. 12, No. 2, February 2008.

[15] Jaap van de Beek, Member, IEEE "Sculpting the Multicarrier Spectrum: A Novel Projection Precoder" December 2009.

[16] LIU De-qiang, "Deepen spectrum notch and reduce PAPR in OFDM systems via combining subcarriers precoding with tone reservation" 2010

[17] Char-Dir Chung, *Senior Member, IEEE*, "Spectral Precoding for Rectangularly Pulsed OFDM" September 2008



چهارمین کنفرانس ملی ایده های نو در مهندسی برق



۱۳۹۴-۲۰ آبان ماه ۱۳۹۴ - دانشگاه آزاد اسلامی واحد صغمان (خراسان)