



## بررسی کاربرد فوم های فلزی در صنایع مختلف

علی حسین چاهخویی

دانشجوی کارشناسی ارشد شناسایی و انتخاب مواد مهندسی دانشگاه پیام نور مرکز سمنان

فرزاد سلیمانی

استادیار دانشگاه پیام نور مرکز سمنان

### چکیده

فوم های فلزی دسته ای از مواد هستند که به دلیل استحکام به وزن بالا، سبکی و ساختار متخلخل مورد توجه پژوهشگران و محققان قرار داشته اند. لذا در تحقیق فوق سعی بر بررسی و مطالعه بیشتر این مواد شد تا ضمن شناخت بیشتر و آشنایی با خواص این مواد کارایی و کاربرد فوم های فلزی را در صنایع مختلف تا حد امکان بررسی کنیم. با پژوهش صورت گرفته مشخص شد خواص و ویژگی های فوم های فلزی تا حد بسیار زیادی تحت تاثیر روش ساخت فوم، مورفولوژی خل ها، ساختار سلولی فوم، باز یا بسته بودن خلل، جنس آلیاژ پایه و همچنین درصد تخلخل می باشد و نیز مشخص گردید از فوم های فلزی می توان در الکترولیز آب، در قسمت های مختلف پیل های سوختی غشا پلیمری، برخی قطعات وسایل نقلیه، جاذب های انرژی، عایق صوتی، عایق امواج الکترومغناطیسی و در مواردی برای بهبود انتقال حرارت در برخی وسایل و... استفاده نمود.

**کلمات کلیدی:** فوم فلزی، تخلخل، استحکام به وزن، خل، مورفولوژی



## مقدمه

توجه به ساختارهای چند فاز از سال ۱۹۵۰ میلادی شروع شد زمانی که اسمیت در دانشگاه ام آی تی پژوهش در زمینه سیستم‌های دوفازی مایع-گاز و به عبارت دیگر فوم را آغاز کرد. به تدریج توجه پژوهشگران و دانشمندان دیگری نیز به این موضوع جلب شد. به نحوی که در حال حاضر کشورهای متعددی بر روی فوم‌های فلزی در حال پژوهش و تحقیق بوده و در شرکت‌های مختلفی در سطح بین‌المللی به تولید این نوع از مواد نو اشتغال دارند. این فوم‌ها عمدتاً از آلیاژهای آلومینیم تولید می‌شوند. به تدریج با فلزات و آلیاژهای دیگری مانند فولاد، مس، نیکل، روی، منیزیم، تیتانیوم و سایر فلزات و آلیاژهای آن‌ها به لحاظ فومی شدن مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته و محدوده‌ای وسیع از کاربردهای مختلف را مطرح کرده است. امروزه استفاده از فوم‌های آلومینیمی به دلیل سبکی وزن، جذب انرژی خوب، ویژگی‌های حرارتی و صوتی، بازیافت راحت و شناور بودن بر روی آب، افزایش چشمگیری داشته است [۱]

اولین تلاش‌ها برای ساخت فوم توسط سانسیک در سال ۱۹۴۳ انجام شد. وی جهت تهیه فوم به مذاب آلومینیوم، جیوه اضافه کرد. وی با تشکیل آلیاژ فلزی با دامنه‌ای دمای ذوب و جوش متفاوت، قصد ساخت فوم داشت. در این روش با حرارت دادن آلیاژ برخی از فلزات تبخیر شده و مابقی فقط ذوب می‌شوند. این حرارت دادن با اعمال فشار همراه است که پس از رسیدن به حالت مطلوب مذاب سرد شده و فوم تشکیل می‌شود، اما این روش به دلیل مناسب بودن تعداد محدودی از آلیاژها برای این امر و همچنین هزینه‌ی بالای آن چندان مورد استقبال قرار نگرفت [۲]. در سال ۱۹۵۰ اولین فوم سلول باز به روش پراکنده کردن آلومینیوم مذاب در توده‌ی نمک و سپس سرد کردن و شستن نمک تشکیل شد این روش حالت قابل اطمینان‌تری نسبت به روش سانسیک بود اما همچنان توجه زیادی را به خود جلب نکرد. الیوت در سال ۱۹۵۶ عامل فوم ساز را جایگزین جیوه که ماده‌ای سمی بود کرد. این روش نظر بسیاری از محققان را به خود جلب کرد [۳]. در سال ۱۹۵۹ آلن روش فوم سازی به وسیله‌ی فشرده کردن پودر به همراه عامل فوم ساز را معرفی کرد. ایجاد فوم‌های فلزی و کشف برخی خواص مکانیکی آن‌ها نظرهای بسیاری را به سمت این مواد به خود جلب کرد [۴]. در سال ۱۹۵۷ جورکسن بیان کرد "فلزات فوم شده پتانسیل تجاری بالایی دارند و احتمال دارد ده درصد فلزات تولید شده تا بیست سال آینده به این مواد اختصاص بیابد هرچند هنوز کارهایی زیادی از قبیل کنترل میزان چگالی و ابعاد باید صورت گیرد" با توجه به اینکه سال‌های زیادی از حرف او گذشته است اما هنوز فوم‌های فلزی آن‌طور که پیش‌بینی می‌شد، نتوانسته‌اند جای خود را در بازار اقتصادی و صنعتی جهان باز کنند، اما تلاش‌ها برای درک هرچه بهتر خواص آن‌ها و کنترل فرایند تولید این مواد ادامه دارد.

در اواخر دهه‌ی ۸۰ با فعالیت‌های صورت گرفته‌ی موسسه‌ی فرانهورفر به تولید مواد فومی با روش‌هایی به صرفه دست یافت. با توسعه‌ی تکنیک‌های جدید ساخت مواد فومی، روزبه‌روز به تعداد علاقه‌مندان این مواد اضافه شد و از این مواد در مصارفی مانند ساخت و ساز، حمل و نقل و بخصوص برای مصارفی که نسبت استحکام به وزن بالایی نیاز است استفاده می‌شد [۵]. در سال ۱۹۹۰ این مواد به صورت عمده در صنعت مورد توجه و استفاده قرار گرفتند از آن پس توجه و تحقیق برای ساخت و تولید فوم‌ها با توجه به ویژگی مورد نیاز بیش از پیش در دستور کار محققان قرار گرفت [۶]. فوم‌های فلزی خواص بسیار متنوع و گوناگونی دارند که از آن جمله وزن کم فوم‌های فلزی باعث شده که این مواد مورد توجه بسیاری قرار گیرند.

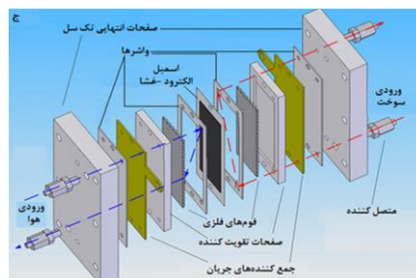
چگالی نسبی یک فوم فلزی، به طور معمول کمتر از ۱۵ درصد چگالی فلز پایه و غیر متخلخل است. نسبت استحکام (سفتی) به وزن یک عامل مهم در طراحی‌های مهندسی است که این نسبت در فوم فلزی بالا است. به عنوان مثال سفتی یک پنل بستگی به ضخامت آن دارد بنابراین اگر یک پنل فلزی توسط یک پنل فومی جایگزین شود که همان وزن پنل فلزی را دارد، ولی ضخامت آن ۵ برابر بیشتر است، سفتی آن نیز ۵ برابر بیشتر خواهد شد. [۷]



## آزمایشات و روش تحقیق

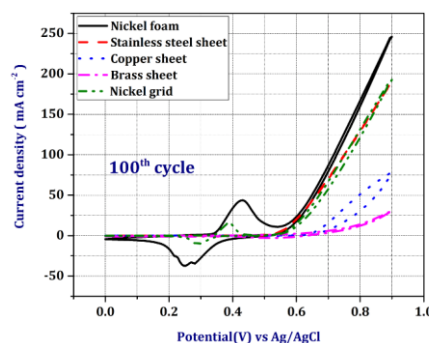
افشاری و پیرکندی [۸] طی پژوهشی اذعان داشتند که به منظور کاهش وزن و حجم پیل سوختی غشا پلیمری، میتوان از فوم فلزی به عنوان توزیع کننده جریان استفاده کرد. یعنی فوم فلزی جایگزین کانال های جریان در صفحات قطبی می شود. به کار بردن فوم های فلزی متخلخل به عنوان میدان جریان مزایا و برتری هایی نسبت به کانال های معمولی دارد. توزیع یکنواخت گازهای واکنشگر بر روی لایه پخش گاز و لایه کاتالیست، مهمترین مزیت استفاده از فوم فلزی به عنوان توزیع کننده جریان در پیل سوختی غشا پلیمری می باشد. عملکرد پیل با فوم های فلزی نسبت به کانال های رایج می تواند با کاهش نفوذپذیری فوم فلزی افزایش یابد. هرچند که کاهش نفوذپذیری در طرح کانال ماشینکاری شده متداول به دلیل سختی در براده برداری کانال با سطح مقطع نازک، کمتر از مقدار مشخص ۸-۱۰ امکان پذیر نیست.

مزیت مهم دیگر فومهای فلزی این است که میتوانند به عنوان محافظ لایه کاتالیست ( برای انجام واکنشهای الکتروشیمیایی) در پیل سوختی استفاده شوند. جدا از خواص ساختاری، با مقایسه میدانهای جریان متداول و فومهای فلزی، فومهای فلزی مزیت هایی در بالا بردن و تسهیل جریان دو فازی و ظرفیت جمع شدن جریان ایجاد میکنند. به عنوان مثال، خارج شدن موثر دی اکسید کربن در دانسیته جریانهای بالا، فاکتور مهمی است که بر عملکرد پیل متانولی تاثیر میگذارد. فوم های فلزی، متخلخل و هدایت کننده گاز بوده و از این رو این قابلیت را دارند که وظایف لایه پخش گاز را انجام دهند. بنابراین این امکان وجود دارد که با به کار بردن فوم فلزی، لایه پخش گاز را حذف کرد. در این وضعیت، فوم فلزی شامل دو لایه متمایز و در بر گیرنده اندازه های مختلف تخلخل است (تخلخلهای بزرگ برای میدان جریان و تخلخل کوچکتر جایگزین لایه پخش گاز) و میتواند در تماس مستقیم با غشا پوشیده شده با کاتالیست، قرار گیرد.



شکل ۱- اجزا پیل سوختی الف) صفحه قطبی با کانالهای جریان گاز ب) صفحه قطبی با فوم فلزی ج) توده پیل با فوم فلزی

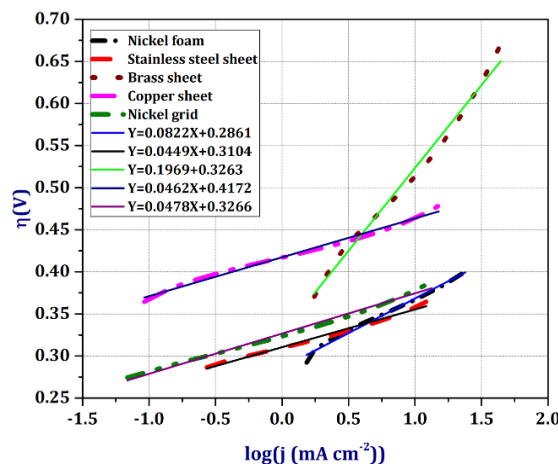
در پژوهشی دیگر ژبانی و همکاران [۹] در تحقیقی با عنوان بررسی عملکرد بسترهای فلزی غیرنجیب و ارزان قیمت برای تولید گاز اکسیژن در فرایند الکترولیز قلیایی آب به بررسی استفاده از بسترهای مختلف فلزی ارزان قیمت شامل فوم نیکل، ورق استیل، توری نیکل، ورق برنج و ورق مس به عنوان الکترود اکسیژن بهره گرفتند. از آزمایش های الکتروشیمیایی ولتامتری چرخه ای، ولتامتری روبش خطی و منحنی تافل نیز برای بررسی عملکرد الکترودها استفاده شده است. بررسی ها نشان داد که فوم نیکل پتانسیل آزاد کمتری و در شرایط واقعی عملکرد مناسب تری دارد. به منظور بررسی رفتار الکتروشیمیایی، بسترهای فلزی فوم نیکل، ورق فولاد ضدزنگ، ورق مس، ورق برنج و توری نیکل تحت ۱۰۰ پیمایش ولتامتری چرخه ای در محلول ۱ مولار KOH و دمای اتاق قرار گرفت که صدمین روبش بسترها برای مقایسه در شکل زیر نشان داده شده است.





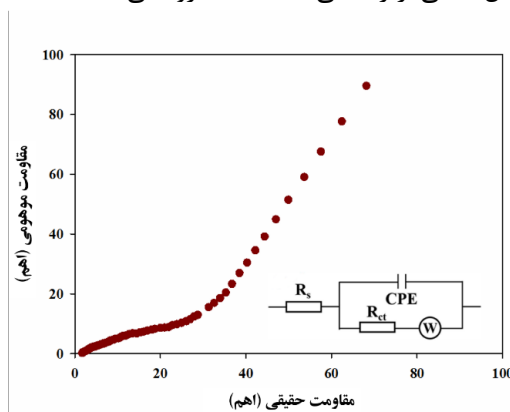
شکل ۲- منحنی ولتامتری چرخه ای نمونه ها در دمای اتاق و محلول ۱ مولار پتاسیم هیدروکسید با سرعت روبش ۵۰ میلی ولت بر ثانیه

فوم نیکل، با داشتن تخلخل بالا، سطح مؤثر بالاتری را نسبت به دیگر نمونه ها برای انجام واکنش فراهم میکند [۱۰]. پارامترهای که میتوانند عملکرد یک الکتروکاتالیست را مشخص کنند شیب تافل و پتانسیل مازاد در دانسیته جریان های مختلف اند [۱۱]. که این داده ها از منحنی ولتامتری روبش خطی استخراج شدند. هراندازه الکتروکاتالیست شیب تافل و پتانسیل مازاد کمتری داشته باشد، عملکرد آن بهتر است.



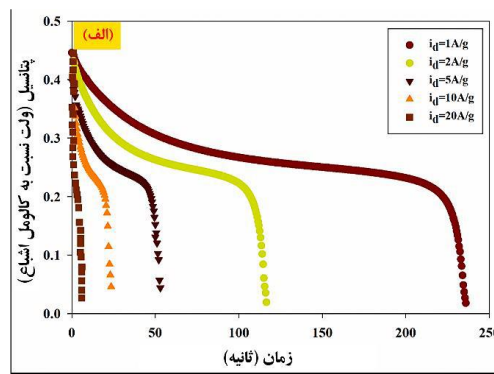
شکل ۳- نمودار تافل نمونه ها در محلول ۱ KOH مولار

در پژوهشی دیگر میرزایی و دهقانیان [۱۲] در تحقیقی به منظور بررسی سنتز فوم نیکل-اکسید نیکل به روش الکتروشیمیایی و کاربرد آن در ابرخازن پرداختند و عنوان داشتند که فوم نیکل-اکسید نیکل برای ساخت ابر خازن ها مناسب می باشد. در این راستا فوم Ni-NiO با یک روش ساده ی آلیاژزدایی (واکنش جابجایی گالوانیک) ایجاد شد و شکل زیر نمودار نایکوئیست از الکتروکود فوم Ni-NiO را که در محدوده ۰.۱ mhz تا ۱۰۰ khz اندازه گیری شده، را نشان میدهد. منحنی از نیم دایره در فرکانس بالا تشکیل شده است و به دنبال آن یک خط در فرکانس پایین است. طبق مدار معادل ضمیمه شده در شکل، ترکیب مقاومت ها از جمله مقاومت الکتروکود، مقاومت ذاتی مواد فعال و مقاومت اتصال ها و نیز مقاومت فصل مشترک پوشش و زیرلایه [۱۳]، می تواند توسط تقاطع نیم دایره در محور حقیقی امپدانس در فرکانس بالا اندازه گیری شود که مقادیر پایین مقاومت انتقال بار و مقاومت سری معادل حاکی از رسانایی مناسب الکتروکود می باشد [۱۴].



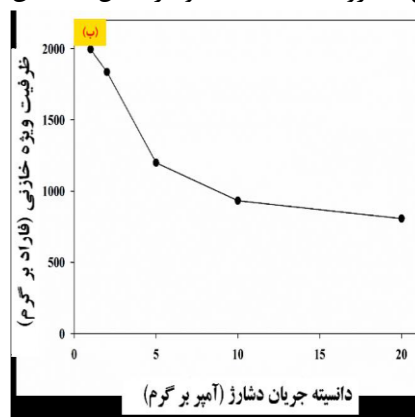
شکل ۴- منحنی نایکوئیست برای فوم Ni-NiO رسوب نشانی شده در دانسیته جریان  $2\text{A/cm}^2$  به مدت 180 s و آلیاژزدایی شده در ولتاژ ۰.۵ V در محلول اسید سولفوریک ۱ مولار

رفتار شبه خازنی فوم در شکل الف نشان داده شده است.



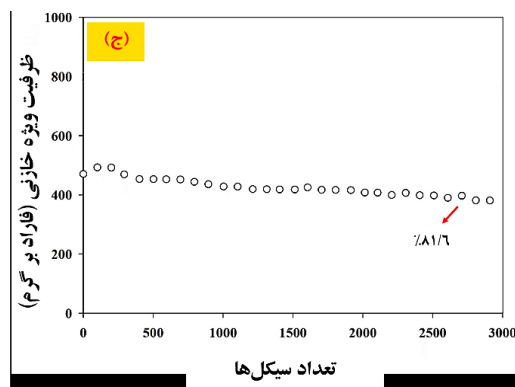
شکل ۵

طبق اطلاعات منحنی دشارژ، ظرفیت خازنی الکتروده محاسبه شده و در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶

این ظرفیت بالای خازنی به ساختار ویژه فوم، نانودندریتهای ایجاد شده و سطح ویژه ی بالای آن نسبت داده می شود. سطح ویژه ی بالا به علت نانودندریتهای منظمی بوده که به صورت در هم تنیده کنار یکدیگر قرار گرفته اند. پایداری الکتروشیمیایی الکتروده نیز با قرار دادن نمونه در جریان دشارژ 20 A/g در طی ۳۰۰۰ سیکل ارزیابی شد و نتایج در شکل ۷ نشان داده شده است.



شکل ۷

در پژوهشی دیگر بحرینی و همکاران [۱۵] در پژوهشی با عنوان بررسی اثر اندازه حفره های فوم آلومینیوم آلیاژی بر روی ضریب جذب صدا انجام دادند. برای بررسی خواص جذب صدای نمونه فومی از نمونه ها با اندازه خل متفاوت استفاده کردند. مشخصات نمونه های فومی در جدول زیر به ترتیب آورده شده است.



جدول ۱

اندازه حفره‌های (میکرون)	
کم تر از ۱۰۰	۱
۲۰۵-۱۰۶	۲
۲۰۰۰-۱۰۰۰	۳

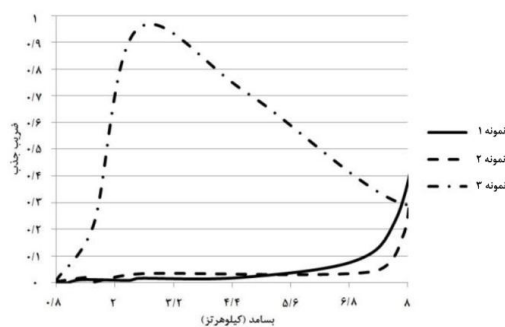
رابطه ضریب جذب صدا استفاده کردند.

$$\alpha = \frac{E_0 - E_1}{E_0}$$

که در رابطه فوق  $E_0$  انرژی صدای برخوردی و  $E_1$  انرژی صدای انعکاس یافته است. [۱۶]  
ضریب جذب صدای فوم های آلومینیومی به وسیله استاندارد 2-BSEN ISO 2001:10534 [۱۷] مبتنی بر روش لوله انتقال اندازه گیری شد و از لوله مقاومت ظاهری که شکل آن در تصویر زیر آورده شده است استفاده شد.



شکل ۸- لوله مقاومت ظاهری



شکل ۹- نمودار ضریب جذب صدا برای نمونه ها فومی با اندازه خل متفاوت

نتایج نشان دادند که اندازه خل مناسب در محدوده بررسی با بالاترین جذب صدا در محدوده ۲۵۰-۵۰۰ میکرون است. و در این محدوده می توان از فوم آلومینیوم به عنوان جاذب صدا بهره برد.

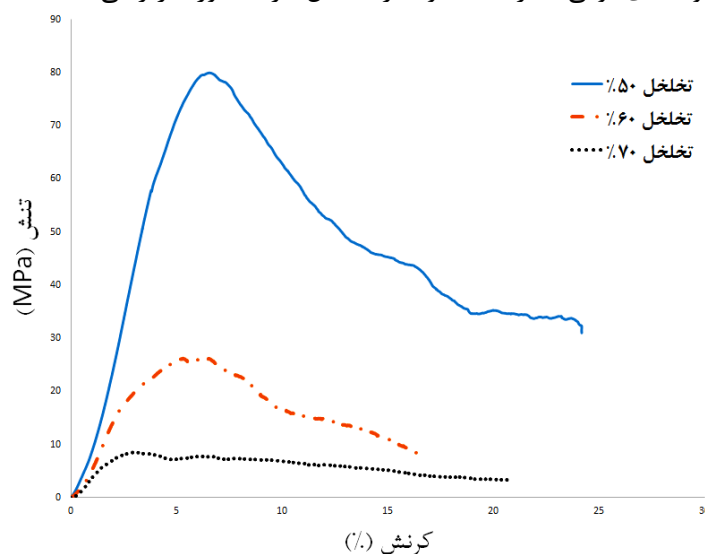
در پژوهشی دیگر [۱۸] با موضوع تولید داربست های تیتانیومی متخلخل مورد استفاده در ارتوپدی و بررسی خواص آن ها، از سه نمونه فومی با درصد تخلخل متفاوت استفاده شد و مورد بررسی قرار گرفتند و بیان داشتند که مدول یانگ نمونه های فومی ساخته شده در محدوده کاربرد استخوانی است و با کاهش درصد تخلخل مقدار تنش تسلیم افزایش خواهد یافت. جدول زیر نتایج حاصل از آزمون فشار را نشان می دهد.

جدول ۲

نمونه	تنش تسلیم (MPa)	تنش بیشینه (MPa)	مدول یانگ (GPa)
تیتانیوم-۵۰٪ تخلخل	۶۲/۵۷	۷۹/۹۷	۱/۰
تیتانیوم-۶۰٪ تخلخل	۱۸/۱۵	۲۶/۲۷	۰/۹
تیتانیوم-۷۰٪ تخلخل	۶/۴۲	۸/۵۸	۰/۵۱

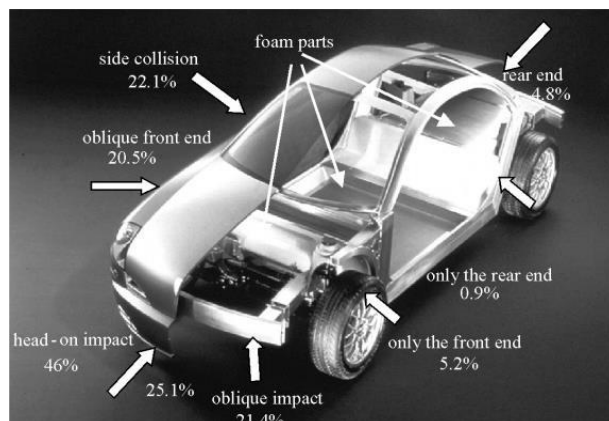


و منحنی تنش - کرنش نمونه های فومی با درصد متفاوت از تخلخل نیز به صورت زیر می باشد.



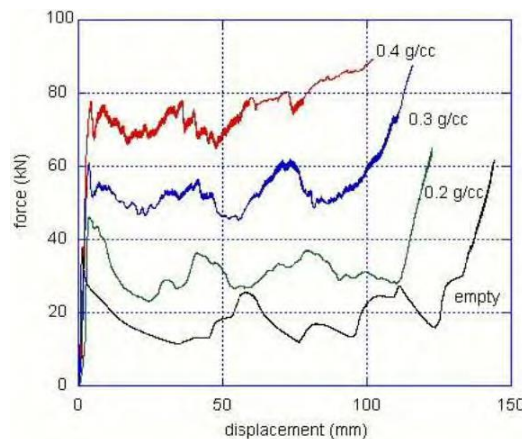
شکل ۱۰

سعیدی حیدری و همکاران [۱۹] در پژوهشی با موضوع کاربرد فوم های فلزی در صنعت خودرو انجام دادند. و عنوان کردند که فوم های فلزی به دلیل نسبت استحکام به وزن بالا، سبکی وزن و جاذب انرژی مناسب برای استفاده در قسمت های مختلف اتومبیل به کار می روند. در شکل زیر قسمت هایی از ماشین کارمن که در آن از فوم فلزی استفاده می شود به نمایش در آمده است.



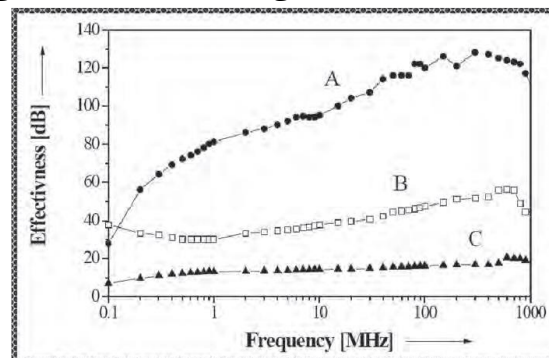
شکل ۱۱- قسمت هایی از ماشین کارمن که در آن از فوم فلزی استفاده شده است [۲۰]





شکل ۱۲- منحنی نیرو جابجایی یک لوله خالی و لوله پر شده با فوم

ملک جعفریان و همکاران [۲۱] در تحقیقی با عنوان فوم های فلزی در سیستم های نوین پدافند دریایی بیان داشتند که فوم های آلومینیومی محافظ خوبی در برابر امواج الکترومغناطیس می باشند. مواد محافظ در برابر امواج الکترو مغناطیس باید دارای هدایت الکتریکی بالایی باشند تا بتوانند میزان نفوذ امواج را به درون خود به کمترین میزان کاهش دهند به این ترتیب نفوذ پذیری مغناطیسی کاهش یافته و قابلیت تبدیل انرژی مغناطیسی به گرما و حرارت افزایش می یابد.

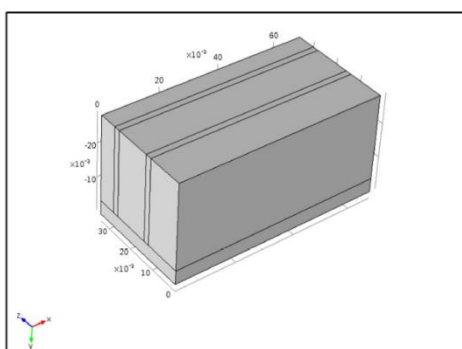


شکل ۱۳- توانایی مهار امواج الکترومغناطیسی فوم آلومینیوم و فولاد B و بالک آلومینیوم C در حالتی که وزن نمونه ها یکسان می باشد.

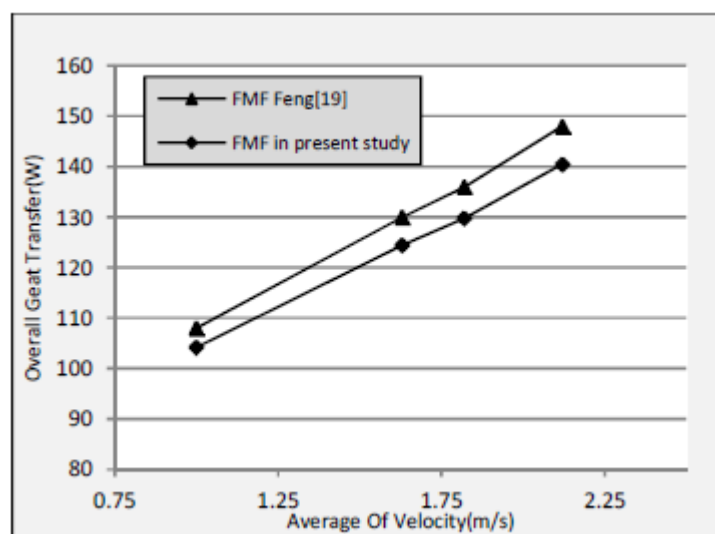
اصلانی و یوسفی [۲۲] در پژوهشی با عنوان بررسی عددی افزایش انتقال گرما از چاه گرمایی کامپیوترها با به کارگیری فوم های فلزی را بررسی نمودند و عنوان داشتند که در چاه گرمایی ساخته شده از فوم های آلومینیومی با تخلخل ۹۵.۶ درصد مقدار ضریب انتقال گرمای جابجایی تا ۳۱.۱۲۷ درصد افزایش می یابد در قسمت دیگری از این پژوهش چاه گرمایی پره دار را که در بین پره های آن فوم فلزی قرار گذاشته شده، مدل سازی شده و با توجه به نتایج، عدد نوسلت در چاه گرمایی های ساخته شده از فوم آلومینیومی با تخلخل ۹۵.۶ درصد در حالت پره دار می تواند تا ۲ برابر نسبت به حالت بدون پره افزایش یابد.

چاه گرمایی با مشخصات زیر در نرم افزار COMSOL Multiphysics شبیه سازی شد و نتایج بدست آمده به صورت زیر می باشد. به علت وجود تقارن نصف چاه گرمایی شبیه سازی شد.

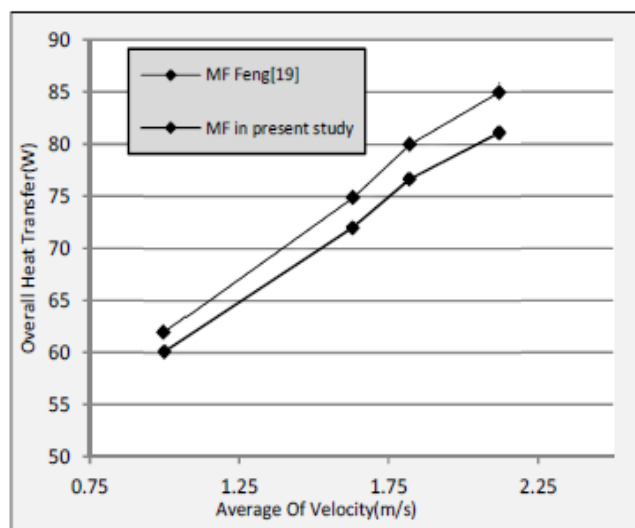




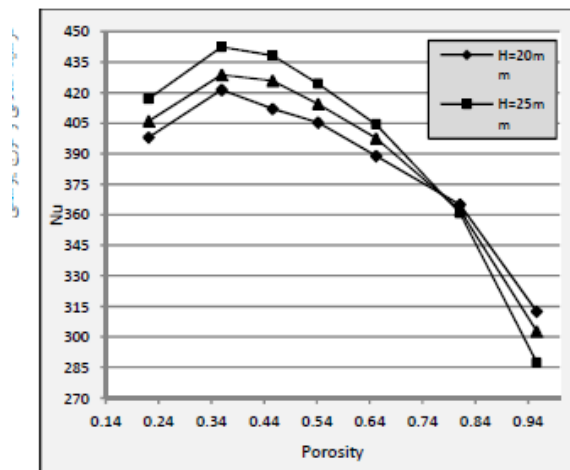
شکل ۱۴- ابعاد چاه گرمایی شبیه سازی شده با نرم افزار COMSOL Multiphysics



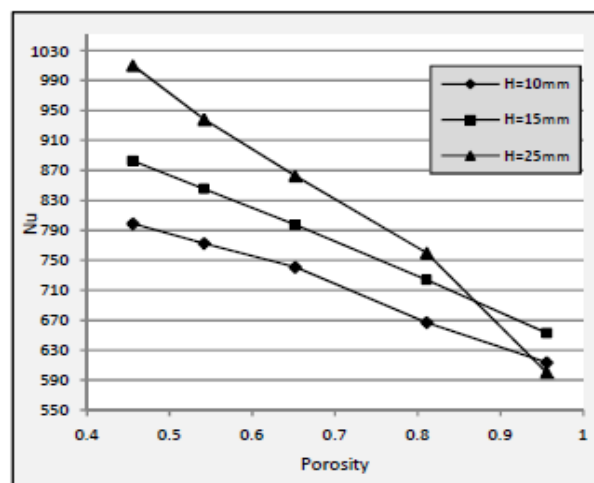
شکل ۱۵- نتایج حاصل از شبیه سازی چاه گرمایی ساخته شده فوم آلومینیمی پره دار و نتایج فنگ و همکاران



شکل ۱۶- نتایج شبیه سازی از چاه گرمایی ساخته شده از فوم آلومینیمی بدون پره و نتایج فنگ و همکاران



شکل ۱۷- تاثیر تخلخل در مقدار عدد نوسلت در چاه گرمایی ساخته شده از فوم آلومینیمی بدون پر



شکل ۱۸- تاثیر تخلخل در مقدار عدد نوسلت در چاه گرمایی ساخته شده از فوم آلومینیمی پره دار

## نتیجه گیری

- ۱- استفاده از فوم های فلزی موجب توزیع یکنواخت گازهای واکنشگر و صرفه جویی در هزینه ماشین کاری در پیل های سوختی غشا پلیمری می شود.
- ۲- استفاده از فوم فلزی موجب افت فشار پایین تری در پیل سوختی غشا پلیمری خواهد شد.
- ۳- فوم فلزی نیکل یکی از مواد مناسب جهت تولید اکسیژن در فرایند الکترولیز آب است.
- ۴- فوم فلزی نیکل به دلیل خواص مقاوم به خوردگی که دارد جهت استفاده در فرایند الکترولیز آب باعث پایداری بیشتر در انجام واکنش می شود.
- ۵- فوم نیکل - اکسید نیکل قابلیت استفاده در ابر خازن ها را دارا می باشد.
- ۶- فوم نیکل - اکسید نیکل به دلیل حفظ ظرفیت خود در سیکل های بالا یکی از مواد مناسب جهت استفاده در ابر خازن ها خواهد بود.
- ۷- از فوم های فلزی در جهت استفاده در عایق های صوتی می توان استفاده نمود.
- ۸- مقدار توانایی فوم های فلزی در جذب امواج صوتی بستگی به مورفولوژی خل ها و همچنین باز یا بسته بودن خل ها دارد.
- ۹- فوم فلزی نیکل خواص مکانیکی (مدول یانگ) در محدوده کاربرد استخوان دارد و از همین رو می توان در ساخت ایمپلنت های ارتوپدی از آن استفاده نمود.



- ۱۰-مدول یانگ (خواص مکانیکی) فوم های فلزی را می توان با تغییر مقدار تخلخل و مورفولوژی خل ها دگرگون کرد.
- ۱۱-فوم های فلزی به دلیل استحکام به وزن مناسب می توانند در قسمت های مختلف وسایل نقلیه استفاده شوند.
- ۱۲-استفاده از فوم های فلزی در وسایل نقلیه خصوصا اتومبیل و....به دلیل استحکام به وزن پایین موجب بهبود کارایی و صرفه جویی در مصرف انرژی خواهد شد.
- ۱۳-فوم های فلزی به دلیل ساختار متخلخل هنگام عبور امواج، در اثر برخورد با دیواره خل ها موجب کاهش انرژی امواج و در نتیجه افت فرکانس صدا می شوند.
- ۱۴-از آنجایی که مواد محافظ در برابر امواج الکترو مغناطیس باید دارای هدایت الکتریکی بالایی باشند در نتیجه فوم فلزی آلومینیمی ماده مناسبی جهت محافظت در برابر امواج الکترومغناطیسی می باشد.
- ۱۵-فوم های فلزی به دلیل داشتن تخلخل و افزایش سطح انتقال حرارت خوبی از خود نشان می دهند.
- ۱۶-به دلیل انتقال حرارت مناسب در کاربرد هایی نظیر چاه های گرمایی می توان از فوم های فلزی استفاده کرد.



## منابع

- 1- Wang, Xiaojian., Li, Yuncang., Xiong, Jianyu., Hodgson, Peter D., Wen, Cui'e. (2009). "Porous TiNbZr alloy scaffolds for biomedical applications", *Acta Biomaterialia*, Vol. 5, pp. 3616-3624
- ۲- جعفری، یوسف و دیگران. بررسی عددی انتقال حرارت در جاذب حرارتی متشکل از فوم فلزی پر شده از موادی باقابلیت تغییر فاز (PCMs). چهارمین کنفرانس بین‌المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی
- ۳- حصاری، رضا و احمدی بروغنی، سیدیوسف. مدل‌سازی فوم‌های آلومینیمی جهت جذب ضربه در ساختارهای چندلایه. مجله مهندسی مکانیک. (۱۳۹۶). ص ۲۵۳-۳۵۸
- 4- M. M. Rashid, M. K. Al Mesfer, H. Naseem, and M. Danish, "Hydrogen production by water electrolysis: a review of alkaline water electrolysis, PEM water electrolysis and high temperature water electrolysis," *Int J Eng Adv Technol*, 4, No. 3, 2015, pp. 80-93,
- 5- B. Mvola and P. Kah, "Effects of shielding gas control: welded joint properties in GMAW process optimization," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 88, No. 9-12, 2017, pp. 2369-2387
- 6- P. Jin, Z. Jiang, C Bao, S. Hao, and X. Zhang, "The energy consumption and carbon emission of the integrated steel mill with oxygen blast furnace," *Resources, Conservation and Recycling*, 117, 2015, pp. 58-65.
- 7- S. de Jong and et al., "Life-cycle analysis of greenhouse gas emissions from renewable jet fuel production," *Biotechnology for Biofuels*, 10, No. 1, 2017, pp. 64-82.
- ۸- افشاری، ابراهیم و پیرکندی، جاماسب. مقایسه عملکرد پیل سوختی غشا پلیمری با کانال ساده و فوم فلزی به‌عنوان توزیع‌کننده جریان. مجله علمی پژوهشی مکانیک سازه‌ها و شاره‌ها دوره ۴ شماره ۳ (دانشگاه شاهرود ۱۳۹۳). ص ۱۲۳-۱۳۶
- ۹- ژبانی و همکاران. بررسی عملکرد بسترهای فلزی غیر نجیب و ارزان قیمت برای تولید گاز اکسیژن در فرایند الکترولیز آب. نشریه علمی پژوهشی سوخت و احتراق سال یازدهم شماره دوم. تابستان ۱۳۹۷
- ۱۰- ژبانی و همکاران. بررسی عملکرد بسترهای فلزی غیر نجیب و ارزان قیمت برای تولید گاز اکسیژن در فرایند الکترولیز آب. نشریه علمی پژوهشی سوخت و احتراق سال یازدهم شماره دوم. تابستان ۱۳۹۷ به نقل از  
 F. Perez-Alonso, C. Adan, S. Rojas, M. Pena, and J. Fierro, "Ni/Fe electrodes prepared by electrodeposition method over different substrates for oxygen evolution reaction in alkaline medium," *international journal of Hydrogen Energy*, 39, No. 10, 2014, pp. 5204-5212..
- ۱۱- ژبانی و همکاران. بررسی عملکرد بسترهای فلزی غیر نجیب و ارزان قیمت برای تولید گاز اکسیژن در فرایند الکترولیز آب. نشریه علمی پژوهشی سوخت و احتراق سال یازدهم شماره دوم. تابستان ۱۳۹۷ به نقل از  
 E. Fabbri, A. Habereeder, K. Waltar, R. Kötzt, and T. J. Schmidt, "Developments and perspectives of oxide-based catalysts for the oxygen evolution reaction," *Catalysis Science & Technology*, 4, No. 11, 2014, pp. 3800-3821.
- ۱۲- میرزایی، مجید و دهقانان، چنگیز. سنتز فوم نیکل - اکسید نیکل به روش الکتروشیمیایی و کاربرد آن در ابر خازن. مجله فرایندهای نوین در مهندسی مواد، سال ۱۳ شماره ۲ تابستان ۹۸
- ۱۳- میرزایی، مجید و دهقانان، چنگیز. سنتز فوم نیکل - اکسید نیکل به روش الکتروشیمیایی و کاربرد آن در ابر خازن. مجله فرایندهای نوین در مهندسی مواد، سال ۱۳ شماره ۲ تابستان ۹۸ به نقل از



M. Zhi, A. Manivannan, F. Meng & N. Wu, "Highly conductive electrospun carbon nanofiber/MnO<sub>2</sub> coaxial nano-cables for high energy and power density supercapacitors", Journal of Power Sources, Vol. 208, pp. 345-353, 2012.

۱۴- میرزایی، مجید و دهقانان، چنگیز. سنتز فوم نیکل - اکسید نیکل به روش الکتروشیمیایی و کاربرد آن در ابر خازن. مجله فرایندهای نوین در مهندسی مواد، سال ۱۳ شماره ۲ تابستان ۹۸ به نقل از

S. Biswas & L. T. Drzal, "Multilayered nanoarchitecture of graphene nanosheets and polypyrrole nanowires for high performance supercapacitor electrodes", Chemistry of Materials, Vol. 22, No. 20, pp. 5667-5671, 2010.

۱۵- بحرینی و همکاران. بررسی اثر اندازه حفره های فوم آلومینیم آلیاژی بر روی ضریب جذب صدا. مجله انجمن مهندسی صوتیات ایران. سال دوم. شماره ۲. پاییز و زمستان ۱۳۹۳

۱۶- بحرینی و همکاران. بررسی اثر اندازه حفره های فوم آلومینیم آلیاژی بر روی ضریب جذب صدا. مجله انجمن مهندسی صوتیات ایران. سال دوم. شماره ۲. پاییز و زمستان ۱۳۹۳ به نقل از

W. Jiejun, L. Chenggong, W. Dianbin, G. Manchang, "Damping and sound absorption properties of particle reinforced Al matrix composite foams," Composites Science and Technology, vol. 63, pp. 569-574, 2003.

۱۷- بحرینی و همکاران. بررسی اثر اندازه حفره های فوم آلومینیم آلیاژی بر روی ضریب جذب صدا. مجله انجمن مهندسی صوتیات ایران. سال دوم. شماره ۲. پاییز و زمستان ۱۳۹۳ به نقل از

British Standard: Acoustics-Determination of Sound Absorption Coefficient and Impedance in Impedance Tubes-Part 2: Transfer-Function Method, BS EN ISO 10534-2:2001 (London: BSI), 2001.

۱۸- تولید داربست های تیتانیومی متخلخل مورد استفاده در ایمپلنت های ارتوپدی و بررسی خواص مکانیکی آن ها. هشتمین همایش مشترک و سومین کنفرانس بین المللی مواد مهندسی و متالورژی ۲۷-۲۸ آبان ۱۳۹۸ مرکز همایش های بین المللی شهید بهشتی تهران

۱۹- سعیدی حیدری و همکاران . کاربردهای فوم فلزی در صنعت خودرو. اولین کنفرانس ملی رویکردهای نوین و کاربردی در مهندسی مکانیک بیستم و بیست و یکم بهمن ۱۳۹۴

۲۰- سعیدی حیدری و همکاران . کاربردهای فوم فلزی در صنعت خودرو. اولین کنفرانس ملی رویکردهای نوین و کاربردی در مهندسی مکانیک بیستم و بیست و یکم بهمن ۱۳۹۴ به نقل از

Srivastava V, Sahoo K., 2007. Processing, stabilization and applications of metallic foams. Art of science. Materials Science-Poland. 25:733-53.

۲۱- ملک جعفریان و همکاران. فوم های فلزی در سیستم های نوین پدافند دریایی. مجله مهندسی شناورهای تندرو. سال یازدهم شماره ۴۰ پاییز ۱۳۹۰

۲۲- اصلانی، فرشید و یوسفی، تورج. بررسی عددی افزایش انتقال گرما از چاه گرمایی کامپیوترها با به کار گیری فوم های فلزی



**Abstract:**

Metal foams are a group of materials that have been focused on weight and high weight due to their strength, lightness, and porous research. Therefore, in the above research, an attempt was made to investigate and study these materials in order to get to know more and get to know their properties. to be Let's examine these materials, the efficiency and application of metal foams in different industries as much as possible. With the research done, the features and characteristics of metal foams were determined to a great extentIt is influenced by the foam manufacturing method, the morphology of voids, the cell structure of the foam, whether the void is open or closed, the material of the base alloy, as well as the percentage of porosity, and it was also determined that metal foams can be used in water electrolysis in different parts of fuel cells. Polymer membrane, some parts of vehicles, energy absorbers, sound insulation, electromagnetic wave insulation and in some cases used to improve heat transfer in some devices, etc.

**Key words:** metal foam, porosity, strength to weight, void, morphology