

# مروری بر کاربردهای روش اشبی در انتخاب مواد

آرزو قنبری<sup>۱</sup>، حسین نورانیان<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی دکترای مهندسی مواد پژوهشگاه مواد و انرژی

۲- استادیار گروه سرامیک پژوهشگاه مواد و انرژی

\* نویسنده مسئول [ar-ghanbari@merc.ac.ir](mailto:ar-ghanbari@merc.ac.ir)

## چکیده

به علت تنوع و گستردگی مواد و روشهای تولید، انتخاب مواد برای ساخت یک قطعه چالشی بزرگ می‌باشد. در عین حال انتخاب مواد بخش مهم و جدایی ناپذیر از فرایند طراحی محصول و تولید آن است. در واقع اگر فرایند انتخاب مواد، به درستی انجام نشود طراح ممکن است یک ماده نامناسب را برگزیند از این رو استفاده از یک فرایند سیستماتیک برای طراحی ماده ضروری است. یکی از مشهورترین روشهای انتخاب مواد، روش اشبی است. که در آن با توجه به عملکرد ماده، معیار طراحی در نظر گرفته شده و با استفاده از دیاگرامهای اشبی انتخاب ماده صورت می‌گیرد. در این مقاله برخی از کاربردهای روش اشبی در انتخاب مواد مورد بررسی قرار گرفته شده است.

کلیدواژه: اشبی، طراحی مواد

## مقدمه

بر اساس تقسیم‌بندی اشبی مواد مهندسی به شش دسته بزرگ فلزات، پلیمرها، الاستومرها، سرامیکها، شیشه ها و هیبریدها طبقه بندی می‌شوند. رویکرد اشبی در طراحی و انتخاب مواد بدین صورت است که سه گروه نیازهای عملکردی<sup>۱</sup> پارامترهای ساختاری<sup>۲</sup> و خواص مواد<sup>۳</sup> را در نظر گرفته و برای طراحی بهینه به گونه ای این سه گروه  $p=f(F,G,M)$  با یکدیگر بایستی ارتباط برقرار کنند که پارامتر  $p$  حداکثر یا حداقل شود [1]. در ادامه مروری بر فعالیتهای انجام گرفته در زمینه انتخاب مواد بر اساس رویکرد اشبی گزارش شده است.

به علت توسعه سریع سیستمهای میکرو الکترومکانیکی<sup>۴</sup> (MEMS)، تکنولوژی و تعداد زیادی از کاندیدهای مواد، انتخاب مواد برای قطعات MEMS به یک رویکرد سیستماتیک نیاز دارد. توسعه سریع این تکنولوژی در جهت ادغام عناصر، سنسورها و محرک ها<sup>۵</sup> و

<sup>1</sup> The functional requirements (F)

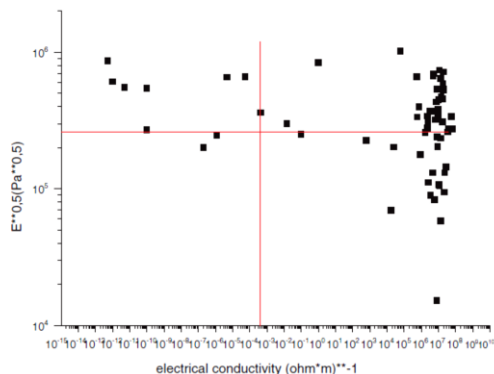
<sup>2</sup> The geometric parameters (G)

<sup>3</sup> The material properties (M)

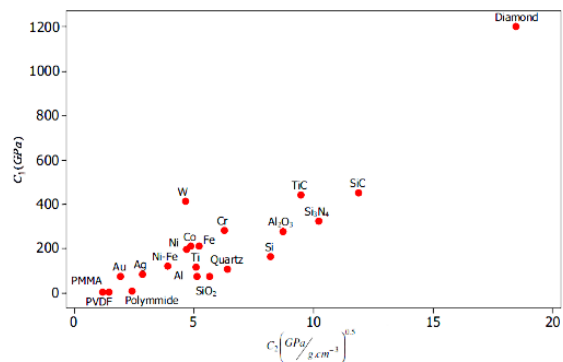
<sup>4</sup> Micro electro mechanical systems

<sup>5</sup> Actuator

الکترونیکها با ابعاد میلی متر تا نانومتر صورت می‌گیرد. محرکهای الکترواستاتیکی MEMS در کاربردهای گوناگونی از قبیل کلید برق، نمایشگرها و شیرها مورد استفاده قرار می‌گیرند. بسته به نوع کاربرد فاکتورهای بسیاری از قبیل ولتاژ، سرعت و نیروی تحریک برای طراحی این قطعات مهم هستند [2]. آقای Yazdani و همکاران [3] از رویکرد اشبی برای انتخاب مواد جهت ساخت محرک های سیستمهای میکرو الکترومکانیکی با نیرو و سرعت تحریک بالا بهره گرفته‌اند. دو معیار مدول یانگ E و سرعت محرک که ارتباط مستقیمی با فرکانس دارد و بر اساس معادله فرکانس زاویه ای فنر سرعت محرک با جذر نسبت مدول یانگ به چگالی  $\sqrt{\frac{E}{\rho}}$  متناسب است در طراحی مدنظر قرار گرفته شده است.



ب



الف

شکل ۱- دیاگرامهای اشبی طراحی سیستم های میکروالکترومکانیکی الف - بر اساس مدول یانگ و سرعت محرک، ب- بر اساس مدول یانگ و مقاومت الکتریکی

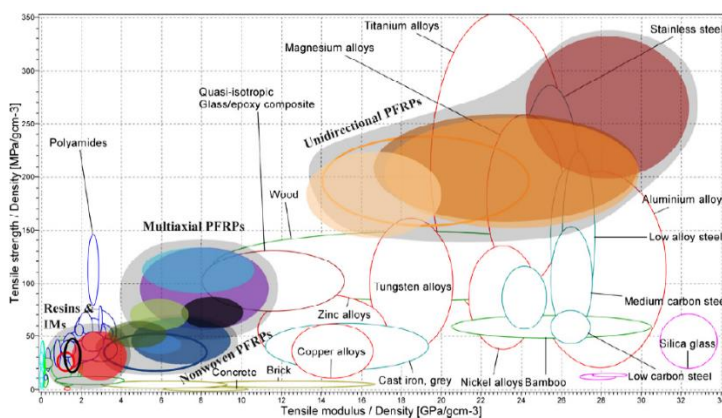
همانطور که در شکل (۱- الف) مشاهده می شود بر اساس این دو معیار الماس و سیلیکون کارباید بهترین انتخاب ها هستند. علاوه بر جنس ماده شکل و مورفولوژی آن نیز در خواص ماده بسیار تاثیر گذار است. آقای Guisbiers و همکاران [4] از رویکرد اشبی برای انتخاب ماده صفحات بالایی سویچ های فرکانس رادیویی MEMS-RF switch با توجه به رویکرد اشبی حداقل مقدار پارامتر  $\sqrt{E}/\rho - 1$  را در نظر گرفتند. E مدول یانگ و  $\rho$  مقاومت الکتریکی است. نوع MEMS-RF را می توان به صورت دو صفحه رسانای موازی یا خازن در نظر گرفت که صفحه بالایی متحرک و صفحه پایینی ثابت است. هنگام اعمال ولتاژ DC در بین صفحات یک نیروی الکتریکی پدید می آید هنگامی که ولتاژ به یک مقدار Pull-in voltage می رسد صفحه بالایی collapse با صفحه پایینی اتصال برقرار میکند (ولتاژ Pull in متناسب است با  $\sqrt{E}$  ( جذر مدول یانگ)). بر اساس این معیار در گوشه سمت راست و بالای شکل (۱-ب) مواد مناسب از قبیل طلا Au، مس Cu، منیزیم Mg، کلسیم Ca، سدیم Na، پتاسیم K و روبیدیوم Rb قرار گرفته اند. که البته مواد بسیار فعال منیزیم و پتاسیم و روبیدیوم حذف شده بنابراین طلا و مس و نقره را می توان برای طراحی ماده صفحات MEMS-RF Switch مورد استفاده قرار داد.

آقای Shah [5] تحقیق جامعی را در زمینه روش انتخاب مواد اشبی برای تولید پلاستیکهای تقویت شده با گیاه<sup>۶</sup> ارائه داده اند در این تحقیق مقایسه خواص این پلیمرها با مواد دیگر مهندسی ارائه شده است (شکل ۲- الف) PFRP ها را می توان بر اساس افزایش خواص کششی به زیرگروههای مشخصی تقسیم بندی نمود PFRP های قالبگیری تزریقی شده بر پایه فیبرهای کوتاهکه خواص مکانیکی آنها پایین است، PFRP های بر پایه تقویت کننده های بافته نشده ( فیبرهای کوتاه به صورت اتفاقی جهت گیری

<sup>6</sup> Plant fibre reinforced plastics (PFRPs)

شده)، PFRP هایی بر پایه تقویت کننده های بافت چند محوره (مانند بافت های دو محوره) و ۴-PFRP های تک جهته . بنابراین شکل تقویت کننده از نظر طول فیبر و جهت گیری آن، اثر تعیین کننده ای دارد بر خواص PFRP دارد.

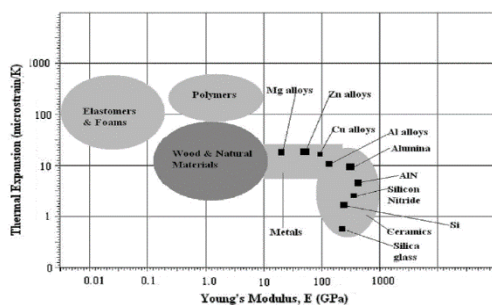
در زمینه انتخاب مواد مناسب برای ساخت گرماخورها<sup>۷</sup> ی میکروالکترونیک آقای Reddy و همکاران [6] رویکرد اشبی را جهت بهبود راندمان پاسخ های حرارتی، مکانیکی مورد بررسی قرار داده اند. رایج ترین و معمول ترین طرح گرماخور (شکل ۲-ب) قطعه فلزی با تعداد زیادی فین<sup>۸</sup> است که در نتیجه سطح زیاد ایجاد شده به علت فین ها هدایت حرارتی بسیار سریع انجام می گیرد. وظیفه گرماخور، خنک کردن از طریق انتقال مناسب و پربازده انرژی حرارتی یا گرمایی از یک قطعه نسبتا دما بالا به قطعه دوم با دمای پایین تر و با ظرفیت گرمایی بسیار بزرگتر می باشد. در اثر انتقال سریع انرژی حرارتی سریعا قطعه اول در تعادل حرارتی با قطعه دوم قرار گرفته و دمای قطعه اول کاهش می یابد [7]. گرماخور بایستی یک عایق خوب باشد اما در عین حال حداکثر قابلیت هدایت حرارتی  $\lambda$  را نیز داشته باشد تا بتواند با حداکثر سرعت، گرما را از چیپ الکترونیکی خارج کند. بنابراین در رویکرد اشبی دو قید بدین صورت تعریف شدند که مواد منتخب بایستی دارای مقاومت بیشتر از  $10^{19} \mu\Omega m$  باشند و تمامی ابعاد مشخص باشد. همان طور که در شکل (۲-پ) مشاهده می شود نیتريد آلومینیوم (AlN) یا آلومینا ( $Al_2O_3$ ) از نظر معیارهای برگزیده شده پاسخ حرارتی، مناسب ترین مواد می باشند. همچنین برای بهبود راندمان پاسخ مکانیکی گرماخور، بایستی از موادی با حداکثر مدول یانگ و هدایت حرارتی استفاده کرد. همچنین به منظور حداقل کردن تنش حرارتی در قطعه، بایستی ضریب انبساط حرارتی قطعه نیز کنترل شود. برای موادی با مقادیر بالای مدول یانگ و مقدار ضریب انبساط حرارتی بایستی نه خیلی زیاد و نه خیلی کم باشد. از دیگرام ضریب انبساط حرارتی بر حسب مدول یانگ (شکل ۲-ت) می توانیم استنتاج کنیم که Al، AlN،  $Al_2O_3$  و حتی آلیاژهای مس و روی می توانند بهترین انتخابهای مواد برای گرماخورها باشند. برای آلومینیوم، مقدار ضریب هدایت حرارتی همرفتی با افزایش دما، افزایش می یابد.



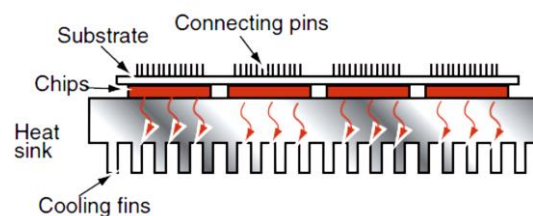
الف

<sup>7</sup> Heat sink

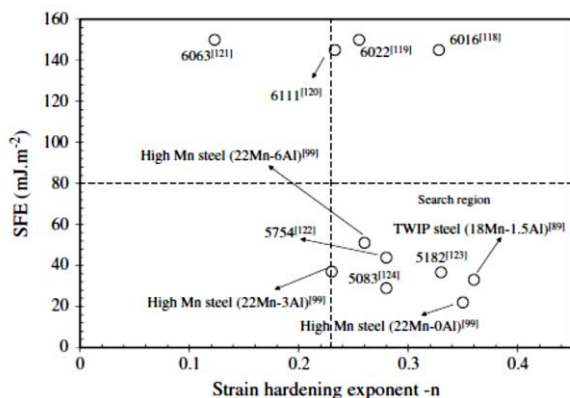
<sup>8</sup> Fin



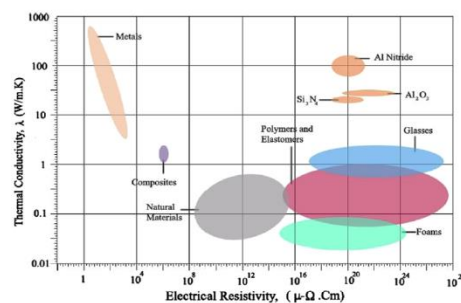
ب



ب



ث



ت

شکل ۲ - الف- دیاگرام اشبی مقایسه استحکام کششی و مدول یانگ مواد PFRP با سایر مواد مهندسی- ب- طرح شماتیک گرماتور، پ - دیاگرام اشبی برای بررسی پاسخ حرارتی گرماتور، ت- دیاگرام اشبی برای بررسی پاسخ مکانیکی گرماتور، ث- دیاگرام اشبی بررسی دوخاصیت انرژی نقص در چیده شدن و توان کارسختی برای قطعات بدنه اتومبیل

پیشرفتهای اخیر در زمینه قطعات مختلف بدنه وسایل نقلیه در جهت کاهش وزن اتومبیل صورت گرفته است تا مصرف سوخت کاهش یابد و بنابراین در نتیجه آن نشت گازهای گلخانه ای کاهش یابد. فولادهای با استحکام بالای پیشرفته<sup>۹</sup> و آلیاژهای آلومینیوم در این زمینه بسیار مورد توجه قرار گرفته شده اند برای تهیه این قطعات از فرایندهای پرسکاری ورقهای فلزی به خصوص پرسکاری گرم<sup>۱۰</sup> استفاده می شود. بایستی طی این فرایند هندسه پیچیده بدنه قطعه تامین شده، ضخامت بدنه به مقدار مطلوبی کاهش یافته و همچنین استحکام مکانیکی کافی حاصل شود [8]. آقای Antunes و همکاران [9] بر اساس رویکرد اشبی به بررسی انتخاب ماده مورد نیاز برای فرایند پرسکاری گرم بدنه اتومبیل پرداخته اند. این مواد بایستی هم خواص شکل پذیری و هم خواص مکانیکی مناسبی داشته باشند. فولادهای با استحکام بالا نقش مهمی را در این زمینه ایفا می کنند. معیار انتخاب ماده بر اساس شکل پذیری آلیاژها (طریق دو مشخصه بنیادی مواد، توان کارسختی و انرژی نقص در چیده شدن) تعیین شد. از این رو شاخص نسبت  $n/SFE$  به عنوان معیاری برای انتخاب ماده در نظر گرفته شد. کاندیدهای نهایی موادی هستند که حداکثر این نسبت را دارا می باشند زیرا فلزات بسیار داکتیل و نرم دارای مقادیر بالای توان کارسختی<sup>۱۱</sup>  $n$  و مقادیر پایین انرژی نقص در چیده شدن<sup>۱۲</sup>  $SFE$  هستند.

<sup>9</sup> Advanced high strength steels (AHSS)

<sup>10</sup> Hot Stamping

<sup>11</sup> Strain Hardening exponent

<sup>12</sup> Stacking fault energy

همچنین نرخ کارسختی برای موادی با SFE پایین افزایش می یابد. SFE تاثیر مهمی بر خواص مکانیکی آلیاژهای فلزی دارد. با کاهش SFE استحکام افزایش می یابد. با توجه به قیدهای در نظر گرفته شده (استحکام نهایی ( $\sigma_u$ ) بیشتر از 210MPa و چقرمگی شکست KIC بیشتر از  $20\text{MPam}^{1/2}$ ) و دیاگرام اشبی (شکل ۲-ث) مواد مناسب در قسمت راست و پایین نمودار قرار می گیرند. بهترین انتخابها فولادهای آستنیتی با منگنز بالا و آلیاژهای آلومینیوم سری 5xxx و 6xxx هستند.

تحقیقات دیگری نیز با استفاده از رویکرد اشبی صورت پذیرفته است برای مثال آقای Lopes و همکاران [10] از این روش برای انتخاب ماده صفحات دو قطبی غشاهای الکترولیتی پلیمری در پیل سوختی<sup>۱۳</sup> (که یکی از مهمترین انواع پیل سوختی است)، بهره جسته اند. دوما ساله مهم در رویکرد اشبی در انتخاب این مواد به حداقل رسانیدن چگالی جریان خوردگی و مقاومت فصل مشترک در صفحه است. نتایج این طور نشان داد که پوشش های حاوی کروم Cr پوشش های مناسبی برای لایه های روبین صفحات دو قطبی فلزی می باشند. همچنین آقای Chauhan و همکاران [11] از تکنیک روش اشبی برای انتخاب مواد پوشش سخت استفاده کرده اند. جداول انتخاب مواد رویکرد اشبی مورد استفاده قرار گرفته شده است برای انتخاب مواد پوشش سخت با استفاده از دو پارامتر H سختی و مدول یانگ E انتخاب مواد انجام شد. کربن به عنوان مطلوبترین ماده و اکسید منیزیم MgO حداقل ماده مطلوب تحت مطالعه هستند. می دانیم که جان امروز به طور پیوسته (مدام) در تلاش و کوشش است تا به سمت تکنولوژی انرژی های خنثی تمیز کربنی<sup>۱۴</sup> سوق پیدا کند. این رو، منابع انرژی تجدید پذیر مانند سیستم نیروی باد بسیار مورد توجه بشر قرار گرفته شده است. آقای Rashedi و همکاران [12] از تکنیک رویکرد اشبی برای طراحی ماده جهت ساخت توربین بادی بهره جستند. یک توربین بادی در طول عمر ۲۰ ساله و عملکرد ۴۰۰۰ ساعت متحمل بار های ایرودینامیک متلاطم بسیار شدیدی شده و همچنین تحت چرخه های تنش ناشی از فرایند خستگی (تقریبا  $10^8$  چرخه در شرایط چرخش 30-70rpm) قرار می گیرد. نتایج رویکرد اشبی حاکی از آن است که دو کامپوزیت پلیمر اتر کتون با مدول متوسط و حاوی فیبر کربنی<sup>۱۵</sup> و کامپوزیت اپوکسی استحکام بالا حاوی فیبر کربنی<sup>۱۶</sup> مواد مناسبی برای ساخت پره های توربین بادی هستند.

نتیجه گیری

با استفاده از رویکرد اشبی، می توان در جهت بهبود فرایند طراحی محصول و تولید آن، با ضریب اطمینان بسیار بالاتری، مرحله انتخاب مواد را انجام داد. از این رو اگر در جریان تولید یک محصول، روشهای تولید بر پایه ارزیابی های مکرر (صحیح و خطا) با روش اشبی جایگزین شوند، در هزینه های تولید بسیار صرفه جویی خواهد شد.

مراجع

[۱] . ۲۰۰۵، Pergamon Press، Materials Selection in Mechanical Design، M. F. Ashby

<sup>13</sup> Polymer electrolyte membrane (PEM)

<sup>14</sup> Carbon neutral clean energy technology

<sup>15</sup> Intermediate modulus (IM) carbon fiber reinforced polyether ether ketone (PEEK) composite (PEEK/IM Carbon)

<sup>16</sup> Epoxy/high strength carbon fiber reinforced Epoxy (Epoxy / HS carbon)

- [۲] *IEEE Transactions on Microelectromechanical Systems* "Electrostatically actuated gas microvalve based on a Ta-Si-N membrane" G. B. G. M. d. R. N. Dubois P. ۵۳۸-۵۳۰pp. ، ۲۰۰۱ *International Conference on Micro Electro Mechanical Systems*
- [۳] A comparative study on material selection of microelectromechanical systems electrostatic " A. F. P. Morteza Yazdani .۲۰۱۴ *Materials and Design* "actuators using Ashby, VIKOR and TOPSIS
- [۴] "Materials selection for thin films for radio frequency microelectromechanical systems" O. V. O. M. W. G. Guisbiers .۲۰۰۷ ، ۱۹۹۷-۱۹۹۴pp. ، المجلد ۲۸ ، *Materials and Design*
- [۵] *Materials and Design* "Natural fibre composites: Comprehensive Ashby-type materials selection charts" D. U. Shah .۲۰۱۴
- [۶] "Material selection for microelectronic heat sinks: An application of the Ashby approach" N. G. G. Prashant Reddy .۲۰۱۰ ، ۱۱۷-۱۱۳pp. ، المجلد ۳۱ ، *Materials and Design*
- [۷] (nd ed. Oxford (UK) applications. & Engineering materials: an introduction to their properties J. D. Ashby MF ..۱۹۹۶ ، Heinemann–Butterworth
- [۸] Optimization evaluation test of strength and toughness parameters for hot-rolled high strength steels " L. J.-D. C. Y. T. X.-H. H. P. Z. K.-M. Ying L .۲۰۱۳ ، ۵۱-۲۰pp. ، المجلد ۶ ، *Iron Steel* "stamped high strength steels
- [۹] Materials selection for hot stamped automotive body parts: An application of the Ashby approach based on the strain hardening exponent and stacking fault energy of materials " M. C. L. d. O. Renato Altobelli Antunes *Materials and Design* "the Ashby approach based on the strain hardening exponent and stacking fault energy of materials .۲۰۱۴ ، ۲۵۶-۲۴۷p. ، المجلد ۶۳ ، *Design*
- [۱۰] Materials selection for bipolar plates for polymer electrolyte membrane fuel cells using the Ashby approach " G. R. A. A. Mara Cristina Lopes de Oliveira *Journal of Power Sources* "fuel cells using the Ashby approach .۲۰۱۲ ، ۱۳-۳p. ، المجلد ۲۰۶ ،
- [۱۱] Hard coating material selection using multi-criteria decision making " R. V. Aditya Chauhan *Materials and Design* "Hard coating material selection using multi-criteria decision making" R. V. Aditya Chauhan .۲۰۱۳ ، ۲۴۵-۲۴۰pp. ، ۴۴
- [۱۲] Multi-objective material selection for wind turbine blade and tower: Ashby's approach " T. A. Rashedi . Sridhar *Materials and Design* "Multi-objective material selection for wind turbine blade and tower: Ashby's approach" T. A. Rashedi . Sridhar .۲۰۱۲ ، ۵۳۲-۵۲۱pp. ، المجلد ۳۷ ،
- [۱۳] Micromachined low-loss microwave switches " C. S. E. S. D. D. G. C. Yao ZJ *Microelectromechanical Systems* "Micromachined low-loss microwave switches" C. S. E. S. D. D. G. C. Yao ZJ .۱۹۹۹ ، ۱۳۴-۱۲۹pp. ، المجلد ۸ ،
- [۱۴] Materials selection for microfabricated electrostatic actuators. Sensor Actuator " S. S. M. s. f. m. e. a. S. A. A.-P. Sirkar VT *Physica Scripta* "Materials selection for microfabricated electrostatic actuators. Sensor Actuator" S. S. M. s. f. m. e. a. S. A. A.-P. Sirkar VT .۲۰۰۳ ، ۱۰۲p. ، المجلد ۲۷۹-۲۸۵ ،