

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

کاربرد سرامیک‌ها در

مهندسی پزشکی

تألیف:

دکتر فتح‌الله مضطرزاده

استاد دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

دکتر ژامک نورمحمدی

بهار ۱۴۰۱

سرشناسه	مضطرزاده، فتح الله، ۱۳۲۵ - ، گردآورنده.
عنوان و نام پدیدآور	کاربرد سرامیک ها در مهندسی پزشکی / تألیف فتح الله مضطرزاده، ژامک نورمحمدی.
مشخصات نشر	تهران: دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، مرکز نشر، ۱۳۹۰.
مشخصات ظاهری	۳۷۶ ص.: مصور (رنگی).
شابک	۹۷۸-۹۶۴-۴۶۳-۲۸۴-۶
وضعیت فهرست نویسی	فیپا
یادداشت	چاپ دوم.
یادداشت	چاپ قبلی: دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، ۱۳۸۴.
موضوع	سرامیک.
موضوع	Ceramics
موضوع	مهندسی پزشکی.
موضوع	Biomedical engineering
شناسه افزوده	نورمحمدی، ژامک، ۱۳۴۳ - ، گردآورنده.
شناسه افزوده	دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران). مرکز نشر.
شناسه افزوده	Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic). Publishing Center.
رده بندی کنگره	TP ۸۰۷/م۵۶ ک ۱۳۹۰
رده بندی دیویی	۶۶۶
شماره کتابشناسی ملی	۲۳۸۸۰۰۴

این کتاب در جلسه مورخ ۱۳۸۴/۰۶/۱۵ شورای چاپ و نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر به تصویب رسیده است.



انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

عنوان کتاب	کاربرد سرامیک ها در مهندسی پزشکی
تألیف	فتح الله مضطرزاده، ژامک نورمحمدی
ناشر	انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
لیتوگرافی، چاپ و صحافی	انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
چاپ چهارم	بهار ۱۴۰۱
قیمت	۱۳۰۰۰۰ تومان
تیراژ	۳۰۰
شابک	۹۷۸-۹۶۴-۴۶۳-۲۸۴-۶
	ISBN : 978-964-463-284-6

آدرس مرکز پخش: خیابان ولیعصر، روبروی خیابان بزرگمهر، فروشگاه کتاب مرکز نشر

دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران) - تلفن: ۶۶۴۹۸۸۶۸

وبسایت: <http://publication.aut.ac.ir>

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

پیشگفتار

سالیان درازی است که سرامیک و شیشه به عنوان شیشه عینک، وسائل تشخیص بیماری، ظروف آزمایشگاهی، دماسنج‌ها، فلاسک‌های کشت بافت و الیاف نوری جهت آندوسکوپی به کار می‌روند. در اواخر دهه ۱۹۶۰، انقلاب عظیمی در استفاده از سرامیک‌ها برای بهبود نحوه زندگی بشر رخ داده است. این انقلاب استفاده ابتکاری از سرامیک‌هایی با طراحی خاص، در ترمیم و نوسازی اعضاء معلول یا مصدوم بدن می‌باشد.

عصر نوین و پیشرفت بیوسرامیک‌ها از سال ۱۹۶۳ آغاز می‌شود هنگامی که شخصی به نام Smith، استخوان را با ماده‌ای به نام سروزیوم (ترکیبی از آلومینای متخلخل و رزین اپوکسی) جایگزین کرد و در عین حال ۴۸٪ تخلخل را - مانند استخوان معمولی - باقی گذاشت. از دهه ۱۹۷۰، Hench و همکارانش، ارزیابی بیوسرامیک‌هایی با سطوح فعال و اکشن‌دهنده با بدن را آغاز کردند که نخستین آن‌ها بیوگلس‌ها بودند. از آن پس شیشه - سرامیک‌ها نیز مورد توجه فراوان قرار گرفتند و تاکنون نیز هم چنان مورد توجه قرار دارند.

امروزه بیوسرامیک‌ها به دلیل پایداری حرارتی و شیمیایی، استحکام و مقاومت به سایش بالا، ظاهر زیبا و مناسب و زیست سازگاری عالی از جایگاه رفیعی برخوردار هستند و در شکل‌های مختلفی نظیر تک‌کریستال، پلی‌کریستال، کامپوزیت و پوشش مورد استفاده قرار می‌گیرند. تنها نکته‌ای که کاربرد این مواد را محدود می‌سازد، تردی آن‌ها می‌باشد که تمام تلاش‌های محققان در صدد رفع این عیب و بهبود چقرمگی این مواد صورت می‌گیرد.

هدف از نگارش این کتاب، فراهم کردن مقدماتی برای تهیه یک سری مطالب ساده جدید و بررسی دقیق جوانب مختلف کارکرد سرامیک‌ها در مهندسی پزشکی است برای رسیدن به این هدف، مطالب کتاب به نحوی تدوین شده که برای دانشجویان سطوح مختلف در رشته‌های مهندسی پزشکی به ویژه بیومواد قابل استفاده است.

کتاب حاضر شامل هفت فصل است که در نگارش آن تلاش شده تا به کمک اصول ابتدایی مروری بر بیوسرامیک‌ها و کاربرد آنها بررسی شود. در فصل ابتدایی کتاب، در رابطه با پیوندهای شیمیایی و ساختار مواد بحث شده است. در دو فصل دوم و سوم، اصول کلی

فرایندهای شکل دهی و ساخت سرامیک ها، خواص مکانیکی، الکتریکی، حرارتی و نوری آنها توضیح داده شده است. در فصول چهارم تا هفتم، مروری بر انواع بیوسرامیک ها اعم از خنثی، بیواکتیو و قابل جذب و کاربردهای آنها ارائه شده است. در خاتمه لازم می دانیم از کوششهای خالصانه و مستمر سرکار خانم آرزو ربیعی و سرکار خانم مهندس معصومه حق بین نظر پاک که ما را در تهیه و جمع بندی این کتاب یاری کرده اند، نهایت تشکر و سپاسگزاری را بنماییم.

فتح ا... مضطرزاده

ژامک نورمحمدی کوهانستانی

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۱	فصل اول: ساختار مواد
۱	۱-۱- پیوندهای شیمیایی
۲	۱-۱-۱- پیوند یونی
۵	۱-۲- پیوند کووالانسی
۶	۱-۳- پیوند فلزی
۷	۱-۴- پیوند واندروالس (دو قطبی لحظه‌ای)
۷	۱-۵- پیوند هیدروژنی
۸	۱-۶- قطبی دائم
۸	۲-۱- ساختمان‌های کریستالی
۱۰	۱-۲-۱- تعداد اتم‌های متعلق به هر شبکه واحد
۱۰	۲-۲-۱- ساختمان کریستالی فلزات
۱۴	۳-۲-۱- ساختارهای سرامیکی
۱۴	۱-۳-۲-۱- جامدات کووالانسی
۱۵	۲-۳-۲-۱- جامدات یونی
۱۹	شبکه ترکیبات با فرمول AB
۲۱	شبکه ترکیبات با فرمول A_2B_3
۲۲	شبکه ترکیبات با فرمول ABC_3 (ساختار پروسکایت)
۲۲	شبکه ترکیبات با فرمول AB_2O_4 (ساختار اسپینل)
۲۳	شبکه ترکیبات با فرمول AB_2
۲۴	ساختارهای سیلیکاتی
۳۱	۳-۱- بی‌نظمی اتمی در جامدات

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۳۷	فصل دوم: فرایند ساخت سرامیک‌ها
۳۷	۱-۲- مقدمه‌ای بر سرامیک‌ها
۴۰	۲-۲- فرایند ساخت سرامیک‌ها
۴۱	۱-۲-۲- انتخاب و آماده‌سازی مواد اولیه
۴۶	۲-۲-۲- آماده‌سازی بدنه (تهیه پودر و روش‌های آن)
۴۷	الف- ستنز پودر از فاز مایع
۵۳	ب- ستنز پودر از فاز گازی
۵۶	ج- ستنز پودر از فاز جامد
۵۷	د- ستنز پودر از فاز گازی و جامد
۵۷	۲-۲-۳- شکل دادن سرامیک‌ها
۵۸	۲-۲-۳-۱- پرس
۶۴	۲-۲-۳-۲- ریخته‌گری
۶۹	۲-۲-۳-۳- روش‌های شکل‌دهی پلاستیک
۷۴	۲-۲-۴- خشک کردن
۷۷	۲-۲-۵- زینتر
۸۳	فصل سوم: خواص مواد
۸۳	۱-۳- خواص مکانیکی
۸۴	۳-۱-۱- مفاهیم پایه
۸۸	۳-۱-۲- تغییر شکل در ماده
۸۸	۳-۱-۲-۱- تغییر شکل الاستیک

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۸۹	مدول الاستیسیته
۹۱	عوامل موثر بر مدول الاستیسیته
۹۴	نحوه اندازه گیری مدول الاستیسیته
۹۵	مدول برشی
۹۶	ضریب پواسون
۹۷	۳-۱-۲- تغییر شکل پلاستیک
۹۹	مکانیزم تغییر شکل پلاستیک
۱۰۱	تغییر شکل پلاستیک در سرامیک‌ها
۱۰۶	۳-۱-۳- استحکام
۱۰۹	۳-۱-۴- استحکام سایشی
۱۱۰	۳-۱-۵- روش‌های افزایش استحکام در سرامیک‌ها
۱۱۳	۳-۱-۶- شکست
۱۱۹	۳-۱-۷- روش‌های افزایش چقرمگی شکست در سرامیک‌ها
۱۲۲	۳-۱-۸- عوامل موثر بر استحکام شکست سرامیک‌ها
۱۲۳	۳-۲- خواص حرارتی
۱۲۳	۳-۲-۱- ظرفیت گرمایی
۱۲۵	۳-۲-۲- انبساط حرارتی
۱۳۰	۳-۲-۳- هدایت حرارتی
۱۳۹	۳-۳- خواص نوری
۱۴۱	۳-۳-۱- شکست
۱۴۳	۳-۳-۲- بازتابش

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۱۴۵	۳-۳-۳- عبور
۱۴۶	۳-۳-۴- پراکندگی
۱۴۹	۳-۳-۵- جذب
۱۵۰	۳-۴- خواص الکتریکی
۱۵۰	۳-۴-۱- پدیده هدایت الکتریکی
۱۵۵	۳-۴-۲- نیمه هادی ها
۱۶۲	۳-۴-۳- هدایت یونی در بلورها
۱۶۵	۳-۴-۴- هدایت الکترونی بلورها
۱۶۶	۳-۴-۵- خواص دی الکتریک در سرامیک ها
۱۶۷	۳-۴-۶- خواص فروالکتریسته و مواد فروالکتریک
۱۶۷	۳-۴-۷- پایروالکتریسته
۱۶۸	۳-۴-۸- پیزوالکتریسته
۱۷۱	فصل چهارم: بیوسرامیک ها
۱۷۱	۴-۱- مقدمه
۱۷۵	۴-۲- بیوسرامیک های تقریباً خنثی
۱۷۶	۴-۲-۱- کربن
۱۸۷	۴-۲-۲- آلومینا
۱۹۶	۴-۲-۳- زیرکونیا
۲۰۸	۴-۳- بیوسرامیک های بیواکتیو
۲۰۹	۴-۳-۱- کلسیم فسفات ها
۲۲۰	۴-۳-۲- شیشه های بیواکتیو

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۲۲۹	۴-۳-۳- شیشه سرامیک‌های بیواکتیو
۲۳۲	الف- شیشه سرامیک‌های سیستم $\text{SiO}_2\text{-CaO-Na}_2\text{O-P}_2\text{O}_5$
۲۳۲	ب- شیشه سرامیک‌های A/W (آپاتیت - ولستونیت)
۲۳۹	ج- شیشه سرامیک‌های قابل ماشین کاری و فسفاتی
۲۴۵	۴-۴- سرامیک‌های زیست تخریب‌پذیر
۲۴۷	۴-۴-۱- تری کلسیم فسفات
۲۴۸	۴-۴-۲- سیمان‌های کلسیم فسفات قابل جذب
۲۵۵	فصل پنجم: بیوسرامیک‌های متخلخل
۲۵۵	۵-۱- مقدمه
۲۶۰	۵-۲- روش ساخت بدنه‌های سرامیکی متخلخل
۲۶۰	الف- اختلاط پودر سرامیکی با یک ماده آلی
۲۶۱	ب- روش اسفنج پلیمری
۲۶۲	ج- روش فومینگ
۲۶۴	د- جدایش فازی و اسیدشویی
۲۶۴	۵-۳- تهیه بدنه‌های هیدروکسی آپاتیت متخلخل
۲۶۴	الف- تهیه هیدروکسی آپاتیت متخلخل به روش زینتر
۲۶۵	ب- استفاده از سیمان هیدروکسی آپاتیت
۲۶۵	ج- فرایند هیدروترمال
۲۶۸	د- روش ریخته‌گری ژل
۲۶۸	ه- استفاده از ویسکرها‌های هیدروکسی آپاتیت
۲۶۸	۵-۴- کاربرد بیوسرامیک‌های متخلخل

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۲۶۸	سیستم‌های رهایش دارو
۲۶۹	مهندسی بافت
۲۷۳	ارتوپدی
۲۷۶	چشم پزشکی
۲۷۹	فصل ششم: بیوسرامیک‌های کامپوزیتی
۲۷۹	۱-۶- مقدمه
۲۸۳	۲-۶- کامپوزیت‌های خشتی
۲۸۳	۱-۲-۶- کامپوزیت کربن - کربن
۲۸۳	۲-۲-۶- کامپوزیت شیشه - آلومینا
۲۸۵	۳-۲-۶- کامپوزیت زیرکونیا - آلومینا
۲۸۶	۳-۶- کامپوزیت‌های بیواکتیو
۲۸۷	۱-۳-۶- کامپوزیت بیواکتیو پلیمر - سرامیک
۲۹۲	۲-۳-۶- کامپوزیت بیواکتیو سرامیک - سرامیک
۲۹۷	۳-۳-۶- کامپوزیت بیواکتیو فلز - سرامیک
۳۱۸	۴-۶- کامپوزیت‌های تخریب‌پذیر
۳۲۱	فصل هفتم: کاربرد سرامیک‌ها در پرتودرمانی
۳۲۱	۱-۷- مقدمه
۳۲۴	۲-۷- مواد مصرفی در پرتودرمانی
۳۲۶	۱-۲-۷- شیشه‌های تقریباً خشتی
۳۲۸	۲-۲-۷- شیشه‌های تخریب‌پذیر

فهرست مطالب

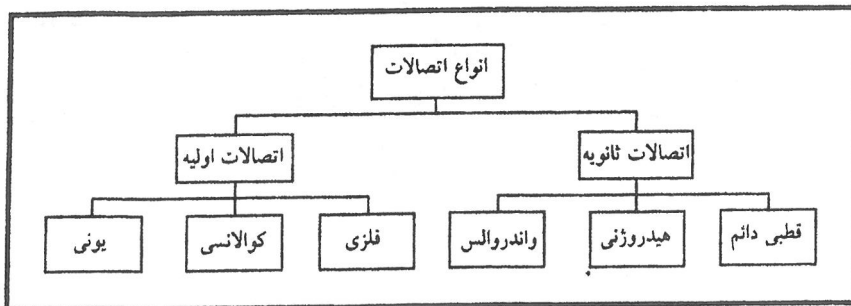
<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۳۳۰	۷-۳- فرایند ساخت میکروکره‌های شیشه‌ای مصرفی در پرتودرمانی
۳۳۲	۷-۴- خواص میکروکره‌های شیشه‌ای
۳۳۲	۷-۴-۱- پایداری شیمیایی
۳۳۳	۷-۴-۲- دانسیته و ضریب شکست
۳۳۵	منابع
۳۴۵	واژه‌نامه انگلیسی به فارسی
۳۵۱	فهرست راهنما

فصل اول

ساختار مواد

۱-۱- پیوندهای شیمیایی

اجسام جامد به دو صورت بلوری و یا آمورف وجود دارند. اتم‌های عناصر تشکیل دهنده اجسام جامد در فضای خود ثابت هستند و امکان تحرک آن‌ها بسیار کم است. بنابراین نوع پیوند شیمیایی و یا نیروهای بین اتمی در آن‌ها اثر متقابل عناصر را مشخص می‌کند و نظم فضایی آن‌ها ساختار جسم را نشان می‌دهد. به طور کلی پیوندهای شیمیایی را می‌توان به دو گروه کلی اولیه و ثانویه تقسیم‌بندی نمود، که هر یک به زیر گروه‌های دیگری تقسیم می‌شوند که در شکل (۱-۱) نشان داده شده است.



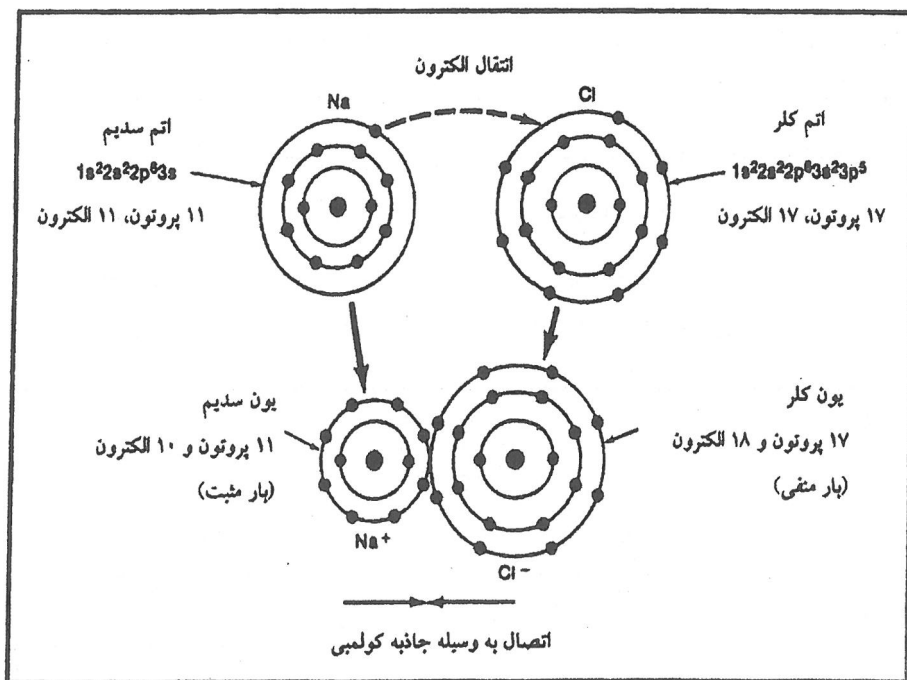
شکل (۱-۱): انواع پیوندهای شیمیایی

۱-۱-۱- پیوند یونی

پیوند یونی ساده‌ترین نوع پیوند است که در اثر انتقال الکترون از یک عنصر به عنصر دیگر ایجاد می‌شود. در تشکیل این نوع پیوندها، جهت‌گیری خاصی برای به وجود آمدن پیوند وجود ندارد در نتیجه، پیوند یونی یک پیوند غیرجهت‌دار و هم‌چنین غیراشباع شونده است. قدرت پیوند یونی به اندازه ذرات و بار موجود در آن‌ها بستگی دارد. هر چه اندازه ذرات کوچکتر باشد، پیوند قویتر است. در تشکیل این پیوند دو شرط می‌بایست حاصل شود:

۱- خنثایی الکتریکی بین عناصر

۲- قرار گرفتن یک عنصر در یک موقعیت خاص که به اندازه یون‌ها بستگی دارد، در نتیجه اندازه یون‌ها، مشخص‌کننده موقعیت قرار گرفتن آن‌ها در ساختمان الکترونی می‌باشد.



شکل (۱-۲) نحوه برقراری پیوند یونی در جامد NaCl [۱]

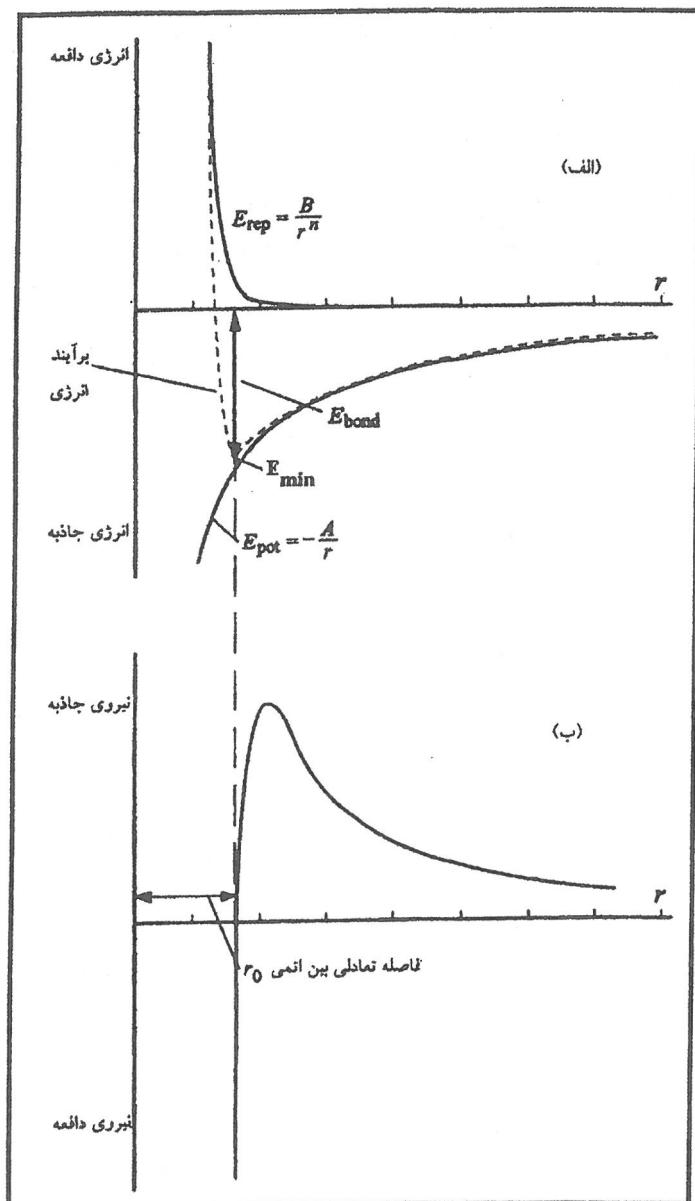
این پیوند معمولاً بین عناصری که دارای اختلاف الکترونگاتیویته زیاد هستند، تشکیل می‌شود [۱]. شکل (۱-۲) شمایی از نحوه برقراری پیوند یونی در جامد NaCl را نشان می‌دهد. به طور کلی می‌توان گفت که یون‌های سدیم و کلر تحت یک نیروی جاذبه الکترواستاتیک قوی به صورت پایدار به یکدیگر اتصال می‌یابند. در ابتدا یون‌ها تحت تأثیر نیروی جاذبه کولمبی به هم نزدیک می‌شوند و با کاهش فاصله بین دو اتم از میزان نیروی جاذبه کاسته می‌شود و بر میزان نیروی دافعه افزوده می‌شود. هنگامی که فواصل بین اتم‌ها به حد مشخصی رسید، مقادیر نیروهای دافعه و جاذبه با هم برابر و برایندهای نیروهای وارده بر اتم صفر می‌شود. در این حالت یون‌ها موقعیت محلی پایداری را به فاصله r_0 از یکدیگر کسب می‌کنند. (رابطه (۱-۱))

$$F_{net} = -\frac{z_1 z_2 e^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} - \frac{nB}{r^{n+1}} \quad (1-1)$$

z_2, z_1 = بار خالص

n, B = اعداد ثابت

از آنجائی که انرژی پتانسیل برابر حاصل ضرب نیرو در فاصله می‌باشد لذا به راحتی می‌توان انرژی پتانسیل اتصال یونی را به کمک روابط داده شده محاسبه نمود. شکل (۱-۳) نمودار انرژی پتانسیل را بر حسب فاصله نشان می‌دهد. همان طور که می‌بینیم در فاصله تعادلی r_0 انرژی پتانسیل حداقل مقدار خود را دارد که این امر حاکی از حالت تعادل پایدار بین دو یون می‌باشد و بنابراین برایندهای نیروها صفر است. [۲]



شکل (۳-۱): (الف) نمودار انرژی بر حسب فاصله در پیوند یونی

(ب) نمودار نیرو بر حسب فاصله در پیوند یونی [۲]