

# SID



ابزارهای  
پژوهش



سرویس ترجمه  
تخصصی



کارگاه های  
آموزشی



بلاگ  
مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری  
STES



فیلم های  
آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی



آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقالات ISI

آموزش مهارت های کاربردی  
در تدوین و چاپ مقالات ISI



روش تحقیق کمی

روش تحقیق کمی



آموزش نرم افزار Word برای پژوهشگران

آموزش نرم افزار Word  
برای پژوهشگران

مجموعه مقالات ششمین کنفرانس آب، پساب و پسماند  
 شماره شایک مقالات: ۲- ۴۷- ۸۰۴۵- ۶۰۰- ۹۷۸  
 سوم دی ۱۳۹۴، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما  
 ۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶  
 مجریان: ...  
 انجمن علمی مهندسه و پروتئی ایران  
 www.PASA



## کاربرد برنامه‌ریزی ژنتیک در محاسبه بازده جذب بیولوژیکی کادمیوم توسط جلبک‌ها

محبوبه دیرباز<sup>۱</sup>، علی اکبر روستا<sup>۲</sup>

دانشگاه صنعتی شیراز، دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز  
 m.dirbaz@sutech.ac.ir

### چکیده

انتشار فلزات سنگین در محیط زیست به دلیل صنعتی شدن شهرها باعث به خطر افتادن سلامت انسان‌ها و موجودات زنده می‌شود. کادمیوم به عنوان یکی از سمی ترین فلزات سنگین از مهمترین عوامل خطر برای سلامت موجودات به شمار می‌آید. از عوارض ناشی از تماس مستقیم این فلز و ترکیبات آن اختلال در عملکرد کلیه، انحطاط استخوان، آسیب‌های کبدی و خونی و سرطان گزارش شده است. برای جلوگیری از بروز این آسیب‌ها، ضروری است که راه حل مناسبی برای جذب فلزات سنگین و رساندن آنها به میزان مجاز برای ورود به محیط زیست ارائه گردد. جذب کادمیوم با استفاده از جاذب‌های زیستی مانند جلبک‌ها به دلیل اقتصادی بودن، دستیابی راحت و سازگار با استانداردهای محیط زیست از بهترین راه حل‌ها می‌باشد. دما، pH، غلظت اولیه فلز سنگین و غلظت اولیه جلبک به عنوان مؤثر ترین عوامل تأثیر گذار بر میزان جذب توسط جلبک‌ها به شمار می‌آید. در این تحقیق، به منظور تعیین درصد جذب کادمیوم توسط جلبک‌ها از روش برنامه‌ریزی ژنتیک (Genetic Programming) استفاده شده است. در این تحقیق، دما (T)، pH، نسبت غلظت اولیه فلز کادمیوم در محلول به غلظت اولیه جلبک به عنوان عوامل مؤثر بر درصد جذب (R%) مورد بررسی قرار می‌گیرد. میزان خطای نسبی متوسط ۳/۶۳٪ بین داده‌های تجربی و نتایج حاصل از مدل نشان می‌دهد که رابطه ارائه شده در این تحقیق قادر است میزان جذب کادمیوم توسط جلبک‌ها را به خوبی پیش بینی کند.

واژه‌های کلیدی: جذب بیولوژیکی، جلبک‌ها، روش برنامه‌ریزی ژنتیک

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی شیمی دانشگاه صنعتی شیراز
- ۲- استادیار دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز دانشگاه صنعتی شیراز



## ۱- مقدمه

یکی از مهم ترین مسایل دنیای امروز، آلودگی محیط زیست به فلزات سنگین سمی و خطرناک می‌باشد. کادمیوم که کاربرد گسترده ای در صنعت دارد به عنوان یکی از سمی ترین فلزات سنگین از مهمترین عوامل ایجاد این آلودگی است. این فلز از طریق پساب‌های فرآیندهای صنعتی به محیط زیست وارد می‌شود [۱]. منابع طبیعی انتشار کادمیوم عمدتاً شامل سنگ فسفات‌های دریایی، سنگ‌های رسوبی، دریاچه‌ها، آتشفشان‌های فعال، معادن و بسترهای سنگی حاوی آنها و جنگل سوزی می‌باشد [۲]. مصارف صنعتی کادمیوم در آب کاری، ذوب، جوش، کود آفت کش‌ها، تولید آلیاژ، رنگ رزی، پلاستیک، باتری‌ها، معدن و فرآیندهای پالایش است [۳]. طبق گزارش آژانس حفاظت محیط زیست ایالت متحده آمریکا (US Environmental Protection Agency) شواهد کافی برای سرطان زایی کادمیوم و ترکیبات آن در انسان وجود دارد. از عوارض ناشی از تماس مستقیم این فلز اختلال در عملکرد کلیه، انحطاط استخوان و آسیب‌های کبدی و خونی گزارش شده است [۴]. طبق استاندارد- های خروجی از فاضلاب‌ها در ایران میزان مجاز غلظت کادمیوم در پساب‌ها برای تخلیه به آب‌های سطحی ppm ۰/۱، برای تخلیه به چاه جذب ppm ۰/۱ و برای مصارف کشاورزی و آبیاری ppm ۰/۰۵ می‌باشد. حد مجاز بین المللی طبق سازمان بهداشت جهانی ppm ۰/۰۰۳ و آژانس حفاظت از محیط زیست ایالت متحده آمریکا ppm ۰/۰۰۵ می‌باشد [۵]. از آنجا که فلزات سنگین در طبیعت از بین نمی‌روند نیاز به روش‌هایی است که با استفاده از آن بتوان فلزات سنگین را از پساب‌ها جدا کرد [۶].

متداول ترین روش‌های حذف فلزات سنگین ته نشینی شیمیایی، تصفیه شیمیایی، جذب سطحی، تبادل یون، انعقاد و لخته سازی، فرآیندهای غشایی و روش‌های جذب بیولوژیکی می‌باشد. از بین فرآیندهای ذکر شده فرآیند ته نشینی شیمیایی به دلیل تولید مقادیر عظیم لجن و دشواری جداسازی، فرآیند تصفیه شیمیایی به علت زمان بر بودن، رسوب گیری، نیاز به سطح وسیعی از الکتروود و سرمایه اولیه بالا، فرآیند جذب سطحی با کربن فعال به جهت قیمت بالای کربن فعال و عدم قابلیت بازسازی، فرآیند تبادل یونی به دلیل رسوب گیری فلزات و حساسیت به ذرات، هزینه نگهداری و سرمایه اولیه بالا، فرآیند انعقاد و لخته سازی به علت مصرف بالای مواد شیمیایی و تولید لجن و فرآیندهای غشایی به جهت رسوب گیری غشاء، عمر مفید محدود غشاء، فشار بالا و نرخ جریان پایین امروزه کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرند [۷، ۸].

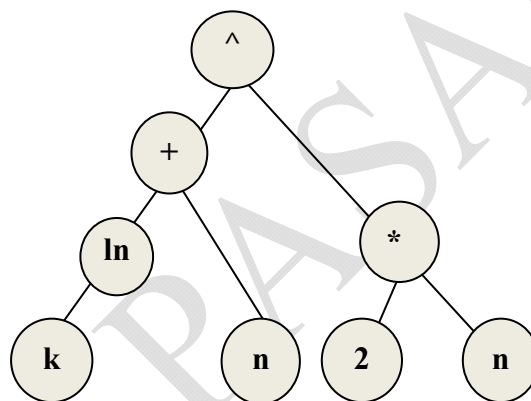
جذب بیولوژیکی فلزات سنگین، یک تکنولوژی نسبتاً جدید برای تصفیه پساب‌های صنعتی است و هدف از آن حذف فلزات سنگین و پاکسازی محیط زیست و هم چنین بازیافت فلزات با ارزش است. از مهم ترین مزایای تکنولوژی جذب بیولوژیکی می‌توان به ارزان بودن، موثر بودن آن در کاهش غلظت یون‌های فلز سنگین به مقادیر بسیار کم، قابلیت تولید مجدد جذب، عدم تولید لجن، امکان بازیافت فلز اشاره کرد [۹]. جاذب‌های بیولوژیکی متفاوتی برای جذب فلزات سنگین استفاده می‌شود که می‌توان به باکتری‌ها، مخمرها، قارچ‌ها و جلبک‌ها اشاره کرد. در این بین، جلبک‌ها به لحاظ اقتصادی، در دسترس بودن و جذب بیشتر فلز نسبت به بقیه توده‌های زیستی بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. ترکیب اصلی دیواره سلولی اکثر جلبک‌ها سلولز است و گروه‌های عامل تشکیل دهنده پیوند با فلزات سنگین در آنها شامل آمین، کربوکسیل، هیدروکسیل و سولفات می‌باشد که این امر موجب جذب بیشتر فلزات سنگین توسط جلبک‌ها می‌شود [۱۰].

در این تحقیق، از روش برنامه‌ریزی ژنتیک برای تعیین در صد جذب کادمیوم توسط جلبک‌ها استفاده شده است و در آخر روش برنامه‌ریزی ژنتیک با داده‌های تجربی مقایسه می‌شود.

## ۲- روش انجام کار



برنامه‌ریزی ژنتیک که در زمره‌ی الگوریتم‌های تکاملی محسوب می‌گردد، به عنوان روشی مناسب برای یافتن عبارات ریاضی که بتواند رفتار یک سری داده را توصیف کند به کار برده می‌شود. برنامه‌ریزی ژنتیک برای اولین بار در سال ۱۹۶۲ توسط باریسلی ابداع گردید. متعاقباً و در سالهای بعد، کرامر و کوزا با معرفی بیان نوین برنامه‌ریزی ژنتیک توسط ساختار درختی، موجب سهولت در استفاده‌ی این روش گردیدند که در نهایت منجر به استفاده‌ی وسیع از این الگوریتم تکاملی گردید. در حقیقت برنامه‌نویسی ژنتیک کاربردی از الگوریتم ژنتیک در برازش سمبلیک محسوب می‌گردد. در این روش همانند سایر الگوریتم‌های تکاملی، با استفاده از پروسه‌های همگذری و تکامل، سعی بر یافتن عملگرهای ریاضی مناسب برای ایجاد عبارت ریاضی مناسب می‌باشد. پس از حصول به عبارتی مناسب که بتواند داده‌های ورودی را با دقت دلخواه مدلسازی کند، پروسه پایان خواهد یافت. در حقیقت، در برنامه‌ریزی ژنتیک اطلاعات ورودی و خروجی مرتبط با آن را از قبل می‌دانیم و هدف یافتن برنامه‌ای است که آنها را به هم مرتبط می‌کند. شمایی از یک ساختار برنامه‌ریزی ژنتیک در شکل ۱ نشان داده شده است [۱۱].



شکل (۱) - ساختار درختی یک برنامه‌ریزی ژنتیک

داده‌های تجربی مورد نیاز در این تحقیق که شامل دما، pH، نسبت غلظت اولیه فلز کادمیوم در محلول به غلظت اولیه جلبک ( $C_0/M_0$ ) و درصد جذب ( $R\%$ ) می‌باشد که از منابع [۱۲-۱۵] استخراج شده‌اند. دما ( $T$ )، pH و نسبت غلظت اولیه فلز کادمیوم در محلول به غلظت اولیه جلبک ( $C_0/M_0$ ) به عنوان پارامترهای مؤثر بر درصد جذب ( $R\%$ ) مورد بررسی قرار می‌گیرد.

### ۳- بحث و نتایج

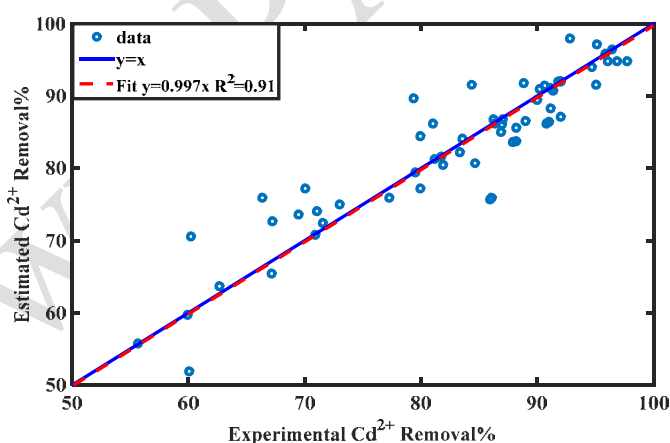
روش برنامه‌ریزی ژنتیک که در این پژوهش استفاده می‌شود به صورت سه ورودی شامل دما ( $T$ )، pH و نسبت غلظت اولیه فلز کادمیوم در محلول به غلظت جلبک ( $C_0/M_0$ ) و یک خروجی به صورت درصد جذب ( $R\%$ ) تعریف شده است. پس از سعی و خطاهای بسیار، بهترین تابعی که توسط برنامه‌ریزی ژنتیک برای تعدادی از داده‌های تجربی به دست آمد به صورت رابطه زیر می‌باشد:

فرمول (۱)

$$R\% = 31.547 \text{ pH} - \frac{0.0607 C_0 \text{pH}^4}{M_0 T} + \tanh\left(-T - \frac{C_0}{M_0} + \frac{\text{pH} C_0}{M_0}\right) - (0.000003245 T^4)^{\tanh\left(\frac{C_0}{M_0}\right)} - 2.3657 \text{pH}^2$$

نمودار مقایسه مقادیر درصد جذب حاصل از داده‌های تجربی با مقادیر بدست آمده از رابطه ارائه شده در این تحقیق، در شکل (۲) نشان داده شده است. طبق نتایج بدست آمده از این نمودار تطابق خوبی بین داده‌های تجربی و داده‌های محاسبه شده مشاهده می‌شود.

با استفاده از نتایج بدست آمده از این رابطه، پارامترهای مربوط به آنالیز آماری، از جمله حداقل خطای نسبی، خطای نسبی متوسط، حداکثر خطای نسبی و  $R^2$  (ضریب همبستگی داده‌ها) محاسبه و در جدول (۱) گزارش شده است. در شکل (۳)، به کمک رابطه ارائه شده در این تحقیق، اثر pH بر درصد جذب کادمیوم بررسی شده است. طبق این نمودار مناسب ترین pH جهت جذب فلز کادمیوم ۴/۵ می‌باشد. میزان جذب فلز کادمیوم در این pH بالای ۸۰٪ می‌باشد که بیشترین درصد جذب را به خود اختصاص داده است.

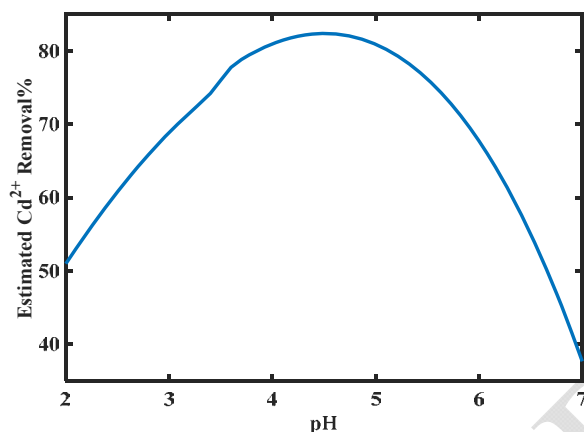


شکل (۲) - مقادیر درصد جذب داده های تجربی کادمیوم برحسب مقادیر درصد جذب به دست آمده از روش برنامه ریزی ژنتیک

جدول (۱) - مقادیر خطای بدست آمده برای رابطه (۱)

$R^2$	حداکثر خطای نسبی	خطای نسبی متوسط	خطای نسبی حداقل
۰/۹۱	۱۷/۲۲	۳/۶۳	۰/۰۰۳۷

مجموعه مقالات ششمین کنفرانس آب، پساب و پسماند  
 شماره شایک مقالات: ۲- ۴۷- ۸۰۴۵- ۶۰۰- ۹۷۸  
 سوم دی ۱۳۹۴، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما  
 ۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶  
 مجریان: هم اندیشان انرژی کیمیا و  
 انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران  
 www.PASAB.ir



شکل (۳) - نمودار تغییرات درصد جذب بر حسب pH

#### ۴- نتیجه گیری

در این تحقیق از روش برنامه ریزی ژنتیک جهت تخمین درصد جذب فلز کادمیوم با استفاده از پارامترهای دما (T)، pH و نسبت غلظت اولیه فلز کادمیوم در محلول به غلظت جلبک (C<sub>0</sub>/M<sub>0</sub>) استفاده شده است. طبق نتایج بدست آمده و ذکر شده در جدول (۱) درصد خطای نسبی به میزان قابل توجهی پایین و مناسب می‌باشد. همچنین تطابق بسیار خوب داده های تجربی و داده‌های روش برنامه‌ریزی ژنتیک که در نمودار شکل (۱) نشان داده شد گواه بر این است که روش برنامه ریزی ژنتیک جهت برآورد مقادیر درصد جذب فلز کادمیوم کاملاً دقیق می‌باشد.

#### علائم و متغیرها

T	دما
C <sub>0</sub>	غلظت اولیه فلز سنگین
M <sub>0</sub>	غلظت جلبک
R%	درصد جذب
R <sup>2</sup>	ضریب همبستگی داده

#### مراجع

[1] Azza M. A. A. , Nabila S. A. , Hany H. A.Gh. , Rizka K. A. , "Biosorption of cadmium and lead from aqueous solution by fresh water alga Anabaena sphaerica biomass" , 2013, 4, 367-374.



[۲] پورکیوانی نرگور پ. ، " روش‌های جذب فلزات سنگین توسط جلبک‌ها "، ۱۳۹۱، ۱۱.

[3] Bayramoglu G. , Yakup Arica M. , "Preparation of a Composite Biosorbent Using *Scenedesmus quadricauda* Biomass and Alginate/Polyvinyl Alcohol for Removal of Cu(II) and Cd(II) Ions: Isotherms, Kinetics, and Thermodynamic Studies", 2011, 221, 391-403.

[4] Ping X.Sh. , Ting Y.P. , Chen J.P. , Hong L. , " Sorption of lead, copper, cadmium, zinc, and nickel by marine algal biomass: characterization of biosorptive capacity and investigation of mechanisms", 2004, 275, 131-141.

[۵] طبیبیان س.م.ر. ، طرابی ا. ، نجف پور ع.ا. ، علی‌دادی ح. ، " بررسی روش‌های بیوجذب فلزات سنگین کروم و کادمیوم با استفاده از ضایعات کشاورزی (مطالعه مروری)" ، ۱۳۹۰، ۴.

[6] Kaewsarn P. , Yu Q. , "Cadmium(II) removal from aqueous solutions by pre-treated biomass of marine alga *Padina* sp.", 2001, 112, 209-213.

[۷] مرفع آ.، چراغچی و. ، " بررسی روش‌های حذف فلزات سنگین از پساب‌های صنعتی "، ۱۳۹۲، ۱۳.

[8] Siti Nur A.A. , Mohd Halim S. I., Md Lias K. , Shamsul I. , "Adsorption Process of Heavy Metals by Low-Cost Adsorbent: A Review", 2013, 28, 1518-1530.

[9] Herrero R. , cordero B. , Lodeiro P. , Rey Castro C. , Sastre de Vicente M.E. , "Interactions of cadmium(II) and protons with dead biomass of marine algae *Fucus* sp", 2006, 99, 106-116.

[۱۰] فولادی فر ر. ، عظیمی ع.ا. ، " ارزیابی تمایل جذب فلزات نیکل و کادمیم توسط توده زیستی حاصل از لجن فاضلاب در مقایسه با دیگر جاذب‌ها "، ۱۳۹۳، ۱۶، ۳۵-۴۹.

[11] Barricelli, Nils Aall. 1962. "Numerical Testing of Evolution Theories - Part I Theoretical Introduction and Basic Tests." Acta Biotheoretica 16(1-2):69-98.

[12] Narayanaswamy T. , Kumar S. , Krishnan K. , " Biosorption of Cr (VI), Cr (III), Pb (II) and Cd (II) from Aqueous Solutions by *Sargassum wightii* and *Caulerpa racemosa* Algal Biomass", 2012, 11, 52-58.

[13] Apiratikul R. , Madacha V. , Pavasant P. , "Kinetic and mass transfer analyses of metal biosorption by *Caulerpa lentillifera*", 2011, 278, 303-311.

[14] B. Sarada B. , Krishna Prasad M. , Kumar K.K. , Murthy Ch.V.R., " Cadmium removal by macro algae *Caulerpa fastigiata*: Characterization, kinetic, isotherm and thermodynamic studies", 2014, 2, 1533-1542.

[15] Sari A. , Tuzen M. , " Biosorption of cadmium(II) from aqueous solution by red algae (*Ceramium virgatum*): Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies", 2008, 157, 448-454.



مجموعه مقالات ششمین کنفرانس آب، پساب و پسماند  
شماره شایک مقالات: ۲-۴۷-۸۰۴۵-۶۰۰-۹۷۸  
سوم دی ۱۳۹۴، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما  
۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶  
مجریان: هم‌اندیشان انرژی‌کیما و  
انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران  
www.PASAB.ir



## Application of genetic programming in calculation of cadmium ion biosorption by algae

### Abstract

Release of heavy metal ions in the environment, due to the industrialization of the cities, has created several health risks for humans as well as other living organisms. Cadmium is considered to be one of the most toxic heavy metal ions. Amongst the several complications which would arise in case of direct ingestion of this heavy metal ion are disorders of kidneys, bone, liver and blood which could ultimately culminate in various cancers. These health risks underscore the necessity of devising appropriate methods for removing heavy metal ions and reducing their concentration in industrial effluents to the threshold limit concentration. Biosorption of cadmium by biological adsorbents like algae is considered to be one of the best solution because of low cost, high availability and conformity with environmental regulations. Temperature, pH, initial heavy metal and algae concentration are considered to be the most important parameters affecting the amount of adsorption of heavy metals by algae. In this work, Genetic Programming approach has been used to correlate the cadmium removal, to the aforementioned parameters. An AARD% of 3.63 between the experimental data and the estimated removal of cadmium demonstrate the reliability of the proposed model.

Keywords: biological adsorbents, algae, Genetic Programming



مجموعه مقالات ششمین کنفرانس آب، پساب و پسماند

شماره شایک مقالات: ۲-۴۷-۸۰۴۵-۶۰۰-۹۷۸

سوم دی ۱۳۹۴، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجریان: هم‌اندیشان انرژی‌کیما و

انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران

www.PASAB.ir



www.PASAB.ir

مجموعه مقالات ششمین کنفرانس آب، پساب و پسماند

شماره شایک مقالات: ۲-۴۷-۸۰۴۵-۶۰۰-۹۷۸

سوم دی ۱۳۹۴، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجریان: هم‌اندیشان انرژی‌کیما و

انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران

www.PASAB.ir



www.PASAB.ir

# SID



ابزارهای  
پژوهش



سرویس ترجمه  
تخصصی



کارگاه های  
آموزشی



بلاگ  
مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری  
STES



فیلم های  
آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی



تازه های آموزش  
آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقالات ISI

آموزش مهارت های کاربردی  
در تدوین و چاپ مقالات ISI



تازه های آموزش  
روش تحقیق کمی

روش تحقیق کمی



تازه های آموزش  
آموزش نرم افزار Word برای پژوهشگران

آموزش نرم افزار Word  
برای پژوهشگران