



موازنه ی جمعیت برای توصیف بزرگ شدن و کوچک شدن

494
MNR-511-2-00329A

*کارشناسی ارشد، گروه مهندسی شیمی، پدیده های انتقال، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

استناد به مقاله: کاکولوند، رضا، (1401). روش های موازنه ی جمعیت برای توصیف بزرگ شدن و کوچک شدن اندازه ذرات، نشریه علمی پژوهشی علم، فرهنگ و هنر، اول (اول)، 19-23.

چکیده

تاریخچه مقاله:

پذیرفته شده: 1401/4/02

در دسترس آنلاین: 1401/4/16

واژگان کلیدی: فرآیندهای تجمعی ذرات، موازنه جمعیت پیدایش و متلاشی شدن ذرات

در این مقاله ما ابتدا به صورت تخصصی چگونگی بزرگ شدن و کوچک شدن اندازه ذرات را پی می گیریم سپس هر کدام از این دو مقوله را تعریف کرده معادلات موازنه جمعیت ذرات را در بخش های مختلف شرح داده تغییرات اندازه ذرات را با گذشت زمان نشان میدهم، در مورد لایه مضاعف الکتریکی بحث می کنیم فرآیندهای مختلف ذرات مانند پیدایش، تجمع مرگ، متلاشی شدن، توده دار شدن، هسته دار شدن، شکست، چگونگی کوچک و بزرگ شدن ذرات و معادلات موازنه ذرات در محیط های گاز، مایع و جامد را بررسی می نماییم. تعادل جمعیت ذرات در بخش بررسی می شوند. بررسی موازنه جمعیت ذرات کاری بهینه در صنعت و تولید کودهای شیمیایی و غیره است.

1. مقدمه:

موازنه جمعیت ذرات معادله ای است که در آن میزان تراکم ذرات ذکر شده است و ممکن است این میزان در حالت تعادل را در یک حالت ویژه نشان دهد. این معادلات اغلب برای ذرات در محیط فازی (پیوسته) مهیا شده اند. بر معادله جمعیت ذرات طیف گسترده ای از روش ها حاکم است که در حالت خاص شکل تعدادی از ذرات در سیستم ظاهر و تعداد دیگر محو شود. وقتی که ذرات در حالت پیوسته به سر می برند و سپس فرایند ایجاد میشود و فرایند پایایی را با زمان ایجاد میکنند که به نرخ شکل گیری و ناپدید شدن انواع ذرات خاص تاثیر گذار است فرایند هایی مانند فرایند های همرفت که از حرکت همرفتی در حالت فضایی ذرات ناشی می شوند.

پژوهشهایی در زمینه مهندسی اندازه ذرات و نیروهای وارد بر ذرات به همراه ضریب پساها برج های حباب دار و حرارت

واره بر آنها توسط پژوهشگران انجام شده است [11-18]. تحقیقاتی در زمینه حرارت وارد بر لوله ها در شرایط مختلف توسط پژوهشگران شبیه سازی شده است [19-22]. توسط رضا کاکولوند موازنه جمعیت ذرات با معادلات حاکم و نیروهای وارد بر ذرات و حباب ها بررسی شده است [23-26]. فرآیندهای انتقال ذرات، انرژی و دما حاکم بر مواد و معادلات اندازه ذرات توسط پژوهشگران مرور شده است [27-32]. فرآیندهای تجمعی ذرات و پیدایش و متلاشی شده ذرات به همراه مروری بر ضرایب پسا در ذرات و حبابها توسط محققان ارائه شده است [33-36].

وقتی که ذرات از مرز های سیستم عبور می کنند تغییراتی را در تعداد کلی ذرات در سیستم به وجود می آورند. birth processes "فرایند پیدایش ذرات، روش های دیگری که این حالت خاص را نشان می دهد. Death processes "فرایند متلاشی شدن ذرات هستند.

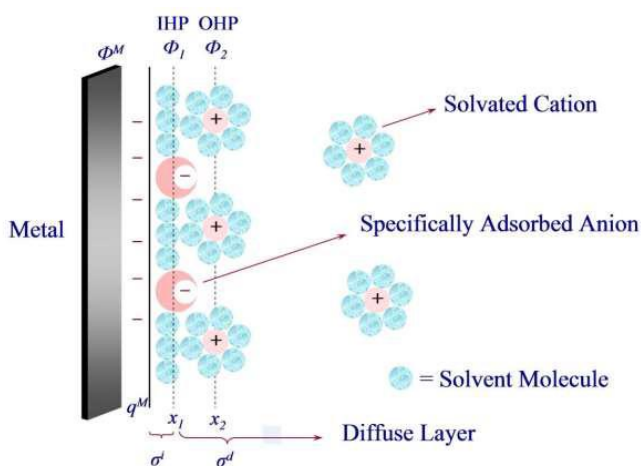
تعدادی از ذرات در هر ناحیه از فضا با یک چگالی خاص روی ناحیه خواسته شده هستند.

چگونگی بزرگ و کوچک شدن ذرات

برای درک این مطلب ابتدا باید به تشریح چند موضوع خاص بپردازیم:

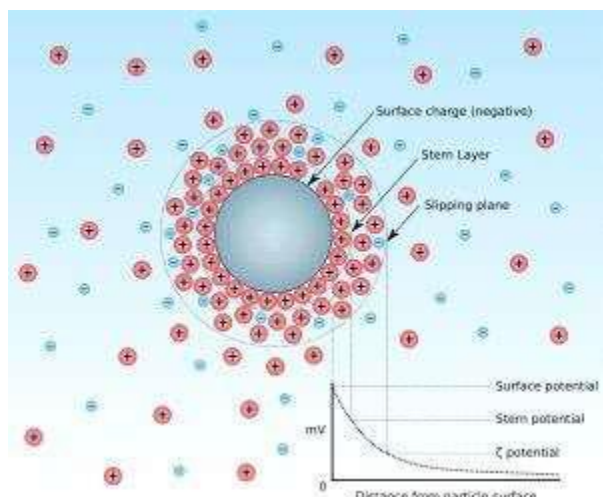
لایه مضاعف الکتریکی Electric Double Layer

Layer: لایه ای است که به دلیل باردار بودن سطح ذره یون های مخالف را جذب کرده تشکیل لایه ای از بار های الکتریکی مخالف روی سطح ذره می دهد.



شکل 1: لایه مضاعف الکتریکی

IEP (Iso Electric point): نقطه ای است که در آن بار الکتریکی سطح خنثی بوده در نتیجه لایه (Electric double layer) مضاعف الکتریکی در سطح ذره از بین میرود و نیروی جاذبه واندروالسی در ذرات وجود داشته که باعث تجمع و کلوخه شدن ذرات میشود پتانسیل Zeta در PH خاص ذره نسبت به محدوده کلی PH اسیدی و بازی خنثی در سطح ذرات صفر است.



شکل 2: IEP (Iso Electric point)

انتقال جدایی دارند، بنا بر این معادلات ناویر – استوکس با رینولدز متوسط (RANS) برای فاز گاز و فاز مایع بدین گونه نوشته می شود .

آغاز ذرات جدید می تواند به وسیله ی فرایندهای (breakage) یا شکست (Splitting) ، فرآیندهای تجمع (Aggregation) فرآیندهای توده دار شدن (Nucleation) و غیره ایجاد می شود.

فرایندهای شکست و تجمع برای نوعی از ذره که هر یک شکسته می شوند (به دیگر ذرات) یا وجودشان با ادامه رخداد فرآیند بزرگتر نمی شود موجب فرآیندهای Death می شوند. از آنجایی که فرایندهای همرفت مانند فرآیندهای Death و Breath هستند، پدیده شناسان از مدل های موازنه جمعیت راضی هستند. این مدل ها وابسته به رفتار انفرادی ذرات هستند.

در میان مهندسان مفهوم موازنه جمعیت برای مهندسان شیمی، شهر سازی، مکانیک و مواد مهم است. مهندسان شیمی موازنه جمعیت را با بیشترین تنوع به کار می برند.

کاربرد های موازنه جمعیت رنج گسترده ای از طیف سیستم های فازی را پوشش می دهند همانطوری که طیف های جامد-مایع با تاکید جزئی روی سیستم دی کریستالیزاسیون و طیف های گاز-مایع و گاز-جامد و مایع-مایع تحلیلگر آماده جداسازی برای ساختارهای مایع-مایع یا Leaching جامد-مایع هستند.

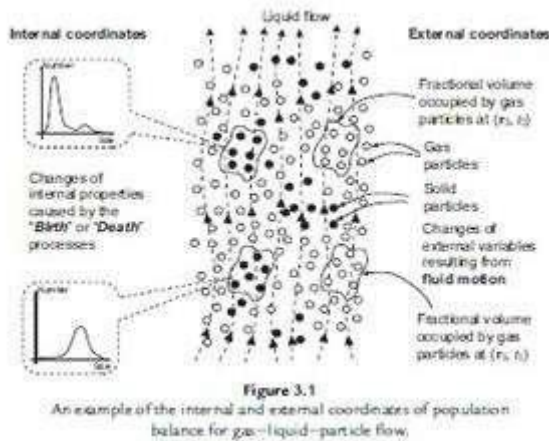
واکنشگرهای آماده مانند (فرآیند دی میکروبی ، بستر روان) واکنش دی کاتالیستی (راکتور فازی) انتقال در عرض Interface و واکنش هم معادلات موازنه حاکم هستند.

شکست ذرات یک پدیده پیچیده است . که در فرایند های (Comminution) آرد یا غبار کردن، برای کاهش اندازه ذرات و برای بالا بردن ناحیه سطح ویژه گونه های مختلفی از صنعت شامل سرامیک ها ، کامپوزیت ها ، غذا ها ، کانی ها ، رنگ ها و دارو و غیره به کار می رود.

عملیات می تواند تحت شرایط خشک و مرطوب در هر یک از شرایط نا پیوسته (Bathe) و مدار باز پیوسته (closed – circuit) مدار بسته پیوسته ، (open – circuit) و مدل های غیر دوار پیوسته انجام شود.

اساس فرمولاسیون موازنه جمعیت فرض شده که تعداد متراکمی از ذرات در حالت فضای ذرات وجود دارد که

افقی (convection) انتقال حرارت توسط عمودی هستند چون از حرکت در فضای فازی ذرات ناشی می شوند. در زمان یکسان این گروه از فرآیندهای فیزیکی ممکن است در ایجاد و پایان انواع ذرات خاص موثر باشند. تعدادی از ذرات یک نوع ویژه می توانند همچنین از میان ذرات تغییر یابند.



شکل 4؛ موازنه جمعیت برای جریان گاز-مایع-جامد

فرایندهای آغاز و پایان به وجود آوردن ذرات شناخته شده مانند فرایندهای مرگ شناخته می شود. به صورت پدیده شناسی موازنه جمعیت شامل فرآیندهای همرفت پیدایش و انقراض فرایندها خوب جمعیت ذرات است.

نوسان موازنه مدل موازنه جمعیت:

پیشنهاد موازنه جمعیت برای حل توده اولین بار به Smoluchowski تنها برای بزرگ شدن توصیف شد.

$$\frac{dN_k}{dt} = \frac{1}{2} \sum_{i+j=k} \beta_{ij} N_i N_j - \sum_{i=1}^{\infty} \beta_{ik} N_i N_k$$

هر چند مدل های موازنه جمعیت برای نمونه ته نشین شدن /لخته شدن همچنین یک ترم راندمان capture ی ک ترم بزرگ شدن دارد.

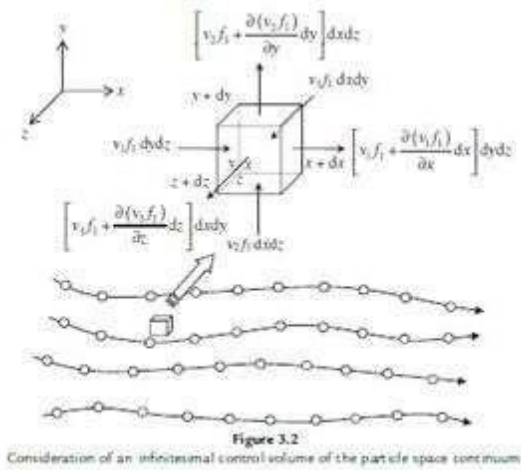
$$\frac{dN_k}{dt} = \frac{1}{2} \sum_{i+j=k} \alpha \beta_{ij} N_i N_j - \sum_{i=1}^{\infty} \alpha \beta_{ik} N_i N_k - S_k N_k + \sum_{l=k+1}^{\infty} \Gamma_{lk} S_l N_l$$

N_i تعداد i است.

$\beta_{i,j}$ نرخ جوش i و j اندازه ذرات بزرگ شدن توده (برحسب) ثانیه بر متر مکعب،
 S_k نرخ شکست توده k ام

این ذرات در پتانسیل Zeta صفر تجمع کرده و کلوخه می شوند و اندازه ذره افزایش می یابد و یا از این پتانسیل فاصله گرفته و بدلیل نیروی دافعه ای که بین ذرات وجود دارد پراکنده می شوند.

معادله موازنه جمعیت بنیادی :



شکل 3؛ معادله بنیادی موازنه جمعیت

$$\frac{\partial f_1}{\partial t} dx dy dz + \left[\frac{\partial(v_1 f_1)}{\partial x} + \frac{\partial(v_2 f_1)}{\partial y} + \frac{\partial(v_3 f_1)}{\partial z} \right] dx dy dz = S_f dx dy dz$$

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \nabla_r \cdot (v_r f) + \nabla_x \cdot (v_x f) = S_f$$

۲. شکل کلی تعادل جمعیت:

رویکرد تعادل جمعیت چیست؟

روش تعادل جمعیت به طور خاص علاوه بر در نظر گرفتن توازن حرکت، جرم و انرژی برای در نظر گرفتن توازن در جمعیت ذرات مورد استفاده قرار می گیرد، این مراحل تکامل ممکن است ترکیبی مختلف مرتبط با هسته مانند رشد (Growth)، پراکندگی (Dispersion) انحلال (Dissolution) تجمع و یا انعقاد (Coalescence) شکستگی (Breakage) و یا شکست تولید پراکندگی باشد.

مختصات خارجی رجوع به فاصله های هر ذره در فضای فیزیکی است در حالی که مختصات داخلی در درجه اول با خواص داخلی ذرات مانند اندازه، سطح، حجم، ترکیب و غیره وابسته است.

فرایندهای فیزیکی که بر اساس این شکل مورد بررسی قرار می گیرند فرایندهای (Advection) انتقال حرارت توسط جریان

$$S = -\Gamma(V)f(V, x, t) + \int_V^{V_{max}} \Gamma(V', x, t) \beta(V|V') f(V', x, t) dV' - f(V, x, t) \int_{V_{min}}^{V_{max}} \omega(V, V') f(V', x, t) dV' + \frac{1}{2} \int_{V_{min}}^V \omega(V - V', V') f(V - V', x, t) f(V', x, t) dV'$$

و $f(V, x, t)$ تابع چگالی عددی با اندازه ذره V به عنوان یک متغیر مستقل است. بردار v همان سرعت ذره ای است که در بخش قبل معرفی شد.

عبارت منبع S شامل عبارت زیان (قبل از علامت منهای) و عبارت سود (قبل از علامت مثبت) به دلیل شکستگی و برخورد قطرات است. شکستن و تجمع قطرات به ترتیب توسط فرکانس شکست و تجمع کنترل می شود. فرکانس شکست $\Gamma(V)$ نشان دهنده کسری از شکستن قطرات در واحد زمان است، در حالی که فرکانس تجمع $\omega(V, V')$ احتمال برخورد موفقیت آمیز بین یک جفت قطره را محاسبه می کند. تقسیم قطره مادر با اندازه V به قطرات دختر دارای طیف اندازه توسط ذره دختر $\beta(V|V')$ داده می شود.

فرمول یکپارچه معادله تعادل جمعیت: کاربرد در سیستم های ذرات با رشد ذرات

$$\frac{\partial w(x; t)}{\partial t} + \frac{\partial(Gw)}{\partial x} = S_b(w) + S_c(w)$$

$$S_b(w) = -\Gamma(x; \varphi)w(x; t) + \int_x^\infty \Gamma(x'; \varphi)\beta(x|x')w(x'; t)dx'$$

$$S_c(w) = \frac{1}{2} \int_0^x \left(\frac{x}{\eta}\right)^2 \psi(\eta, u, \varphi)w(u; t)w(\eta; t)du - w(x; t) \int_0^\infty \psi(x, u, \varphi)w(u; t)du$$

3. نتیجه گیری :

همانطوری که در متن مقاله مشاهده نمودید پیشرفتهای در خوری در زمینه کلی موازنه جمعیت صورت گرفته که تا جایی که امکان بود مفاهیم کاربرد ها و معادلات موازنه جمعیت بررسی شد، دید کلی که محقق میتواند از موضوع موازنه جمعیت ذرات کسب کند آنست که در این موضوع تحقیقات زیادی صورت گرفته که با توجه به طیف وسیع مطلب جای رشد و توسعه روز افزون دارد. صنعت، تکنولوژی نوین تولید کودهای شیمیایی و گرانیوزها کردن مواد در پتروشیمی ها و کارهای اقتصادی زیادی در این زمینه فرآیندهایی بسیار ارزشمند در تولید، صنعت و اقتصاد است.

Γ_k ، تابع توزیع شکست عدد اندازه ذرات k تولید شده از شکست یک اندازه ذره است
نرخ برخورد بین ذرات i و j (Aggregation Kernel) بر حسب m^3s^{-1} است.

$$\beta_{ij} = 1.294 \sqrt{\frac{e}{v}} (a_i + a_j)^3$$

تولید خالص ذرات : نرخ خالص تولید ذرات $S_{fi}(x, r, Y, t)$

r, Y, t) می تواند به وسیله جمع جبری تولید خالص ذرات ناشی از شکسته شدن

$S_c(x, r, Y, t)$ (Breakage/Breakup)

$S_B(x, r, Y, t)$ (Aggregation/Coalescence) (تولید

ذرات خالص اشی از همبسته شدن)

$$S_{fi}(x, r, Y, t) = S_B(x, r, Y, t) + S_c(x, r, Y, t)$$

$$(x, r, Y, t) = \int_{V_k} v(x', r, Y, t) b(x', r, Y, t) P(x, r | x', r, Y, t) f_1(x', r, t) dV_k$$

$$b(x, r, Y, t) f_1(x, r, t) + \int_{V_k} \frac{1}{\delta} a(\bar{x}, r; x', r, Y, t) f_2(\bar{x}, r; x', r, t) \frac{\partial(\bar{x}, r)}{\partial(x, r)} dV_k$$

$$- \int_{V_k} a(x', r'; x, r, Y, t) f_2(x', r'; x, r, t) dV_k$$

اهمیت فیزیکی فرآیند ناشی از (Breakage/Breakup)

و (Aggregation/ Coalescence) در معادله متعاقبا توصیف می شود.

(Breakage/Breakup) ذرات می تواند دو پیامد داشته

باشد اولین پیامد تعداد ذرات در یک جز ذره به دلیل شکسته شده ذرات بزرگتر افزایش می یابد. دومین پیامد، تعداد ذرات با اندازه از جز کسری به دلیل شکسته شدن کاهش می یابد.

(Aggregation/ Coalescence) ذرات نیز دو پیامد

دارد: اول آنکه ذرات جدید در جهت به هم پیوستن ذرات کوچک تر فرم داده می شوند، دومین پیامد اینست که تعدادی از ذرات در یک جز متعاقبا کاهش می یابند و مقداری از آنها به ذرات در گر اضافه می شوند.

معادله تعادل جمعیت قطره ای (DPBE)

در مورد حاضر این معادله را می توان به صورت

$$\frac{\partial f(V, x, t)}{\partial t} + \nabla \cdot (v_d f(V, x, t)) = S(f(V, x, t), V, x, t),$$

جاییکه

از اساتید، داوران، ویراستاران و معاونت محترم پژوهشی دانشگاه سیستان و بلوچستان به خاطر حمایت مالی و معنوی و همکاری در اجرای پژوهش قدردانی، تشکر و سپاسگزاری میشود.

رضا کاکولوند، کارشناسی ارشد، گروه مهندسی شیمی، پدیده های انتقال، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

*ایمیل: rezakakulvand93@gmail.com

پیام رسان اجتماعی: 09309982728

- [1] Krishna, R. van Baten, J.M. Ellenberger, J. Higler, A.P. Taylor, R. *CFD simulation of sieve tray hydrodynamics*, Chem. Eng. Res. Des., Trans IChen, 77 1999, 639-646.
- [2] van Baten, J.M. Krishna, R. *Modelling sieve tray hydraulics using computational fluid dynamics*, Chem. Eng. J. 77, 2000, 143-151.
- [3] Tomiyama, A. Kataoka, I. Z'oun, I. Sakaguchi, T. *Drag coefficients of single bubbles under normal and micro gravity conditions*, JSME Int. J. 42, 1998, 472 - 479.
- [4] Ishii, M., Zuber, N., 1979. *Drag coefficient and relative velocity in bubbly, droplet or particulate flows*. AIChE J. 25, 843-855.
- [5] Avinash R. Khopkar, Philippe A. Tangu, *CFD simulation of gas-liquid flows in stirred vessel equipped with dual Rushton turbines: influence of parallel, merging and diverging flow configurations*, Chemical Engineering Science, 63, 2008, 3810 - 3820.
- [6] Zidouni, F. Krepper, E. Rzehak, R. Rabha, S. Schubert, M. U. Hampel, *Simulation of gas-liquid flow in helical static mixer*, Chemical Engineering Science, 137, 2015, 476 - 486.
- [7] Stephen Yamoah, Raúl Martínez Cuenca, Guillem Monrós, Sergio Chiva, Rafael Macián - Juan, *Numerical investigation of models for drag, lift, wall lubrication and turbulent dispersion forces for the simulation of gas-liquid two-phase flow*, chemical engineering research and design, 98, 2015, 17-35.
- [8] Fengling Yang, Shenjie Zhou, Xiaohui An, *Gas-liquid hydrodynamics in a vessel stirred by dual dislocated - blade Rushton impellers*, Chinese Journal of Chemical Engineering, 23, 2015, 1746 - 1754.
- [9] Ning Yang, Zongying Wu, Jianhua Chen, Yuhua Wang, Jinghai Li, *Multi-scale analysis of gas-liquid interaction and CFD simulation of gas-liquid flow in bubble columns*, Chemical Engineering Science, 66, 2011, 3212-3222.
- [10] Clift, R., Grace J. R., Weber M. E., *Bubbles, Drops, and Particles*, 111 Fifth Avenue, New York, New York 10003, p 380, 1978.
- [11] کاکولوند، رضا، (1400). بررسی ضریب پسا در سیستم های گاز مایع، نشریه علمی پژوهشی علم، فرهنگ و هنر، اول (اول)، 1-7.

- [12] Reza Kakulvand, *Population balancing methods to describe the increase and decrease of particle size*. International Journal of *Science, Culture and Art* 1 (1) (1400) 19-25.
- [13] پورشیک، محسن، (1400). الگوریتمی جدید برای حل مساله فروشنده دوره گرد متقارن، نشریه علمی پژوهشی علم، فرهنگ و هنر، اول (اول)، 8-18.
- [14] شهریار، بتول، (1399). اثر تنش سرمزدگی بر رشد گیاهان پاییزه و راهکارهای مقابله، نشریه علمی پژوهشی علم، فرهنگ و هنر، 1 (1)، 7-9.
- [15] R. kakulvand, *Review of drag coefficients on gas - liquid tower: the drag coefficient independent and dependent on bubble diameter in bubble column experiment*, Chem. Rev. Lett., 2 (2019) 48-58.
- [16] R. Kakulvand, *Investigation of drag coefficient in gas-liquid systems*. Journal of *Science Culture and Art*, 1 (1) (2021) 1 - 6.
- [17] Mohsen Poursheikhi. *A new algorithm to solve the symmetric iterative Marketer problem*. Iranian International Journal of Science, Culture and Art 1 (11) (2021) 12-18.
- [18] Batul Shahriyar, Ciruc Mansourifar, *The effect of frost stress on the growth of autumn plants and ways to deal with them*. *Science, Culture and Art* 1 (1) (2021) 7-11.
- [19] Reza. kakulvand, *Effect of Non-uniform Convection on Entropy Generation and Enthalpy for the Laminar Developing Pipe Flow of a High Prandtl Number Fluid*. *World Journal of Applied Chemistry*, 4 (2019) 69-78.
- [20] R. kakulvand, *The effects of transient heat flux on the tube in contact with the natural convection, on enthalpy and entropy generation, for developed laminar flow of fluid with high Prandtl number*. *Chem. Rev. Lett.*, 2 (2019) 165-175.
- [21] R. kakulvand, *The effects of transient radiant flow on pipe in contact with natural convection, for developed laminar flow of fluid with high Prandtl number, on enthalpy and entropy generation*, Journal of *Chem. Rev. Lett.*, 2 (2019) 130-137.
- [22] R. kakulvand, *Effect of non-uniform temperature distribution on entropy generation and enthalpy for the laminar developing pipe flow of a high Prandtl number fluid*. Journal of *Chem. Rev. Lett.*, 2 (2019) 98-106.
- [23] Reza Kakulvand, *Population balancing methods to describe the increase and decrease of particle size*. *Science, Culture and Art*, 1 (1) (1400) 19-25.
- [24] کاکولوند، رضا، (1400). بررسی ضریب پسا در سیستم های گاز مایع، نشریه علمی، فرهنگ و هنر، اول (اول)، 1-7.
- [25] R. Kakulvand. *Investigation of drag coefficient in gas-liquid systems*. Journal of *Science Culture and Art*, 1 (1) (2021) 1 - 6.
- [26] R. kakulvand, *Review of drag coefficients on gas - liquid tower: the drag coefficient independent and dependent on bubble diameter in bubble column experiment*, *Chem. Rev. Lett.*, 2 (2019) 48-58.
- [27] پورشیک، محسن، (1400). الگوریتمی جدید برای حل مساله فروشنده دوره گرد متقارن، نشریه ایرانی علم، فرهنگ و هنر، اول (اول)، 8-18.
- [28] Batul Shahriyar, Ciruc Mansourifar, *The effect of frost stress on the growth of autumn plants and ways to deal with them*. International Journal of *Science, Culture and Art* 1 (1) (2021) 7-11.
- [29] R. kakulvand, *Review of drag coefficients on gas - liquid tower: the drag coefficient independent and dependent on*

- bubble diameter in bubble column experiment, *Chem. Rev. Lett.*, 2 (2019) 48-58.
- [30] Mohsen Poursheikhi. A new algorithm to solve the symmetric iterative Marketer problem. *Journal of Science, Culture and Art*, 1 (11) (2021) 12-18.
- [31] کاکولوند ، رضا، (1400) . بررسی ضریب پسا در سیستم های گاز مایع، نشریه علمی پژوهشی علم، فرهنگ و هنر، اول (اول)، 1-7.
- [32] R. Kakulvand. Investigation of drag coefficient in gas-liquid systems. Iranian International Journal of *Science Culture and Art*, 1 (1) (2021) 1 – 6.
- [33] R. kakulvand, Review of drag coefficients on gas – liquid tower: the drag coefficient independent and dependent on bubble diameter in bubble column experiment, *Journal of Chem. Rev. Lett.*, 2 (2019) 48-58.
- [34] کاکولوند ، رضا، (1400) . بررسی ضریب پسا در سیستم های گاز مایع، نشریه علم، فرهنگ و هنر، اول (اول)، 1-7.
- [35] R. Kakulvand. Investigation of drag coefficient in gas-liquid systems. *Science Culture and Art*, 1 (1) (2021) 1 – 6.
- [36] Reza Kakulvand,. Population balancing methods to describe the increase and decrease of particle size. Iranian International Journal of *Science, Culture and Art* 1 (1) (1400) 19-25.