

پیش بینی ضرایب نفوذ و ویسکوزیته ایزوتوپ های گاز زنون، هگزافلوراید تلوریم با استفاده از خواص میکروسکوپی آن

مسعود خواجه نوری^{۱*}، سید جابر صفدری^{۱،۲}، صادق یوسفی نسب^{۱،۲}، محمد حسن ملاح^{۱،۲}، محمد حسین عسکری^۱

۱. شرکت فناوری‌های پیشرفته ایران، سازمان انرژی اتمی، صندوق پستی: ۱۴۳۹۹۵-۵۹۳۱، تهران- ایران

۲. پژوهشکده مواد و سوخت هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی، صندوق پستی: ۱۱۳۶۵-۸۴۸۶، تهران- ایران

چکیده:

یکی از مهمترین مباحث جهت بررسی رفتار گازها و جداسازی آن، داشتن اطلاعات کافی در مورد خواص شیمیایی و فیزیکی آنها است. به طور کلی برای بررسی رفتار گاز دو دیدگاه وجود دارد: دیدگاه ماکروسکوپی و دیدگاه میکروسکوپی. مدل ماکروسکوپی، رفتار گاز را به صورت محیط پیوسته در نظر می‌گیرد و متغیرهایی مانند سرعت، چگالی، فشار و دما را مورد بررسی قرار می‌دهد. مدل میکروسکوپی یا مولکولی، گاز را به صورت ذرات مجزا در نظر گرفته و برای هر ذره، یک موقعیت و سرعت در زمانی خاص در نظر می‌گیرد و بر اساس مقدار انرژی و انتگرال‌های برخورد ذرات، به تعیین مقدار خواص جریان می‌پردازد. در این مقاله با استفاده از خواص میکروسکوپی، ویسکوزیته و ضریب نفوذ ایزوتوپ‌های گازهای زنون و هگزافلوراید تلوریم مورد بررسی قرار گرفته شده است. با توجه به عدم دسترسی به نتایج تجربی برای صحت سنجی ایزوتوپی گازهای زنون و هگزافلوراید تلوریم، نتایج حاصل از روابط میکروسکوپی با نتایج تجربی مخلوط گازهای مختلف شامل سیستم دو جزئی He و Ne مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج حاصل از خواص میکروسکوپی برای پیش بینی ویسکوزیته و ضریب نفوذ توافقی خوبی با نتایج تجربی داشت. همچنین با استفاده از خواص میکروسکوپی، ویسکوزیته ایزوتوپ‌های گازهای زنون و هگزافلوراید تلوریم محاسبه شده است.

کلیدواژه‌ها: ضریب نفوذ، ویسکوزیته، ایزوتوپ، زنون، تلوریم

Prediction of diffusion coefficients and viscosity of isotopes of xenon gas, tellurium hexafluoride using its microscopic properties

Masoud Khajenoori^{1*}, Jaber Safdari^{1,2}, Sadegh Yousefi-Nasab^{1,2}, Mohammad Hassan Mallah^{1,2},
Mohammad Hossein Askari¹

1. Iran Advanced Technologies Company, Atomic Energy Organization of Iran

2. Material and Nuclear Fuel Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, Atomic Energy Organization of Iran

Abstract:

One of the most important issues to study the behavior of gases and its separation is to have sufficient information about their chemical and physical properties. In general, there are two perspectives on the behavior of gas: the macroscopic perspective and the microscopic perspective. The macroscopic model considers the behavior of the gas as a continuous environment and examines variables such as speed, density, pressure, and temperature. The microscopic or molecular model considers the gas as separate particles and for each particle, a position and velocity at a specific time and based on the amount of energy and collision integrals of the particles, to determine the amount of flow properties. In this paper, using microscopic properties, viscosity and diffusion coefficient of isotopes of xenon gas and tellurium hexafluoride have been investigated. Due to the lack of experimental results for the isotopic validation of xenon gases and tellurium hexafluoride, the results of microscopic relationships with the experimental results of a mixture of different gases including the two-component system He and Ne have been compared. The results of microscopic properties for predicting viscosity and diffusion coefficient were in good agreement with the experimental results. The viscosity of xenon gas isotopes and tellurium hexafluoride has also been calculated using microscopic properties.

Keywords: Penetration coefficient, viscosity, isotope, xenon, tellurium

Email: khajenoori1390@gmail.com

۱. مقدمه

یکی از نخستین گام‌ها جهت جداسازی و شناخت رفتار گاز در سیستم‌های چند جزئی، داشتن اطلاعات در مورد خواص شیمیایی و فیزیکی گاز است. کمیت‌هایی که وضعیت ماده را در مقیاس بزرگ توصیف می‌کنند، کمیت‌های ماکروسکوپی نامیده می‌شوند. این کمیت‌ها به بررسی رفتار تک تک ذرات نمی‌پردازند و تنها وضعیت کل سیستم را توصیف می‌کنند و توسط حواس هم قابل درک هستند (همانند فشار و دما)؛ همچنین از ویژگی‌های کمیت‌های ماکروسکوپی امکان اندازه‌گیری آن‌ها می‌باشد [۱-۲]. دیدگاه ماکروسکوپی، اساس و پایه ترمودینامیک کلاسیک می‌باشد. بنابراین، توصیف ماکروسکوپی یک سیستم عبارت است از: "مشخص کردن چند ویژگی اساسی و قابل اندازه‌گیری برای آن سیستم". در دیدگاه میکروسکوپی جزئیات رفتار تک تک مولکول‌ها برای بررسی یک پدیده مورد استفاده قرار می‌گیرد. به عبارت دیگر در این دیدگاه، گاز متشکل از مجموعه‌ای از ذرات در نظر گرفته می‌شود و سپس مکان، سرعت، شتاب، انرژی جنبشی و سایر مشخصات آن ذرات توصیف می‌شود. در واقع دیدگاه میکروسکوپی، اساس مکانیک آماری می‌باشد [۳]. مطابق قرارداد، معیار پیوسته بودن یا نبودن یک گاز، عدد نادسن^۱ است؛ در محدوده عدد نادسن کوچکتر از ۰/۱، گاز پیوسته فرض شده و در اعداد نادسن بیشتر از این مقدار، گاز به صورت مولکولی عمل می‌کند. از آنجائیکه محدوده فشار در محور روتور و در فضای بین روتور و بدنه ماشین سانتریفیوژ در محدوده رژیم گاز رقیق می‌باشد لذا می‌بایست از خواص میکروسکوپی برای محاسبه خواص جریان در محدوده گاز رقیق استفاده گردد تا خواص ماکروسکوپی گاز با دقت بالایی محاسبه گردد [۴-۶]. در این مقاله در ابتدا روابط مناسب جهت پیش بینی ضریب نفوذ و ویسکوزیته گازها با استفاده از خواص میکروسکوپی آن معرفی می‌گردد و سپس نتایج حاصل از خواص میکروسکوپی مخلوط He و Ne با نتایج تجربی مورد مقایسه قرار گرفته و مقدار انحراف نتایج با نتایج تجربی بصورت درصد میانگین انحراف مطلق AAD گزارش شده است. همچنین ضریب نفوذ و ویسکوزیته ایزوتوپ‌های گازهای زنون و هگزافلوراید تلوریم از دیدگاه میکروسکوپی مورد بررسی قرار گرفته است.

۲. روش کار

۲.۱. محاسبه ضریب نفوذ

ضریب نفوذ جزء A در B در یک مخلوط گازی به شرایط عملیاتی، اجزاء سازنده و طبیعت اجزاء بستگی دارد. با استفاده از تئوری‌های پیشرفته ضریب نفوذ جزء A در B در گازها تا حدودی قابل پیش بینی است. ضریب نفوذ جزء A در A* (دو جزء A و A* از نظر جرم، شکل، اندازه یکسان می‌باشند) تحت شرایط عملیاتی خاص که انتقال جرم جزء A در یک سو و به لحاظ اختلاف غلظت صورت می‌گیرد و مولکول‌ها همچون توپ‌های صلب در نظر گرفته می‌شوند، بر اساس تئوری جنبشی گازها به صورت زیر به دست می‌آید.

$$D_{AA^*} = \frac{2}{3} \left(\frac{k_B^3}{\pi^3 m_A} \right)^{1/2} \left(\frac{T^{3/2}}{P d_A^2} \right) \quad (1)$$

در این رابطه k_B ثابت بولتزمن، d_A و m_A قطر و جرم مولکول A هستند. بررسی ضرایب نفوذ A در B کمی مشکل‌تر، و به صورت زیر قابل پیش بینی است.

$$D_{AB} = \frac{2}{3} \left(\frac{K^3}{\pi^3} \right)^{1/2} \left(\frac{1}{2m_A} + \frac{1}{2m_B} \right)^{1/2} \frac{T^{3/2}}{P \left(\frac{d_A + d_B}{2} \right)^2} \quad (2)$$

در رابطه فوق T دما d_B و d_A قطر مولکول، m_A و m_B جرم مولکولی و P فشار می‌باشد. رابطه فوق برای بسیاری از گازها و در محدوده ی حداکثر فشار ۱۰ bar جواب‌های قابل قبولی می‌دهد. این رابطه برای گازهای غیر قطبی و با فرض کامل

^۱ Knudsen number (Kn)

بودن گازها توسعه یافته و به صورت زیر ارائه شده است [۴].

$$D_{AB} = \frac{1.883 \times 10^{-22} T^{\frac{3}{2}}}{P \Omega_D \delta_{AB}^2} \left(\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

در رابطه فوق δ_{AB} ثابت نیرو در رابطه Lenard- Jones می‌باشد که به صورت قطر برخورد مولکولی تعریف می‌شود، Ω_D تابع بدون بعدی است (تابعی از دما و پتانسیل بین مولکولی یک مولکول و یک مولکول می‌باشد که با استفاده از رابطه Lenard- Jones قابل پیش بینی است) که به صورت تابع برخورد تعریف می‌شود. مقدار δ_{AB} تقریباً برابر است با:

$$\delta_{AB} = \frac{1}{2}(\delta_A + \delta_B) \quad (4)$$

در دستیابی به مقادیر Ω_D نیاز به محاسبه E_{AB} (ماکزیم انرژی جذب) می‌باشد که طبق تعریف برابر است با:

$$\frac{\epsilon_{AB}}{k_B} = \left(\frac{\epsilon_A}{k_B} \times \frac{\epsilon_B}{k_B} \right)^{1/2} \quad (5)$$

بر اساس مطالب مذکور روابط تئوری- تجربی بسیاری برای پیش بینی ضریب نفوذ در گازها ارائه شده است که در اینجا به تعدادی از روابط اشاره می‌شود. رابطه گیلیند ۲ با دقت کافی در حد مسائل مهندسی به شرح زیر ارائه شده است [۴].

$$D_{AB} = 4.357 \times 10^{-4} \frac{T^{\frac{3}{2}}}{P(V_A^{1/3} + V_B^{1/3})} \left(\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

رابطه فولر ۳ و همکارانش برای مخلوط گازهای قطبی و غیر قطبی به شرح زیر ارائه شده است [۴].

$$D_{AB} = \frac{0.001 T^{1.75}}{P[(\sum V_A)^{1/3} + (\sum V_B)^{1/3}]^2} \left(\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \text{و} \quad \sum V = \left[\frac{m^3}{kgatm} \right] \quad \text{و} \quad P = [atm] \quad (7)$$

روابط زیر توسط چن و اوتمر ۴ ارائه شده اند. در این روابط به حجم های اتمی و مولی نیازی نیست.

$$D_{AB} = \frac{0.015 T^{1.81}}{P(T_{CA} T_{CB})^{0.1405} (V_{CA}^{0.4} + V_{CB}^{0.4})^2} \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}} \quad (8)$$
$$D_{AB} = (2.52 \times 10^7) \mu_{air}^{2.74} \left[\frac{\sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}}}{(V_{CA}^{0.4} + V_{CB}^{0.4})^2} \right]^{1.23}$$

رابطه ویلک-لی ۵ که توسعه یافته رابطه ی Hirschfelder و همکارانش می باشد به شرح زیر و برای مخلوط گازهای غیر قطبی و یا یک گاز غیرقطبی با قطبی ارائه شده است [۴].

$$D_{AB} = \frac{2 \times 10^{-22} \left(1.084 - 0.249 \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}} \right) T^{3/2} \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}}}{P_t (\delta_{AB})^2 (\Omega_D)} \quad (9)$$

یکی دیگر از روابط موفق ارائه شده برای ضریب نفوذ در گازها، رابطه اسلاتری و برد ۶ می باشد که بر اساس تئوری جنبشی و تجربی به دست آمده است.

- 2 Gilliland
- 3 Fuller
- 4 Chen & Othmer
- 5 Wilke- Lee
- 6 Slattery & Bird

$$\frac{PD_{AB}}{(P_{cA}P_{cB})^{1/3}(T_{cA}T_{cB})^{5/12}\left(\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}\right)^{1/2}} = a \left(\frac{T}{\sqrt{T_{cA}T_{cB}}} \right)^b \quad (10)$$

همچنین رابطه ای برای ضریب نفوذ در گازها برای سیستم های دوجزیی ارائه شده است.

$$D_{ik} = 2.628 \times 10^{-7} \frac{T^{1.5} \sqrt{\frac{(M_i+M_k)}{(2M_iM_k)}}}{P\Omega\delta^2} \quad (11)$$

در رابطه ی فوق δ قطر برخورد مولکولی و Ω تابع برخورد می باشد. ضریب نفوذ در سیستم های چند جزیی بر اساس نظریه Hirschfelder مطابق رابطه‌ی زیر تعریف می‌گردد [۴]:

$$D_{ij} = \frac{1}{M_j} \left(\sum x_k M_k \right) \frac{K^{ji} - K^{ii}}{|K|} \quad (12)$$

با فرض $K_{ii} = 0$ ، $|K|$ از روی K_{ij} مشخص می‌شود، و K_{ij} به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$K_{ij} = \frac{x_i}{[D_{ij}]_1} + \frac{M_j}{M_i} \left(\sum \frac{x_k}{[D_{ik}]_1} \right); i \neq j \quad (13)$$

$$K^{ji} = (-1)^{i+j} \begin{vmatrix} 0 & \dots & K_{1,i-1} & K_{1,i+1} & \dots & K_{1,v} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ K_{j-1,1} & \dots & K_{j-1,i-1} & K_{j-1,i+1} & \dots & K_{j-1,v} \\ K_{j+1,1} & \dots & K_{j+1,i-1} & K_{j+1,i+1} & \dots & K_{j+1,v} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ K_{v,1} & \dots & K_{v,i-1} & K_{v,i+1} & \dots & K_{v,v} \end{vmatrix} \quad (14)$$

۲.۲. محاسبه ضریب ویسکوزیته

بر اساس تحقیقات Hirschfelder و همکارانش نخستین تقریب ویسکوزیته گاز خالص با رابطه زیر محاسبه می‌گردد [۴]:

$$[\eta]_1 = 266.93 \times 10^{-7} \frac{\sqrt{MT}}{\sigma^2 \Omega^{(2,2)*} T^*} \quad (15)$$

در رابطه فوق، η ویسکوزیته بر حسب $gr/cm \cdot sec$ ، T دما بر حسب K ، $T^* = k_B T / \varepsilon$ دمای کاهش یافته، M جرم مولکولی (gr/mol) ، σ قطر برخورد (Å) و ε/k پارامتر پتانسیل (K) می‌باشد. برای مخلوط‌های دوتایی ضریب ویسکوزیته به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$[\eta_{12}]_1 = \frac{5 \sqrt{2\pi m_1 m_2 k T / (m_1 + m_2)}}{16 \pi \sigma_{12}^2 \Omega_{12}^{(2,2)*} T_{12}^*} \quad (16)$$

برای محاسبه ضریب ویسکوزیته مخلوط‌های چندتایی بر طبق تئوری جنبشی مخلوط گازهای چندتایی کروی سخت، ضریب ویسکوزیته مخلوط v -جزیی با رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$[\eta]_1 = \frac{\begin{vmatrix} H_{11} & H_{12} & \dots & H_{1v} & n_1/n \\ H_{21} & H_{22} & \dots & H_{2v} & n_2/n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ H_{v1} & H_{v2} & \dots & H_{vv} & n_v/n \\ n_1/n & n_2/n & \dots & n_v/n & 0 \end{vmatrix}}{|H_{ij}|} \quad (17)$$

H_{ij} بر حسب ترم $\Omega^{(l,s)}$ به صورت زیر می‌باشد.

$$H_{ij} = \frac{32}{15} \frac{n_i m_i}{n^2 m_j k T} \sum_l \frac{n_l m_l}{(m_i + m_l)^2} \left[\frac{5m_j (\delta_{ij} - \delta_{jl}) \Omega_{il}^{(1,1)}}{+ 3/2 m_l (\delta_{ij} + \delta_{jl}) \Omega_{il}^{(2,2)}} \right] \quad (18)$$

روابط فوق به صورت زیر ساده می‌گردد:

$$[\eta_{mix}]_1 = - \frac{\begin{vmatrix} H_{11} & H_{12} & \dots & H_{1v} & x_1 \\ H_{21} & H_{22} & \dots & H_{2v} & x_2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ H_{1v} & H_{2v} & \dots & H_{vv} & x_v \\ x_1 & x_2 & \dots & x_v & 0 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} H_{11} & H_{12} & \dots & H_{1v} \\ H_{21} & H_{22} & \dots & H_{2v} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{1v} & H_{2v} & \dots & H_{vv} \end{vmatrix}} \quad (19)$$

پارامترهای ماتریس فوق برحسب H_{ij} می‌باشد. این پارامتر بر حسب η_{ij} و D_{ij} با رابطه زیر معرفی می‌گردد:

$$H_{ii} = \frac{x_i^2}{[\eta]_1} + \sum_{k=1, k \neq i}^v \frac{2 \Omega^{(2,2)*} / \Omega^{(1,1)*} x_k}{(M_i + M_k)} \frac{RT}{p[D_{ik}]_1} \left[1 + \frac{3 M_k}{5 M_i} A_{ik}^* \right] \quad (20)$$

$$H_{ij} = - \frac{2x_i x_j}{(M_i + M_j)} \frac{RT}{p[D_{ij}]_1} \left[1 - \frac{3}{5} A_{ij}^* \right] \quad i \neq j \quad (21)$$

در روابط فوق $[\eta]_1$ ضریب ویسکوزیته می‌باشد، $[D_{ik}]_1$ ضریب نفوذ دوتایی، $A_{ij}^* = \Omega^{(2,2)*} / \Omega^{(1,1)*}$ و x_i و M_i به ترتیب کسر مولی و جرم مولکولی جزء نام می‌باشد. با جایگذاری H_{ii} و H_{ij} در رابطه فوق رابطه نهایی به صورت زیر بازنویسی می‌گردد:

$$[\eta_{mix}]_1 = \sum_{i=1}^v \frac{x_i^2}{H_{ii}} - \sum_{i=1}^v \sum_{j=1, j \neq i}^v \frac{x_i x_j H_{ij}}{H_{ii} H_{jj}} + \sum_{i=1}^v \sum_{j=1, j \neq i}^v \sum_{k=1, k \neq i}^v \frac{x_j x_k H_{ij} H_{ik}}{H_{ii} H_{jj} H_{kk}} \quad (22)$$

از آنجایی که المان‌های غیر قطری H_{ij} در مقایسه با المان‌های قطری H_{ii} بسیار کوچک می‌باشد لذا رابطه اولیه برای محاسبه ویسکوزیته یک مخلوط چند جزئی گازی به توسط ترم اول رابطه فوق ارائه می‌گردد. برای صرف نظر کردن از المان‌های غیر قطری می‌بایست $A^* = 5/3$ در نظر گرفته شود. با در نظر گرفتن فرضیات فوق، ضریب ویسکوزیته مخلوط به صورت زیر بازنویسی می‌گردد:

$$[\eta_{mix}]_1 = \sum_{i=1}^v \frac{x_i^2}{H_{ii}} = \sum_{i=1}^v \frac{x_i^2}{\frac{x_i^2}{[\eta]_1} + \sum_{k=1, k \neq i}^v \frac{2x_i x_k}{p M_i [D_{ik}]_1} \frac{RT}{p M_i [D_{ik}]_1}} \quad (23)$$

۳. نتایج

در این بخش جهت صحت سنجی کد محاسباتی خواص گاز از دیدگاه میکروسکوپی، مقادیر کمیت‌های مورد نیاز جهت محاسبه ویسکوزیته مخلوط گازی Ne و He با استفاده از پتانسیل لنارد-جونز^۷ در جدول ۱ آورده شده است [۷].

⁷ Lennard-Jones

جدول ۱. کمیت های مورد نیاز جهت محاسبه ویسکوزیته مخلوط He و Ne [۷]

He	Ne	نوع گاز
۱/۹۰	۲/۳۳	σ (Å)
۲۳۲	۱۹۲	ϵ/k (K)
۴/۰۰	۲۰/۱۸۳	جرم مولکولی (g/mol)

نتایج پارامترهای خروجی حاصل از کد با نتایج تجربی در دمای ۲۰°C و فشار ۱ اتمسفر در جدول ۲ آورده شده است [۱]. همچنین درصد مقدار انحراف مطلق نتایج حاصل از روابط فوق با نتایج تجربی با رابطه زیر محاسبه شده است [۶]:

$$AAD \% = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{Exp. data - Cal. data}{Exp. data} \times 100 \quad (24)$$

در رابطه فوق n تعداد داده های مربوطه می باشد.

جدول ۲. صحت سنجی کد با نتایج ویسکوزیته مخلوط He و Ne [۱]

کسر مولی Ne	کسر مولی He	مقدار $\times 10^6$ تجربی (gr/cm.sec)	مقدار حاصل از کد $\times 10^6$ (gr/cm.sec)	AAD (%)
۰/۷۹۵۹	۰/۲۰۴۱	۳۰۰/۴	۳۲۷/۵۷	۹/۰۴
۰/۷۳۴۱	۰/۲۶۵۹	۲۹۷/۱	۳۲۶/۰۷	۹/۷۵
۰/۴۳۷۶	۰/۵۶۲۴	۲۷۰	۳۱۳/۹۶	۱۶/۲۸
۰/۴۲۱۹	۰/۵۷۸۱	۲۶۹/۱	۳۱۲/۹۲	۱۶/۲۸
۰/۲۳۷۹	۰/۷۶۲۱	۲۴۲/۹	۲۹۳/۲۷	۲۰/۷۳

در ادامه ضریب ویسکوزیته برای مخلوط ایزوتوپی گاز هگزافلوراید تلوریم در فشار ۱ اتمسفر و دمای ۲۰ سانتی گراد در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳. ضریب ویسکوزیته ایزوتوپ های هگزافلوراید تلوریم با استفاده از خواص میکروسکوپی [۴].

نوع ایزوتوپ	درصد فراوانی	σ (Å)	ϵ/k (K)	جرم مولکولی (gr/mol)	$\times 10^6$ ویسکوزیته (gr/cm.sec)
$^{234}\text{TeF}_6$	۰/۰۰۰۸۹	۳/۷۳	۳۸۲/۳	۲۳۴	۳۶۲/۲۶۲
$^{236}\text{TeF}_6$	۰/۰۲۴۶	۳/۷۳	۳۸۲/۳	۲۳۶	۳۶۱/۴۹۷
$^{237}\text{TeF}_6$	۰/۰۰۸۷	۳/۷۳	۳۸۲/۳	۲۳۷	۳۶۲/۲۶۲
$^{238}\text{TeF}_6$	۰/۰۶۱۰	۳/۷۳	۳۸۲/۳	۲۳۸	۳۶۳/۰۲۶
$^{239}\text{TeF}_6$	۰/۰۶۹۹	۳/۷۳	۳۸۲/۳	۲۳۹	۳۶۳/۷۸۸
$^{240}\text{TeF}_6$	۰/۱۸۷۱	۳/۷۳	۳۸۲/۳	۲۴۰	۳۶۴/۵۴۸
$^{242}\text{TeF}_6$	۰/۳۱۷۹	۳/۷۳	۳۸۲/۳	۲۴۲	۳۶۶/۰۶۴
$^{244}\text{TeF}_6$	۰/۳۴۴۸	۳/۷۳	۳۸۲/۳	۲۴۴	۳۶۷/۵۷۳

ضریب ویسکوزیته و نفوذ جزء مطلوب ($^{234}\text{TeF}_6$) در مخلوط ایزوتوپی هگزافلوراید تلوریم به ترتیب برابر (gr/cm.sec) ^{۵-}

$10^{-5} \times 1/19$ و $4/79 \times 10^{-6}$ (m²/sec) می‌باشد. ضرایب ویسکوزیته برای مخلوط ایزوتوپ‌های گاز زنون در جدول زیر ارائه شده است:

جدول ۴. ضریب ویسکوزیته ایزوتوپ‌های زنون با استفاده از خواص میکروسکوپی [۴].

نوع ایزوتوپ	درصد فراوانی	$\sigma(\text{\AA})$	$\varepsilon/(\text{K})$ k	جرم مولکولی (gr/mol)	$\times 10^6$ ضریب ویسکوزیته (gr/cm.sec)
¹²⁴ Xe	۰/۰۰۰۹۵	۴/۰۴۷	۲۳۱	۱۲۴	۱۷۳/۱۰۶
¹²⁶ Xe	۰/۰۰۰۸۹	۴/۰۴۷	۲۳۱	۱۲۶	۱۷۴/۴۹۷
¹²⁸ Xe	۰/۰۱۹۱۰	۴/۰۴۷	۲۳۱	۱۲۸	۱۷۵/۸۷۶
¹²⁹ Xe	۰/۲۶۴۰۱	۴/۰۴۷	۲۳۱	۱۲۹	۱۷۶/۵۶۲
¹³⁰ Xe	۰/۰۴۰۷۱	۴/۰۴۷	۲۳۱	۱۳۰	۱۷۷/۲۴۵
¹³¹ Xe	۰/۲۱۲۳۲	۴/۰۴۷	۲۳۱	۱۳۱	۱۷۷/۹۲۵
¹³² Xe	۰/۲۶۹۰۹	۴/۰۴۷	۲۳۱	۱۳۲	۱۷۸/۶۰۳
¹³⁴ Xe	۰/۱۰۴۳۶	۴/۰۴۷	۲۳۱	۱۳۴	۱۷۹/۹۵۱
¹³⁶ Xe	۰/۰۸۸۵۷	۴/۰۴۷	۲۳۱	۱۳۶	۱۸۱/۲۸۹

ضریب ویسکوزیته و ضریب نفوذ جزء مطلوب (¹²⁴Xe) در مخلوط ایزوتوپی زنون به ترتیب برابر $2/58 \times 10^{-5}$ (gr/cm.sec) و $8/77 \times 10^{-6}$ (m²/sec) می‌باشد.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

در این مقاله بر اساس روابط حاکم بر روش مولکولی و خواص میکروسکوپی، خواص ماکروسکوپی ضرایب ویسکوزیته و ضریب نفوذ برای مخلوط ایزوتوپی گازهای هگزافلوراید تلوریم و زنون محاسبه شده است. همچنین ضریب نفوذ جزء مطلوب در مخلوط ایزوتوپی هگزافلوراید تلوریم $1/19 \times 10^{-5}$ (m²/sec) ضریب نفوذ جزء مطلوب در مخلوط ایزوتوپی زنون به ترتیب برابر $8/77 \times 10^{-6}$ (m²/sec) محاسبه شده است. همچنین ضریب ویسکوزیته برای تمامی ایزوتوپ‌های گازهای زنون و تلوریم محاسبه شده است.

۵. مراجع

- [1] E. Mason و S. Saxena “ Approximate formula for the thermal conductivity of gas mixtures ”, *The physics of fluids*, pp. 361-369, 1958.
- [2] R. D. Present, Kinetic Theory of Gases, New York: McGraw Book Company, 2008.
- [3] R. E. Criss , Principles of Stable Isotope Distribution, Oxford University Press, 1999.
- [4] J. O. Hirschfelder and C. F. Curtiss, the Molecular Theory of Gases and Liquids, Wiley, New York, NY, 1954.
- [5] Bird, G.A.: Molecular Gas Dynamics and the Direct Simulation of Gas Flows. Oxford University Press, New York (1994)
- [6] Masoud Khajenoori, Jaber Safdari, Ali Haghghi Asl, Ali Norouzi, Modeling gas-granular flow in molecular using the DSMC method and continuum regions by Onsager's pancake equation with mass sources and sinks in a rotating cylinder. Granular Matter, 2019, 1-16.
- [7] R. D. Present, Kinetic Theory of Gases, New York: McGraw Book Company, 2008.