

ارائه یک مدل جهت پیش بینی خواص ترمودینامیکی محلولهای پلیمری با استفاده داده های تجربی ویسکوزیته

مسعود راهبری سی سخت^۱، مجید تقی زاده^{۲*}، علی الیاسی^۳

۱- دانشگاه علوم و فنون، گروه مهندسی شیمی^{۲*} - دانشگاه مازندران، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی

شیمی E-mail: taghizadehfr@yahoo.com

۳- سازمان پژوهشهای علمی و صنعتی ایران، پژوهشکده صنایع شیمیایی

چکیده

در این مقاله مدلی برای پیش بینی اکتیویته حلال در مخلوطهای دو جزئی پلیمری ارائه شده است که در آن بنحوی از داده های ویسکوزیته استفاده می شود. توانایی این مدل برای سیستمهای آبی پلی اتیلن گلیکول (PEG) با جرم مولکولی های ۳۰۰،۴۰۰ و ۶۰۰۰ و محلول اتانل و پلی پروپیلن گلیکول (PPG) با جرم مولکولی ۲۰۲۵ در دما و غلظتهای مختلف بررسی شده و با نتایج تجربی مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج نشان میدهند که در محدوده ای از غلظت که داده های تجربی موجود است، مدل از دقت خوبی برخوردار است. همچنین ویسکوزیته، دانسیته و اکتیویته این محلولها اندازه گیری شده که برخی از این داده های تجربی ارائه میگردند.

واژه های کلیدی: اکتیویته حلال؛ ویسکوزیته؛ دانسیته؛ مخلوط پلیمری؛ مدل ترمودینامیکی.

مقدمه

در سالهای اخیر محلولهای آبی پلیمری کاربرد گسترده ای را پیدا کرده اند که عمدتاً بدلیل کارایی آنها در عملیات جداسازی و تخلیص بیومولکولها بوده است [۱ و ۲]. در این مورد محلولهای پلی اتیلن گلیکول (PEG) از جذابیت بیشتری برخوردار بوده اند. سمیت کم و حلالیت بالا در آب، استفاده از آنها را برای خالص سازی مواد بیولوژیکی امکان پذیر می سازد [۳]. با وجود موفقیت در تکنیک های جداسازی سیستمهای آبی دو فازی، داده های مربوط به خواص فازی سیستمها که برای طراحی فرایندهای استخراج و توسعه مدلهای ترمودینامیکی لازم است، کم می باشد [۴]. یکی از مهمترین خواص ترمودینامیکی محلولها اکتیویته است که با معلوم بودن آن بسیاری از خواص ترمودینامیکی دیگر قابل محاسبه اند. روشهای تجربی اندازه گیری این

کمیت نیز متنوع بوده اما همواره نیازمند تجهیزات دقیق و گرانقیمت است. از این میان به روشهای کروماتوگرافی گازی، اندازه گیری فشاربخار، نزول نقطه انجماد و صعود نقطه جوش، اسمومتری غشایی، اسمومتری فشار بخار، روش ایزو پایستیک و... می توان اشاره نمود [۵]. برای اجتناب از آزمایشات پرهزینه از سالها قبل توجه خاصی به ارائه مدلهای ترمودینامیکی مختلف برای پیش بینی یا محاسبه خواص ترمودینامیکی شده است که ارائه معادله حالت های مختلف و مدل های ضریب اکتیویته از جمله این فعالیت ها می باشند. در کار حاضر یک مدل ساده برای محاسبه اکتیویته حلال در مخلوطهای پلیمری بر اساس میزان تئوری مطلق آیرینگ (Eyring absolute rate theory) ارائه شده که ضرایب آن با استفاده از داده های ویسکوزیته و

$$\rho(gcm^{-3}) = a + bw_2 + cw_2^2 \quad (1)$$

که در آن ρ دانسیته محلول در دماهای اندازه گیری شده، a ، b ، c ضرایب ثابت و w_2 جزء جرمی پلیمر در محلول می باشند. مقادیر این ضرایب به روش حداقل مربعات خطا محاسبه شده اند.

برای اندازه گیری ویسکوزیته محلولها از ویسکومتر (Ubbelohode) استفاده گردید. زمان سقوط محلولها با استفاده از کرنومتر (Stopwatch) با دقت ± 0.01 s اندازه گیری و برای گرم کردن نمونه ها از حمام آب استفاده شد. برای اندازه گیری ویسکوزیته 10 cc محلول را در ویسکومتر ریخته و با مکیدن آنرا به سطح مورد نظر (خط نشان ویسکومتر) رسانده، محلول را رها می کنیم تا سقوط کند. زمان سقوط محلول را بین دوخط نشان اندازه گیری کرده و از رابطه زیر مقدار ویسکوزیته را محاسبه می کنیم:

$$\frac{\eta}{\eta_0} = \frac{\rho t}{\rho_0 t_0} \quad (2)$$

که در آن η ویسکوزیته محلول η_0 ویسکوزیته حلال خالص، ρ دانسیته محلول و ρ_0 دانسیته حلال خالص [۶]، t زمان سقوط محلول و t_0 زمان سقوط حلال خالص در دماهای مختلف می باشند. هر آزمایش ۳ بار تکرار شده و تکرار پذیری اندازه گیری ویسکوزیته ± 0.0002 mPas تخمین زده می شود. لازم به ذکر است که تمامی محلولهای تهیه شده که اندازه گیری ویسکوزیته در مورد آنها صورت گرفته است سیال نیوتنی می باشند [۷].

معادله زیر جهت تعیین ویسکوزیته با استفاده از داده های تجربی ارائه شده است:

$$\eta(mPas) = a' + b'w_2 + c'w_2^2 + d'w_2^3 \quad (3)$$

که در آن η ویسکوزیته محلولهای پلیمری در دماهای اندازه گیری شده و a' ، b' ، c' ، d' ضرایب معادله و w_2 جزء جرمی پلیمر در محلول می باشد.

اکتیویته حلال در محلول پلیمری پلی پروپیلن گلايکول (PPG2025) و اتانال با روش اسموتري فشار بخار (VPO) در دماهای ۳۱۸/۲K و ۳۲۸/۲K و در غلظت های ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴ وزنی از پلیمر اندازه گیری گردید.

دانسیته مخلوط که با صرف هزینه بسیار کم قابل دستیابی است محاسبه گردیده و به داده های دیگر نیازی نمی باشد.

آزمایشات

دانسیته، ویسکوزیته و اکتیویته محلولهای پلیمری در دما و غلظتهای مختلف اندازه گیری شده و داده های دانسیته و ویسکوزیته به وسیله معادلات چند جمله ای درجه دو و سه بیان گردیده اند.

مواد مصرفی مورد استفاده در این آزمایشات شامل پلی اتیلن گلايکول (PEG) با جرم مولکولی های ۲۰۰ و ۳۰۰ از شرکت (Merck) و پلی اتیلن گلايکول ۶۰۰۰ از شرکت (Fluka) و پلی پروپیلن گلايکول (PPG) با جرم مولکولی ۲۰۲۵ از شرکت Riedel - dehaen و اتانال با درجه خلوص بیشتر از ۹۹/۸٪ ساخت Merck می باشند. برای تهیه محلولهای آبی از آب دو بار تقطیر استفاده شده است.

محلولهای مورد نیاز به طریق وزن سنجی و با استفاده از ترازویی با دقت ± 0.1 mg تهیه شده اند.

برای اندازه گیری دانسیته محلولها از پیکنومتر شیشه ای 10cm^3 استفاده شده که حجم آن براساس تابعی از دما کالیبره گردید.

بدین منظور در دماهای مورد نظر پیکنومتر را از محلول پر کرده، سپس بمدت ۱۰ تا ۱۵ دقیقه در حمام آب دردمای مورد نظر قرار می دهیم. پیکنومتر را بیرون آورده، کاملاً خشک نموده و به دقت وزن می کنیم. این عمل را برای تمامی غلظت های مورد نظر تکرار کرده تا وزن پیکنومتر و محلول بدست آید. با کم کردن وزن پیکنومتر خالی از وزن کل، وزن محلولهای پلیمری بدست می آید. با تقسیم کردن وزن محلولها بر حجم پیکنومتر دانسیته محلولها محاسبه می گردد.

حمام آب استفاده شده در این آزمایشات یک حمام دمای ثابت با دقت ± 0.1 درجه سانتی گراد بوده است. هر آزمایش ۵ بار تکرار شده و تکرارپذیری اندازه گیری دانسیته ± 0.0002 gcm⁻³ تخمین زده می شود. معادله زیر جهت تعیین دانسیته با استفاده از داده های تجربی ارائه شده است:

مدل

در این قسمت سعی شده است مدلی برای محاسبه اکتیویته محلولهای پلیمری ارائه شود که در آن با استفاده از داده های ویسکوزیته که اندازه گیری آن نسبتاً آسانتر و کم هزینه تر است، بتوان اکتیویته حلال را در محلول محاسبه نمود. R.J.Martins و همکارانش [۹] بر اساس تئوری میزان مطلق آیرینگ [۱۰] و روابط ارائه شده توسط Schrodtt [۱۱] و Cao [۱۲]، مدلی را برای محاسبه ویسکوزیته محلولهای الکترولیتی از انرژی آزاد گیبس اضافی بصورت زیر ارائه دادند:

$$\ln(\eta v) = \sum_i x_i \ln(\eta_i v_i) + \frac{g_E}{RT} \quad (4)$$

که η ویسکوزیته مخلوط مایع و v حجم مولی مخلوط مایع، x_i کسر مولی جزء i ، η_i ویسکوزیته و حجم مولی اجزاء خالص i ، R ثابت گازها و T دمای مطلق می باشد.

مدل ارائه شده برای محلولهای پلیمری بر اساس معادله فوق به صورت زیر بیان میشود:

$$\frac{g_E^*}{RT} = (\eta v) - \sum_i x_i (\eta_i v_i) \quad (5)$$

با تقسیم طرف دوم بر $\eta_2 v_2$ میتوان معادله را برای مخلوط دو جزئی بصورت زیر بدون بعد کرد:

$$\frac{g_E}{RT} = \left(\frac{\eta v}{\eta_2 v_2} \right) - \left(\frac{x_1 \eta_1 v_1}{\eta_2 v_2} \right) - \left(\frac{x_2 \eta_2 v_2}{\eta_2 v_2} \right) \quad (6)$$

مقادیر انرژی آزاد گیبس اضافی را می توان از تلفیق این معادله با معادلات ۳ و ۱ بصورت زیر بدست آورد:

$$\frac{g_E}{RT} = \left(\frac{(a + bw_2 + cw_2^2)(a' + b'w_2 + c'w_2^2 + d'w_2^3)}{\eta_2 v_2} \right) - \left(\frac{x_1 \eta_1 v_1}{\eta_2 v_2} \right) - \left(\frac{x_2 \eta_2 v_2}{\eta_2 v_2} \right) \quad (7)$$

که در اینجا w_2 جزء جرمی پلیمر، m_1 جرم مولکولی حلال، m_2 جرم مولکولی پلیمر و x_1 جزء مولی حلال می باشد.

از طرفی رابطه زیر در ترمودینامیک کلاسیک برقرار است [۱۳]:

$$RT \ln \gamma_1 = g_E + (1 - x_1) \frac{\partial g_E}{\partial x_1} \quad (8)$$

با در نظر گرفتن $a_1 = x_1 \gamma_1$ و محاسبه $\frac{\partial g_E}{\partial x_1}$ از معادله ۷

همراه با جایگزینی $\frac{g_E}{RT}$ در معادله ۸ رابطه نهائی زیر حاصل می شود:

$$\ln a_1 = \left(\frac{(a + bw_2 + cw_2^2)(a' + b'w_2 + c'w_2^2 + d'w_2^3)}{\eta_2 v_2} \right) - \left(\frac{x_1 \eta_1 v_1}{\eta_2 v_2} \right) - x_2 + \frac{(1 - x_1)}{RT} \frac{\partial g_E}{\partial x_1} + \ln x_1 \quad (9)$$

اکتیویته حلال (a_1) در محلولهای پلیمری مستقیماً از رابطه ۹ با استفاده از داده های تجربی ویسکوزیته و دانسیته محاسبه میگردد.

نتیجه گیری

ضرایب معادلات ۱ و ۳ برای محلول های پلیمری استفاده شده در این مطالعه در جداول ۱-۴ آورده شده اند.

جداول ۵-۷ اکتیویته حلال در محلولهای آبی PEG 300 و PEG6000 و محلول PPG 2025 در اتانل را نشان می دهند. در این جداول اکتیویته های حلال که از مدل محاسبه شده اند با مقادیر اندازه گیری شده در این کار و نیز مقادیر گزارش شده توسط Eliassi و همکارانش [۱۴] و Herskowitz و همکارانش [۱۵] مقایسه گردیدند.

بیشترین خطای متوسط نسبی

(Maximum Average Relative Division) مربوط به محلول آبی PEG 200 می باشد که مقدار آن

۴/۲۱۲۸ درصد بوده و کمترین مقدار، مربوط به محلول های آبی PEG 6000 با ۰/۱۳۷۸ در صد خطا می باشد.

در شکل (۱) ویسکوزیته محلول های آبی PEG6000 در دمای ۲۵°C با داده های اندازه گیری شده توسط Mei و همکارانش [۱۶] مورد مقایسه قرار گرفته است. همانطور

8. Brown. W.; J. Appl. Poly. Sci., 11, 23 81-2396, (1967).

9. R. J. Martins, M. J. E. de M. Cardoso, and O. E. Barcia., Ind. Eng. Chem. Res. 39(2000) 849-854.

10. S. Glasstone, K.J. Laidler, H. Eyring, The Theory of Rate Process, McGraw-Hill, New York, 1941.

11. J. T. Schrodtt, R. M. Akel, J. Chem. Eng. Data. 34(1989) 8.

12. W. Cao, Aa. Fredenslund, P. Rasmussen., Ind. Eng. Chem. Res. 31(1992) 2603.

13. J. M. Prausnitz, R. N. Lichtenthaler, E. G. Azevedo, Molecular Thermodynamics of Fluid Phase Equilibria, Prentice-Hall, (1999).

14. A. Eliassi, H. Modarress, G. A. Mansoori, J. Chem. Eng. Data, 44(1999).

15. M. Herskowitz, M. Gottlieb., J. Chem. Eng. Data. 30 (1985) 233-234.

16. Le-He Mei, Dong-Qiang Lin, Zi-Qiang Zhu, Zhao-Xiong Han., J. Chem. Eng. Data. 40, 1168-1171, (1995).

که مشاهده می شود رابطه (۳) این داده ها را بخوبی پوشش می دهد. شکل (۲) دانسیته محلول های آبی PEG 200 در دو دمای 40°C و 60°C را نشان می دهد. در شکل (۳) ویسکوزیته محلول های PEG 300 و PPG 2025 در اتانل در دمای 45°C با هم مقایسه شده اند. شکل (۴) ویسکوزیته محلول های PEG 300 در آب و اتانل در دمای 55°C را نشان می دهد.

در شکل (۵) اکتیویته اتانل در محلول PPG 2025 و در شکلهای ۶-۸ اکتیویته آب در محلول های آبی PEG 200، PEG 300 و PEG 6000 در دماهای مختلف نشان داده شده اند.

منابع

1. P.A. Albertsson, Partition of Cell Particles and Macromolecules, 3rd ed. John Wiley, (1986).
2. Powell, G.M. Polyethylene Glycol. In Handbook of water soluble gums and resins, Davidson, R.I., Ed.; McGraw Hill Book Company: New York, (1980); Chapter 18.
3. Silva, L. H. M. Coimbra, J.S. R.; Meirelles, A. J. A. Equilibrium phase behavior of poly (ethylene glycol) + potassium phosphate + water two phase systems at various PH and temperatures. J. Chem. Eng. Data (1997), 42, 398-401.
4. Kula, M. R.; Kroner, K. H.; Hustedt, H. In Advance in Biochemical Engineering; A., Fiechter, Ed.; Springer-Verlag: Berlin, (1982); Vol. 24.
5. H. Modarress, A. Eliassi, A Review on Experimental Methodes and Applications for Measurment of thermodynamic Properties of polymer sloutions, IR.J.Poly.Sci.Tech, 6, 240, (1994).
6. R. H. Perry, D. Green, Chemical Engineer's HandBook, 6th ed. Mc Graw Hill., New York, (1984).
7. Gonzalez - Tello, P., Camacho, F., Blazquez, G., J. Chem. Eng. Data. 93, 611-614, (1994).

جدول (۱) - ضرایب معادله (۱) برای محلولهای آبی PEG

T/k	a	b	C	%ARD‡
PEG200				
۳۱۳/۲	۰/۹۷۲۹	۰/۲۴۳۸	-۰/۱۰۷۳	۰/۱۸۷۷
۳۳۳/۲	۰/۹۸۰۴	۰/۱۷۹۶	-۰/۰۶۴۰	۰/۱۸۰۸
PEG300				
۳۰۸/۲	۰/۹۹۵۱	۰/۱۲۸۰	۰/۰۷۳۵	۰/۰۸۹۲
۳۱۸/۲	۰/۹۸۹۸	۰/۱۴۳۴	-۰/۰۰۷۹	۰/۰۲۱۵
۳۲۸/۲	۰/۹۸۸۵	۰/۱۲۰۶	۰/۰۱۸۹	۰/۰۴۷۱
۳۳۸/۲	۰/۹۶۷۷	۰/۲۲۶۳	-۰/۱۵۴۲	۰/۰۸۶۹
PEG6000				
۲۹۳/۲	۱/۰۰۵۸	۰/۱۸۳۵	-۰/۰۵۷۱	۰/۰۳۶۸
۳۰۸/۲	۰/۹۸۷۱	۰/۲۲۹۶	-۰/۱۲۱۰	۰/۰۶۲۲
۳۱۸/۲	۰/۹۸۲۴	۰/۲۱۴۹	-۰/۰۹۶۱	۰/۱۲۹۲
۳۲۸/۲	۰/۹۷۸۸	۰/۱۹۰۶	-۰/۰۳۷۸	۰/۰۵۶۲
۳۳۸/۲	۰/۹۷۰۶	۰/۲۰۶۵	-۰/۰۶۰۰	۰/۲۲۶۴

$$\ddagger \text{ Average relative diviation (\%)} = 100 \times \sum_{i=1}^n |(a_i^{cal} - a_i^{exp}) / a_i^{exp}| / n,$$

جدول (۲) - ضرایب معادله (۱) برای محلولهای PEG 300 و اتانل و محلولهای PPG 2025 و اتانل

T/k	a	B	C	%ARD‡
PEG 300				
۳۰۸/۲	۰/۷۸۲۷	۰/۲۶۹۰	۰/۰۶۹۳	۰/۰۰۳۵
۳۱۸/۲	۰/۷۷۴۳	۰/۲۷۰۹	۰/۰۶۷۸	۰/۰۰۵۲
۳۲۸/۲	۰/۷۶۴۵	۰/۲۶۶۶	۰/۰۸۶۳	۰/۰۰۹۰
۳۳۸/۲	۰/۷۵۴۸	۰/۲۷۵۴	۰/۰۶۸۴	۰/۰۰۰۴
PPG 2025				
۳۰۸/۲	۰/۷۸۸۹	۰/۲۸۱۷	-۰/۲۵۷۳	۰/۰۸۲۴
۳۱۸/۲	۰/۷۹۲۱	۰/۱۶۶۵	-۰/۰۱۰۳	۰/۰۷۹۲
۳۲۸/۲	۰/۷۵۶۲	۰/۳۸۳۰	-۰/۴۱۳۴	۰/۰۰۵۱
۳۳۸/۲	۰/۷۲۹۵	۰/۴۷۹۹	-۰/۵۴۰۸	۰/۰۱۳۴

جدول (۳) - ضرایب معادله (۳) برای محلولهای آبی PEG

T/K	a'	b'	C'	d'	%ARD‡
PEG 200					
۳۱۳/۲	۱/۰۸۳	۱/۷۴۳	-۳/۷۰۷	۲۷/۴۳۷	۰/۰۲۷
۳۳۳/۲	۰/۴۰۲	۳/۰۵۵	-۵/۴۲۹	۱۵/۶۶۳	۰/۵۷۷
PEG 300					
۳۰۸/۲	۰/۹۱۵	۰/۳۲۲	۱۵/۸۸۵	۳/۴۷۸	۰/۰۰۸
۳۱۸/۲	۰/۷۵۶	۰/۶۹۶	۱۰/۶۵۱	۵/۳۵۸	۰/۰۰۸
۳۲۸/۲	۰/۷۱۳	-۰/۷۰۸	۱۴/۰۹۴	-۵/۵۶۳	۰/۰۰۵
۳۳۸/۲	۰/۵۴۸	-۰/۱۰۶	۱۰/۳۹۳	-۵/۵۱۱	۰/۰۰۶
PEG 6000					
۲۹۳/۲	۱/۸۹۳	-۸/۶۶۲	۳۲۴/۶۸۶	۵۴/۶۶۷	۰/۰۴۰
۳۰۸/۲	۰/۳۹۳	۲۸/۳۳۸	-۱۲۶/۴۹۱	۹۷۹/۴۲۹	۰/۲۳۲
۳۱۸/۲	۰/۵۵۶	۱۷/۹۷۸	-۷۴/۱۱۵	۷۶۵/۰۸۱	۰/۱۵۹
۳۲۸/۲	۰/۳۳۸	۱۶/۳۲۷	-۴۷/۷۷۷	۴۹۱/۸۹۴	۰/۲۱۸
۳۳۸/۲	۰/۳۰۵	۱۱/۹۸۳	-۲۶/۵۹۷	۳۵۴/۱۲۸	۰/۰۵۹

جدول (۴) - ضرایب معادله (۳) برای محلولهای PEG 300 و اتانل و محلولهای PPG 2025 و اتانل

%ARD‡	D'	c'	b'	a'	T/k
PEG 300					
/۰۰۷۰	۵۹/۳۵۲	-۳۹/۴۷۹	۱۶/۲۰۱	-۰/۰۲۸	۳۰۸/۲
۰/۳۱۸	۴۰/۷۸۵	-۳۰/۳۳۲	۱۳/۹۹۲	-۰/۰۲۴	۳۱۸/۲
۰/۲۳۶	۴۵/۴۸۹	-۲۹/۴۱۷	۱۱/۶۶۲	۰/۰۱۳	۳۲۸/۲
۰/۰۲۱	-۰/۰۴۵	۰/۸۵۸	۵/۸۰۰	۰/۰۰۲	۳۳۸/۲
PPG 2025					
۰/۰۰۲	۷/۸۶۶	۱۱/۵۲۴	۳/۷۱۳	۰/۹۸۷	۳۰۸/۲
۰/۰۰۹	۱۰۳/۹۶۰	-۴۹/۷۸۸	۱۴/۰۷۵	۰/۲۸۵	۳۱۸/۲
۰/۰۰۲	۹۶/۵۱۱	-۴۷/۱۰۹	۱۲/۸۱۷	۰/۱۹۲	۳۲۸/۲
۰/۰۰۵	۱۱/۶۲۳	-۰/۰۱۶	۴/۰۲۰	۰/۴۸۳	۳۳۸/۲

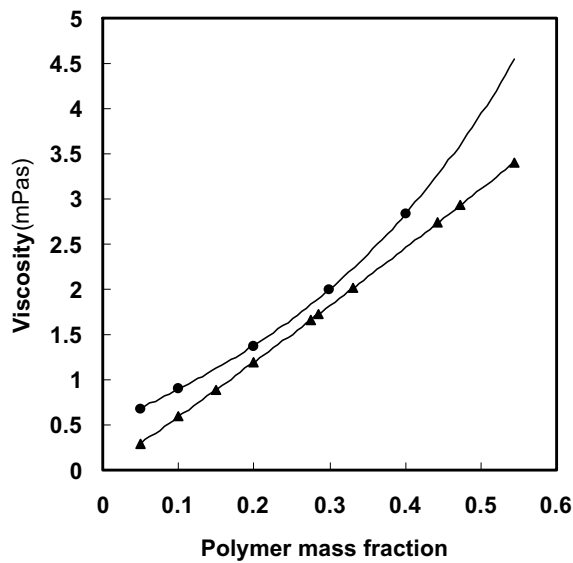
جدول (۵) اکتیویته آب در محلولهای آبی PEG 6000			
RD [‡] (%)	<i>a</i> * _{exp}	<i>a</i> model	<i>x</i> _w
T=۳۰۸/۲			
-	-	۰/۹۶۰۶	۰/۹۹۸۴
-۰/۴۳۱۷	۰/۹۹۶۱	۰/۹۹۱۸	۰/۹۹۹۳
-۰/۰۲۰۰	۰/۹۹۹۲	۰/۹۹۹۰	۰/۹۹۹۷
-۰/۰۲۰۰	۰/۹۹۹۶	۰/۹۹۹۴	۰/۹۹۹۸
-۰/۰۳۰۰	۰/۹۹۹۸	۰/۹۹۹۵	۰/۹۹۹۹
T=۳۱۸/۲			
-	-	۰/۹۶۰۰	۰/۹۹۸۴
-۰/۴۸۱۹	۰/۹۹۶۰	۰/۹۹۱۲	۰/۹۹۹۳
۰/۰۴۰۰	۰/۹۹۸۶	۰/۹۹۹۰	۰/۹۹۹۷
۰/۰۳۰۰	۰/۹۹۹۳	۰/۹۹۹۶	۰/۹۹۹۸
۰/۰۰۰	۰/۹۹۹۸	۰/۹۹۹۸	۰/۹۹۹۹
T=۳۲۸/۲			
-	-	۰/۹۶۱۵	۰/۹۹۸۴
-۰/۵۹۱۶	۰/۹۹۷۳	۰/۹۹۱۴	۰/۹۹۹۳
-۰/۰۷۰۰	۰/۹۹۹۵	۰/۹۹۸۸	۰/۹۹۹۷
-۰/۰۵۰۰	۰/۹۹۹۸	۰/۹۹۹۳	۰/۹۹۹۸
-۰/۰۴۰۰	۰/۹۹۹۹	۰/۹۹۹۵	۰/۹۹۹۹
T=۳۳۸/۲			
-	-	۰/۹۶۱۶	۰/۹۹۸۴
-۰/۶۷۱۵	۰/۹۹۷۷	۰/۹۹۱۰	۰/۹۹۹۳
-۰/۰۹۰۰	۰/۹۹۹۵	۰/۹۹۸۶	۰/۹۹۹۷
-۰/۰۵۰۰	۰/۹۹۹۷	۰/۹۹۹۲	۰/۹۹۹۸
-۰/۰۴۰۰	۰/۹۹۹۸	۰/۹۹۹۴	۰/۹۹۹۹

جدول (۶) اکتیویته آب در محلولهای آبی PEG 300			
RD [‡] (%)	<i>a</i> * _{exp}	<i>a</i> model	<i>x</i> _w
T=۳۰۸/۲			
۰/۷۳۳۳	۰/۹۴۱۰	۰/۹۴۷۹	۰/۹۶۲۷
-۰/۲۸۰۰	۰/۹۶۴۳	۰/۹۶۱۶	۰/۹۷۵۱
-۰/۳۵۶۶	۰/۹۸۱۵	۰/۹۷۸۰	۰/۹۸۵۲
۰/۰۵۰۴	۰/۹۹۱۷	۰/۹۹۲۲	۰/۹۹۲۸
T=۳۱۸/۲			
-۰/۱۵۸۶	۰/۹۴۵۸	۰/۹۴۴۳	۰/۹۶۲۷
-۰/۸۶۸۷	۰/۹۶۷۰	۰/۹۵۸۶	۰/۹۷۵۱
-۰/۶۳۱۳	۰/۹۸۲۱	۰/۹۷۵۹	۰/۹۸۵۲
-۰/۰۸۰۷	۰/۹۹۱۵	۰/۹۹۰۷	۰/۹۹۲۸
T=۳۲۸/۲			
۰/۵۰۵۳	۰/۹۴۹۹	۰/۹۵۴۷	۰/۹۶۲۷
-۰/۶۷۰۸	۰/۹۶۹۰	۰/۹۶۲۵	۰/۹۷۵۱
-۰/۵۱۸۹	۰/۹۸۲۹	۰/۹۷۷۸	۰/۹۸۵۲
۰/۲۸۲۳	۰/۹۹۱۹	۰/۹۹۴۷	۰/۹۹۲۸
T=۳۳۸/۲			
۰/۷۵۵۳	۰/۹۵۳۳	۰/۹۶۰۵	۰/۹۶۲۷
-۰/۶۲۸۴	۰/۹۷۰۷	۰/۹۶۴۶	۰/۹۷۵۱
-۰/۵۴۹۴	۰/۹۸۲۹	۰/۹۷۷۵	۰/۹۸۵۲
۰/۱۷۱۴	۰/۹۹۱۹	۰/۹۹۳۶	۰/۹۹۲۸

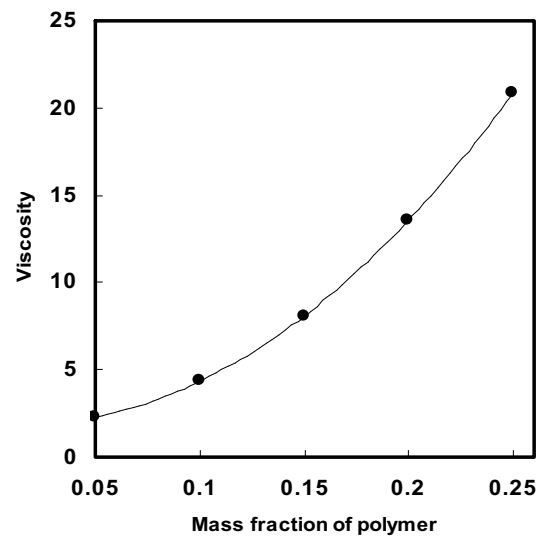
* Eliassi et al [14]

جدول (۷) اکتیویته اتانل در محلولهای PPG2025 و اتانل

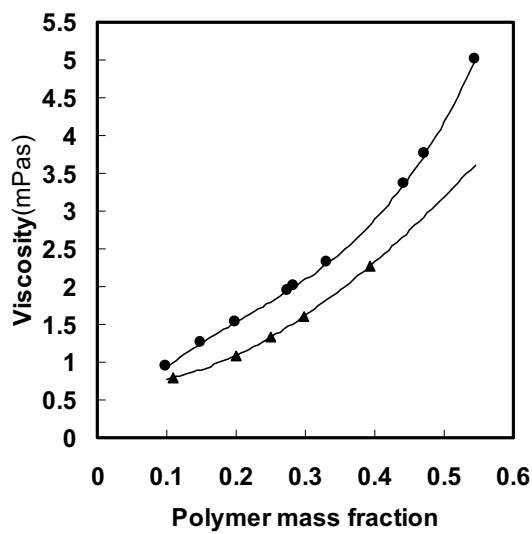
RD (%)	a_{exp}	a_{model}	x_w
		$T = 318 / 2$	
۰/۱۵۰۴	۰/۹۹۶۰	۰/۹۹۷۵	۰/۹۹۷۵
۰/۲۱۱۲	۰/۹۹۲۳	۰/۹۹۴۴	۰/۹۹۴۴
-۰/۵۳۰۷	۰/۹۸۵۱	۰/۹۷۹۹	۰/۹۹۰۴
-۴/۹۴۸۱	۰/۹۷۹۹	۰/۹۳۳۷	۰/۹۸۵۱
		$T = 328 / 2$	
۰/۰۴۰۱	۰/۹۹۷۱	۰/۹۹۷۵	۰/۹۹۷۵
۰/۰۰۰	۰/۹۹۴۱	۰/۹۹۴۱	۰/۹۹۴۴
-۱/۱۰۲۸	۰/۹۹۰۱	۰/۹۷۹۳	۰/۹۹۰۴
-۵/۵۶۵۷	۰/۹۸۴۴	۰/۹۳۲۵	۰/۹۸۵۱



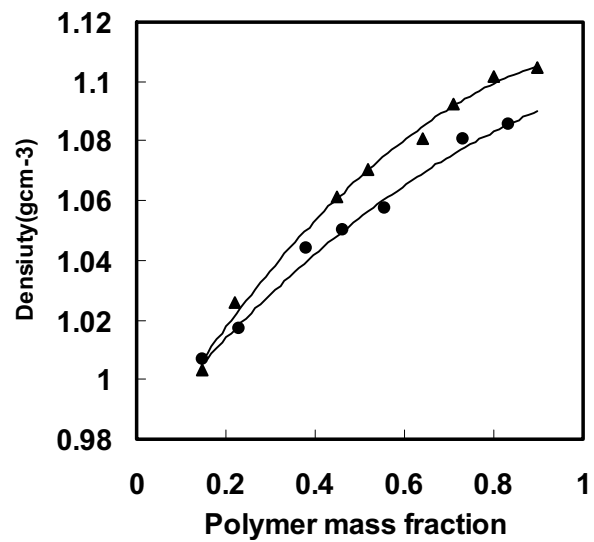
شکل (۳) - ویسکوزیته محلولهای اتانل و PEG 300, ▲, PPG 2025, ● در $T=45^{\circ}\text{C}$.



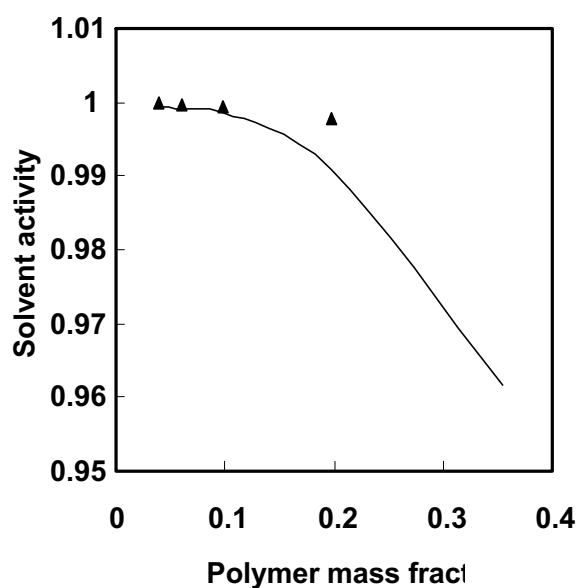
شکل (۱) - ویسکوزیته محلول PEG 6000 در آب (●، نقاط گزارش شده توسط Mei و همکارانش [۱۶]، معادله (۳) در $T=25^{\circ}\text{C}$ ، —،



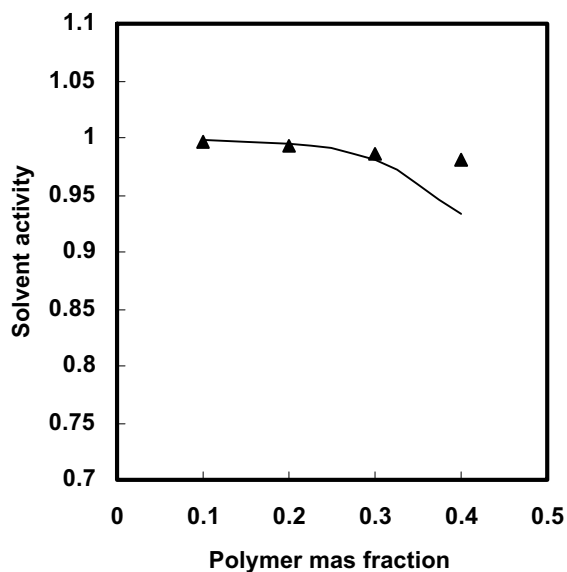
شکل (۴) - ویسکوزیته محلولهای PEG 300 در اتانل و آب (● اتانل، ▲ آب، — معادله (۲) و $T=55^{\circ}\text{C}$.



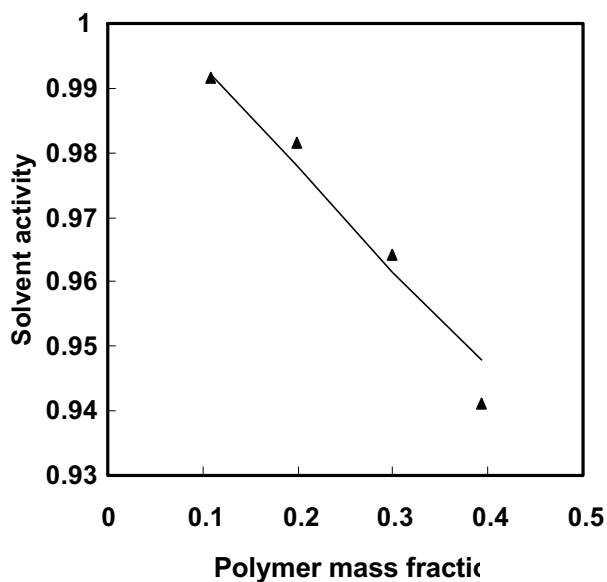
شکل (۲) - دانسیته محلولهای آبی PEG 200 (▲، $T=40^{\circ}\text{C}$ ، ●، $T=60^{\circ}\text{C}$ ، — معادله (۱))



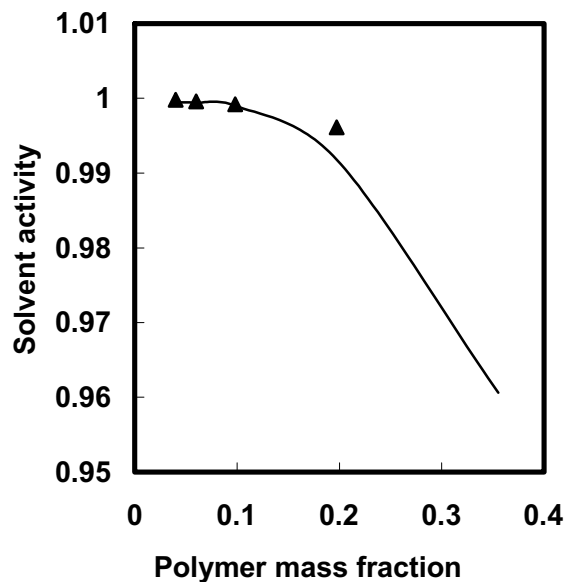
شکل (۷) - اکتیویته حلال در محلول های آبی PEG
 $T=55^{\circ}\text{C}$ (Model, —, Eliassi et al [۱۴], \blacktriangle) 6000



شکل (۵) - اکتیویته حلال در محلول های اتانل و
 در (Model, —, Exp.[This work], \blacktriangle) PPG 2025
 $T=45^{\circ}\text{C}$



شکل (۸) - اکتیویته حلال در محلول های آبی PEG
 $T=45^{\circ}\text{C}$ (Model —, Eliassi et al [۱۴], \blacktriangle) 300



شکل (۶) - اکتیویته حلال در محلول های آبی PEG
 (Model —, [۱۵] M.Hwerskowitz, \blacktriangle) 200
 $T=65^{\circ}\text{C}$