

## مشخص سازی برشهای نفتی سنگین

منوچهر نیک آذر\* ، امیر جدی ، بهرام دبیر\*

\* دانشکده مهندسی شیمی - دانشگاه صنعتی امیر کبیر

nikazar@yahoo.com

### چکیده

در این مقاله، معادله ای جهت مشخص سازی خواص برشهای سنگین نفتی و مخلوطهای هیدروکربنی نامشخص سنگین ارایه شده است. تنها پارامتر مورد استفاده در این معادله، جرم مولکولی برش می باشد و نتایج بر اساس اطلاعات تجربی برشهای با جرم مولکولی بیش از ۲۰۰ (تعداد اتم کربن بیش از ۱۵) حاصل شده اند. دقت پیش بینی برخی از خواص فیزیکی نسبت به معادلات قبلی بهبود یافته و در مقایسه با برخی از معادلات قبلی دقت یکسانی دارد، ولی فرم معادله به شکل ساده تری می باشد. این معادله برای برشهای با محدوده جرم مولکولی ۶۰۰-۲۰۰، خصوصاً برشهای پارافینیک با دقت بسیار خوبی قابل کاربرد است.

واژگان کلیدی: خواص مواد نفتی؛ برشهای سنگین نفتی؛ مشخص سازی؛ پیش بینی خواص

### مقدمه

مشخص سازی برشهای سنگین هیدروکربوری از ابتدای امر مورد توجه محققین بسیاری بوده است، اما پیشرفت واقعی آن از اواخر دهه ۱۹۷۰ با توجه به کارهای **Kesler-Lee** در سال ۱۹۷۶، **Bergman** در سال ۱۹۷۷، **Robinson**، **Peng** و **Rowe** [1] در سال ۱۹۷۸ می باشد معادلات **Kesler-Lee** [2] برای تخمین دما و فشار بحرانی، جرم مولکولی و ضریب بی مرکزی، محدوده وسیعی از هیدروکربنهای خالص و برشهای سبک تا سنگین را تحت پوشش گرفته و نتایج آن دقت خوبی دارند و جزو پرکاربردترین معادلات مشخص سازی، خصوصاً در نرم افزارهای طراحی میباشند، ولی بعلت پیچیده بودن فرم معادلات، کمتر در محاسبات فوری مورد استفاده قرار می گیرند.

محدودیت عمده کارهای ارائه شده، دامنه عملکرد و استفاده آنهاست که صرفاً تا برش های **C<sub>20</sub>** را شامل می شوند

(حداکثر جرم مولکولی ۳۰۰) و برای برش های سنگین تر دقت بالایی ندارند. یکی از علل مهم این محدودیت عدم دسترسی کافی به اطلاعات تجربی دقیق و مناسب می باشد. علت دیگر نیز این است که در غالب مطالعات، اطلاعات هیدروکربن های خالص (تا **C<sub>24</sub>**) مورد استفاده قرار گرفته اند.

در سال ۱۹۹۵، **Riazi** و **Al-Sahhaf** [3] تاکید نمودند که بهترین پارامتر مشخص سازی برش های سنگین جرم مولکولی می باشد زیرا نقطه جوش نرمال برش های سنگین به علت بروز تجزیه حرارتی قبل از رسیدن به نقطه جوش، قابل اندازه گیری مناسب و مطمئن نیست، و به همین دلیل برای مشخص سازی برش های سنگین توصیه نمی شوند. در سال ۱۹۹۶، **Riazi** و **Al-Sahhaf** [4] معادله ای جهت پیش بینی بسیاری از خواص فیزیکی برش های نفتی تک کربن (**SCN**) ارائه نمودند که برای برش های با محدوده جوش باریک دقت بالایی دارد. پارامتر مورد استفاده آنان جرم

$$n = [M_{C7+} - 2.016] / 14.026 \quad (۳)$$

از قرار دادن رابطه ۳ در معادله ۱ خواهیم داشت:

$$\theta = C_0 + C_1M + C_2M^2 + C_3M^3 + C_4 / (M - 2.016) \quad (۴)$$

ثوابت معادله فوق با استفاده از معادلات تجربی موجود در جدول ۳ بدست آمده اند که مقادیر آن ها و مقادیر خطای حاصل از آن ها برای تخمین  $MeABP$ ،  $Sp.gr$ ،  $P_c$ ،  $T_c$ ،  $VABP$ ،  $d_{20}$  و  $V_c$  در جدول ۴ آورده شده است.

### نتیجه

خواص برش های جدول ۳ با استفاده از معادله ۴ و معادلات کارهای گذشته محاسبه شده و مقایسه گردیده اند. این مقایسه ها در جدول ۵ و اشکال ۱ تا ۶ نشان داده شده است. در شکل ۱ مقایسه تخمین دمای بحرانی از معادله ۴ با مقادیر تجربی و معادلات دیگران آورده شده است. در شکل ۲ مقایسه تخمین فشار بحرانی از معادله ۴ با مقادیر تجربی و معادلات دیگران آورده شده است. در شکل ۳ مقایسه تخمین  $VABP$  از معادله ۴ با مقادیر تجربی و معادلات دیگران آورده شده است. در شکل ۴ مقایسه تخمین  $MeABP$  از معادله ۴ با مقادیر تجربی و معادلات دیگران آورده شده است. در شکل ۵ مقایسه تخمین  $Sp.gr$  از معادله ۴ با مقادیر تجربی و معادلات دیگران آورده شده است. در شکل ۶ مقایسه تخمین دانسیته ( $d_{20}$ ) از معادله ۴ با مقادیر تجربی و معادلات دیگران آورده شده است. در مورد دمای بحرانی و چگالی نسبی دقت تخمین معادله بسیار خوب بوده و در مورد فشار بحرانی هم بهبود بسیار خوبی نسبت به سایر معادلات حاصل شده است. در تخمین نقاط جوش  $VABP$ ، معادله **Riazi** و **Al-Sahhaf** از دقت بالاتری برخوردار است. درخصوص دانسیته مایع هم دقت نتایج قابل قبول و مناسب می باشد.

مولکولی بوده و با استفاده از معادله قبلی خود، داده های جدول خواص فیزیکی **Katz- (1978) [5]** **Firoozabadi** را از  $C_{23}$  تا  $C_{50}$  تصحیح و اضافه نموده و ضریب نهایی معادله را برای هر خاصیت بر اساس داده های همان جدول گزارش کردند.

هدف نهایی از مشخص سازی، تعیین خواص فیزیکی و بحرانی نظیر نقطه جوش، چگالی نسبی، جرم مولکولی، فاکتورهای مشخص سازی، دما و فشار بحرانی و ضریب بی مرکزی می باشد، تا به عنوان پارامترهای ورودی معادلات حالت و مدل های پیش بینی خواص دیگر مورد استفاده قرار گیرند. بنابراین دقت تخمین آن ها بسیار حائز اهمیت است [6,7]. هدف از این مقاله، ارائه معادله ای است که با استفاده از جرم مولکولی برش های نفتی سنگین (۶۰۰-۲۰۰) خواص آن ها را پیش بینی نماید. لازم به تذکر می باشد که تمامی جداول و اشکال مورد اشاره، در انتهای متن آورده شده اند.

### بسط معادله

در سال ۱۹۸۵، **Ahmed [8]** رابطه ای را حسب تعداد اتم کربن و خواص فیزیکی برش های **SCN** بر اساس جدول ۱ به صورت زیر ارائه نمود:

$$\theta = a_1 + a_2n + a_3n^2 + a_4n^3 + a_5 / n \quad (۱)$$

که در آن  $\theta$  خاصیت فیزیکی،  $n$  تعداد اتم های کربن از ۶ تا ۴۵ و  $a_1$  تا  $a_5$  ضرایب معادله بر اساس جدول ۲ می باشند. از طرفی **Rowe (1978) [1]** با فرض برش **Lumped** برای برش های  $C_{7+}$  به عنوان یک هیدروکربن پارافینی نرمال، رابطه زیر را بین تعداد اتم کربن و جرم مولکولی برش ارائه نموده است:

$$n = [M_{C7+} - 2.0] / 14.0 \quad (۲)$$

این رابطه را می توان از رگرسیون جرم مولکولی هیدروکربنهای پارافینی بر حسب تعداد اتم کربن آن ها بدست آورد:

### علائم اختصاری

$a_i$	ضرایب ثابت معادله ۱ برای هر خاصیت
$C_i$	ضرایب ثابت معادله ۴ برای هر خاصیت
$d_{20}$	دانسیته مایع در $20^\circ$
$M$	جرم ملکولی
$MABP$	نقطه جوش میانگین مولی (R یا F °)
$MeABP$	نقطه جوش میانگین میانگین ها (R یا F °)
$n$	تعداد اتم کربن
$P_c$	فشار بحرانی (Psia)
$Sp.gr$	چگالی نسبی ( $60^\circ F/60^\circ F$ )
$T_c$	دمای بحرانی (R یا F °)
$V_c$	حجم بحرانی ( $cm^3/mol$ )
$VABP$	نقطه جوش میانگین جمعی (R یا F °)
$\theta$	خاصیت فیزیکی یا بحرانی مورد نظر
$\omega$	ضریب بی مرکزی

نتیجه اینکه از معادله ۴ درخصوص چگالی نسبی با اطمینان بسیار می توان استفاده نمود و تخمین چگالی نسبی برش های سنگین با ماهیت پارافینیک به سادگی امکان پذیر خواهد بود. در خصوص دمای بحرانی هم دقت معادله ۴ بالا بوده و با معادلات **Cavett** [8] و **Kesler-Lee** [2] تقریباً یکسان است ولی فرم معادله ۴ از دو معادله فوق ساده تر می باشد.

در خصوص فشار بحرانی نیز نتایج معادله فوق رضایت بخش است.

در جدول ۶ جدولی مشابه جدول **Katz-Firoozabadi** بر اساس ثوابت یافته شده از معادله ۴ برای جرم ملکولی ۲۰۰ تا ۶۰۰ ارائه شده است.

لازم به ذکر است که در صورت موجود بودن اطلاعات تجربی بیشتر، طبیعی است که ثوابت فوق، مقادیر دقیق تری یافته و نتایج معادله ۴ در خصوص پیش بینی خواص بهتر خواهد بود.

جدول ۱ - خواص فیزیکی تعمیم یافته Whitson-Katz-Firoozabadi

Group	T <sub>b</sub> (°R)	γ	K	M	T <sub>c</sub> (°R)	P <sub>c</sub> (psia)	ω	V <sub>c</sub> (ft <sup>3</sup> /lb)	Group
C <sub>6</sub>	607	0.690	12.27	84	923	483	0.250	0.06395	C <sub>6</sub>
C <sub>7</sub>	658	0.727	11.96	96	985	453	0.280	0.06289	C <sub>7</sub>
C <sub>8</sub>	702	0.749	11.87	107	1036	419	0.312	0.06264	C <sub>8</sub>
C <sub>9</sub>	748	0.768	11.82	121	1085	383	0.348	0.06258	C <sub>9</sub>
C <sub>10</sub>	791	0.782	11.83	134	1128	351	0.385	0.06273	C <sub>10</sub>
C <sub>11</sub>	829	0.793	11.85	147	1166	325	0.419	0.06291	C <sub>11</sub>
C <sub>12</sub>	867	0.804	11.86	161	1203	302	0.454	0.06306	C <sub>12</sub>
C <sub>13</sub>	901	0.815	11.85	175	1236	286	0.484	0.06311	C <sub>13</sub>
C <sub>14</sub>	936	0.826	11.84	190	1270	270	0.516	0.06316	C <sub>14</sub>
C <sub>15</sub>	971	0.836	11.84	206	1304	255	0.550	0.06325	C <sub>15</sub>
C <sub>16</sub>	1002	0.843	11.87	222	1332	241	0.582	0.06342	C <sub>16</sub>
C <sub>17</sub>	1032	0.851	11.87	237	1360	230	0.613	0.06350	C <sub>17</sub>
C <sub>18</sub>	1055	0.856	11.89	251	1380	222	0.638	0.06362	C <sub>18</sub>
C <sub>19</sub>	1077	0.861	11.91	263	1400	214	0.662	0.06372	C <sub>19</sub>
C <sub>20</sub>	1101	0.866	11.92	275	1421	207	0.690	0.06384	C <sub>20</sub>
C <sub>21</sub>	1124	0.871	11.94	291	1442	200	0.717	0.06394	C <sub>21</sub>
C <sub>22</sub>	1146	0.876	11.95	300	1461	193	0.743	0.06402	C <sub>22</sub>
C <sub>23</sub>	1167	0.881	11.95	312	1480	188	0.768	0.06408	C <sub>23</sub>
C <sub>24</sub>	1187	0.885	11.96	324	1497	182	0.793	0.06417	C <sub>24</sub>
C <sub>25</sub>	1207	0.888	11.99	337	1515	177	0.819	0.06431	C <sub>25</sub>
C <sub>26</sub>	1226	0.892	12.00	349	1531	173	0.844	0.06438	C <sub>26</sub>
C <sub>27</sub>	1244	0.896	12.00	360	1547	169	0.868	0.06443	C <sub>27</sub>
C <sub>28</sub>	1262	0.899	12.02	372	1562	165	0.894	0.06454	C <sub>28</sub>
C <sub>29</sub>	1277	0.902	12.03	382	1574	161	0.915	0.06459	C <sub>29</sub>
C <sub>30</sub>	1294	0.905	12.04	394	1589	158	0.941	0.06468	C <sub>30</sub>
C <sub>31</sub>	1310	0.909	12.04	404	1603	143	0.897	0.06469	C <sub>31</sub>
C <sub>32</sub>	1326	0.912	12.05	415	1616	138	0.909	0.06475	C <sub>32</sub>
C <sub>33</sub>	1341	0.915	12.05	426	1629	134	0.921	0.06480	C <sub>33</sub>
C <sub>34</sub>	1355	0.917	12.07	437	1640	130	0.932	0.06489	C <sub>34</sub>
C <sub>35</sub>	1368	0.920	12.07	445	1651	127	0.942	0.06490	C <sub>35</sub>
C <sub>36</sub>	1382	0.922	12.08	456	1662	124	0.954	0.06499	C <sub>36</sub>
C <sub>37</sub>	1394	0.925	12.08	464	1673	121	0.964	0.06499	C <sub>37</sub>
C <sub>38</sub>	1407	0.927	12.09	475	1683	118	0.975	0.06506	C <sub>38</sub>
C <sub>39</sub>	1419	0.929	12.10	484	1693	115	0.985	0.06511	C <sub>39</sub>
C <sub>40</sub>	1432	0.931	12.11	495	1703	112	0.997	0.06517	C <sub>40</sub>
C <sub>41</sub>	1442	0.933	12.11	502	1712	110	1.006	0.06520	C <sub>41</sub>
C <sub>42</sub>	1453	0.934	12.13	512	1720	108	1.016	0.06529	C <sub>42</sub>
C <sub>43</sub>	1464	0.936	12.13	521	1729	105	1.026	0.06532	C <sub>43</sub>
C <sub>44</sub>	1477	0.938	12.14	531	1739	103	1.038	0.06538	C <sub>44</sub>
C <sub>45</sub>	1487	0.940	12.14	539	1747	101	1.048	0.06540	C <sub>45</sub>

جدول ۲ - ضرایب معادله (۱) (Ahmed [1985])

θ	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	a <sub>4</sub>	a <sub>5</sub>	Ave. Dev. %	Max. Dev. %
MW	-131.11375	24.96156	-0.34079022	2.4941184*10 <sup>-3</sup>	468.32575	0.418	1.31
T <sub>c</sub> (°R)	915.53747	41.421337	-0.7586859	5.8675351*10 <sup>-3</sup>	-1.3028779*10 <sup>3</sup>	0.126	0.5
P <sub>c</sub> (psia)	275.56275	-12.522269	0.29926384	2.8452129*10 <sup>-3</sup>	1.7117226*10 <sup>3</sup>	2.071	5.3
T <sub>b</sub> (°R)	434.38878	50.125279	-0.9027283	7.0280657*10 <sup>-3</sup>	-601.85651	0.178	0.7
ω	-0.50862704	8.700211*10 <sup>-2</sup>	-1.8484814*10 <sup>-3</sup>	1.4663890*10 <sup>-5</sup>	1.8518106	1.152	3.7
γ	0.86714949	3.4143408*10 <sup>-3</sup>	-2.839627*10 <sup>-5</sup>	2.4943308*10 <sup>-8</sup>	-1.1627984	0.103	0.47
V <sub>c</sub> (ft <sup>3</sup> /lb)	5.223458 *10 <sup>-2</sup>	7.8709139*10 <sup>-4</sup>	-1.9324432*10 <sup>-5</sup>	1.7547264*10 <sup>-7</sup>	4.4017952*10 <sup>-2</sup>	0.099	0.49

جدول ۳ - اطلاعات تجربی چند برش سنگین

No.	M.W.	Sp.gr (60°F/60°F)	T <sub>b</sub> (°F)			T <sub>c</sub> (°F)	P <sub>c</sub> (psia)	d <sub>20</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	V <sub>c</sub> (cm <sup>3</sup> /mol)	Ref.
			VABP	MABP	MeABP					
1	214	0.8483	538.8	530.8	534.8	868	280	0.8415	[9]	
2	227.5	0.8602	547.2	536.2	540.7	879	290	0.8553	[9]	
3	317	0.899	746.0	737.5	740.5	1040.6	180.8		1275 [10]	
4	360	0.912		755	770	1070	154.7		Private	
5	415	0.922		811	830	1120	140		Private	
6	450	0.927		849	875	1145	124.8		Private	
7	540	0.940		939	970	1210	94.7		Private	

T<sub>c</sub>, MeABP, VABP in R ; P<sub>c</sub> in Psia ; d<sub>20</sub> in g/cm<sup>3</sup> ; V<sub>c</sub> in ft<sup>3</sup>/lb

جدول ۴ - ضرایب و خطاهای معادله (۴)

θ	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	% Abs. Dev.	
						Ave.	Max.
T <sub>c</sub>	-2601.9328	19.41827	-3.649785*10 <sup>-2</sup>	2.514*10 <sup>-5</sup>	253242.172	0.5	0.9
P <sub>c</sub>	9589.5965	-41.632885	7.69946*10 <sup>-2</sup>	-5.1562*10 <sup>-5</sup>	-724280.4213	2.8	4.7
Sp.gr	-0.183334	5.831*10 <sup>-3</sup>	-9.3857*10 <sup>-6</sup>	6.28771*10 <sup>-9</sup>	67.388443	0.11	0.7
MeABP	-3300.1427	21.65691	-4.1451*10 <sup>-2</sup>	2.938*10 <sup>-5</sup>	267418.33	1.4	2.4
VABP	-4861.833	30.55765	-6.27415*10 <sup>-2</sup>	4.7102*10 <sup>-5</sup>	364913.9125	2	3.5
d <sub>20</sub>	4.149393	-1.0926*10 <sup>-2</sup>	1.52444*10 <sup>-5</sup>	-7.568*10 <sup>-9</sup>	-337.2314	3.5	7.7
V <sub>c</sub>	0.0521	5.651*10 <sup>-5</sup>	-9.861*10 <sup>-8</sup>	6.3593*10 <sup>-11</sup>	0.0440		
ω	-0.5212	0.0062	-9.4282*10 <sup>-6</sup>	5.3143*10 <sup>-9</sup>	1.8518		

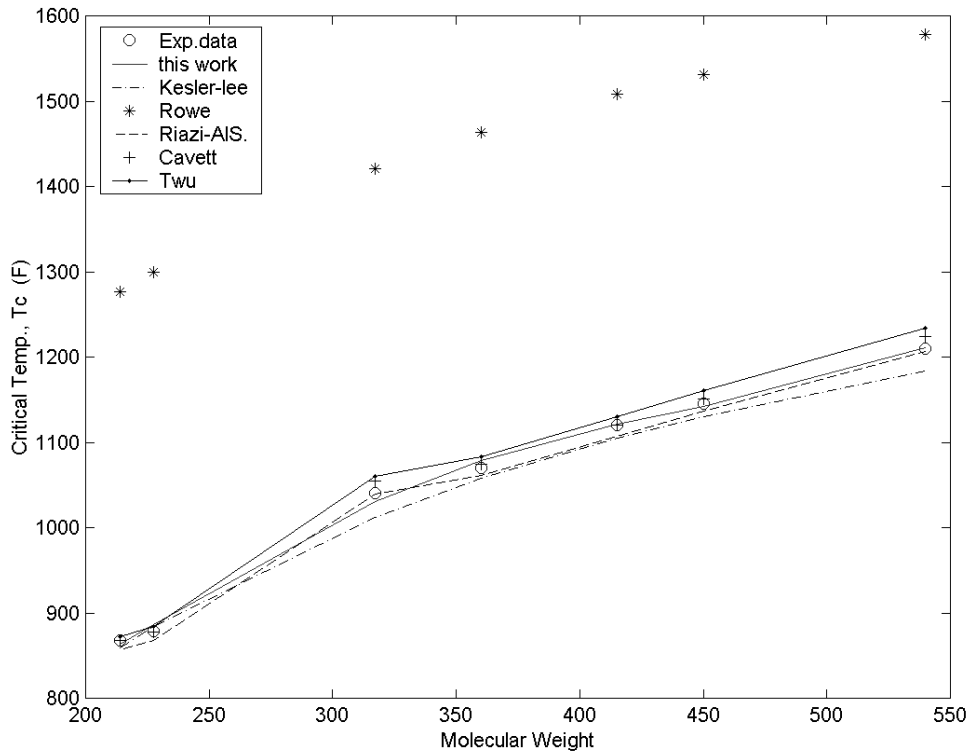
جدول ۵ - مقایسه خطای معادله ۴ با برخی معادلات قبلی

	$T_c$	$P_c$	Sp.gr	MeABP	VABP	$d_{20}$
This work (eq.4)	0.5	2.8	0.11	1.4	2.0	3.5
Riazi & Al-Sahhaf (1996)	1.0	24.4	1.6	0.9	1.3	4.2
Kesler -Lee (1976)	0.85	37				
Cavett (1962)	0.51	11.9				
Rowe (1978)	4.4	11.8		2.2	2.4	
Twu (1984) [12]	2.5	73				

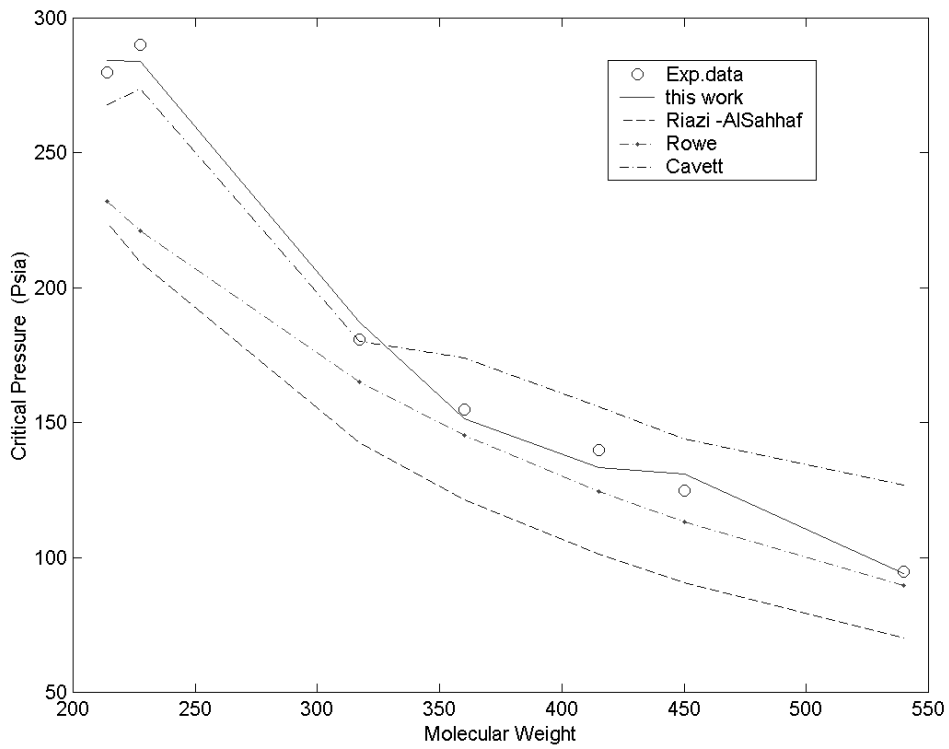
توجه:  $d_{20}$  و VABP با کمک مرجع [11] و جدول ۳ تحلیل شده اند.

جدول ۶ - تخمین برخی از خواص بر حسب جرم مولکولی (۶۰۰-۲۰۰) با معادله (۴)

M.W.	T <sub>b</sub> (R)	Sp.gr (60/60)	T <sub>c</sub> (R)	P <sub>c</sub> (psi)	d <sub>20</sub> (g/cm <sup>3</sup> )
200	960.00	0.84853	1,302.03	272.030	0.81010
210	979.11	0.85245	1,316.77	282.252	0.83569
220	999.74	0.85678	1,333.03	285.237	0.85587
230	1,021.10	0.86136	1,350.20	282.801	0.87157
240	1,042.59	0.86608	1,367.83	276.400	0.88358
250	1,063.73	0.87083	1,385.54	267.207	0.89253
260	1,084.18	0.87552	1,403.04	256.165	0.89896
270	1,103.69	0.88011	1,420.13	244.029	0.90333
280	1,122.07	0.88454	1,436.62	231.401	0.90601
290	1,139.23	0.88878	1,452.40	218.758	0.90732
300	1,155.09	0.89280	1,467.37	206.469	0.90754
310	1,169.64	0.89658	1,481.49	194.818	0.90690
320	1,182.91	0.90012	1,494.72	184.011	0.90558
330	1,194.94	0.90341	1,507.05	174.193	0.90376
340	1,205.83	0.90645	1,518.50	165.456	0.90158
350	1,215.66	0.90924	1,529.09	157.843	0.89915
360	1,224.57	0.91180	1,538.87	151.361	0.89659
370	1,232.70	0.91413	1,547.88	145.981	0.89396
380	1,240.20	0.91625	1,556.18	141.643	0.89135
390	1,247.25	0.91818	1,563.86	138.265	0.88881
400	1,254.02	0.91993	1,570.99	135.737	0.88640
410	1,260.71	0.92153	1,577.66	133.935	0.88414
420	1,267.51	0.92300	1,583.96	132.712	0.88208
430	1,274.63	0.92436	1,589.99	131.910	0.88024
440	1,282.28	0.92563	1,595.85	131.356	0.87863
450	1,290.69	0.92685	1,601.65	130.862	0.87727
460	1,300.09	0.92804	1,607.50	130.234	0.87617
470	1,310.69	0.92923	1,613.52	129.266	0.87532
480	1,322.75	0.93044	1,619.83	127.741	0.87473
490	1,336.48	0.93172	1,626.54	125.439	0.87440
500	1,352.15	0.93308	1,633.77	122.129	0.87430
510	1,369.99	0.93456	1,641.66	117.576	0.87444
520	1,390.25	0.93618	1,650.33	111.539	0.87479
530	1,413.18	0.93799	1,659.91	103.770	0.87535
540	1,439.04	0.94002	1,670.53	94.019	0.87609
550	1,468.09	0.94229	1,682.32	82.030	0.87699
560	1,500.57	0.94484	1,695.41	67.544	0.87804
570	1,536.75	0.94770	1,709.94	50.299	0.87920
580	1,576.89	0.95091	1,726.05	30.027	0.88046
590	1,621.24	0.95451	1,743.87	6.460	0.88178
600	1,670.09	0.95851	1,763.54		0.88314

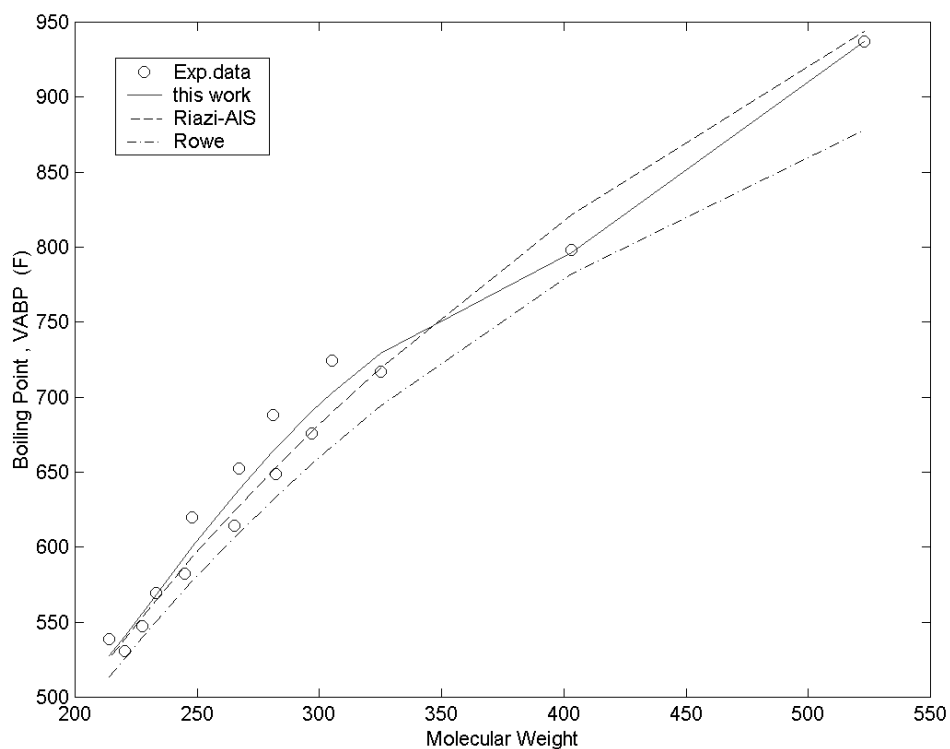


شکل ۱ - مقایسه نتایج تخمین دمای بحرانی معادله ۴ با مقادیر تجربی و بهترین معادلات قبلی

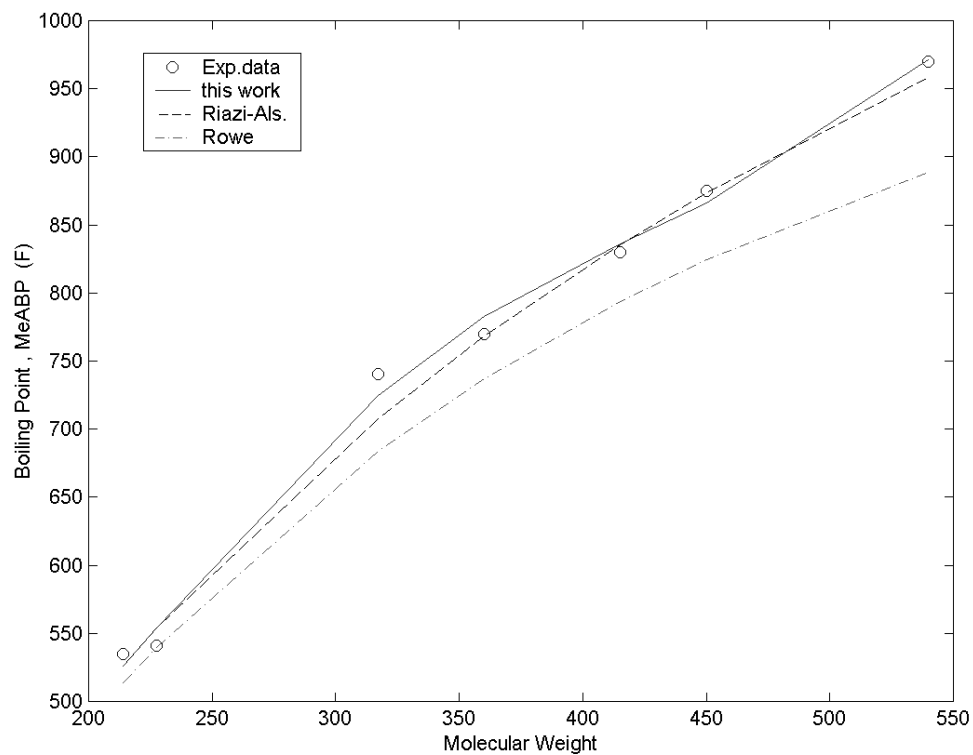


شکل ۲ - مقایسه نتایج تخمین فشار بحرانی معادله ۴ با مقادیر تجربی و بهترین معادلات قبلی

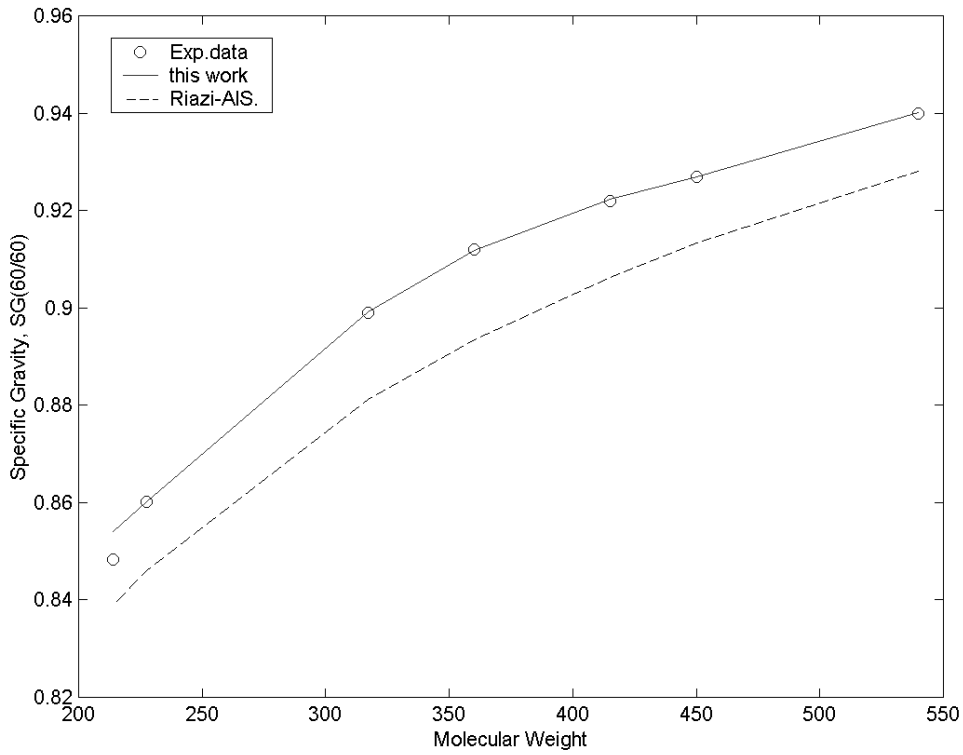




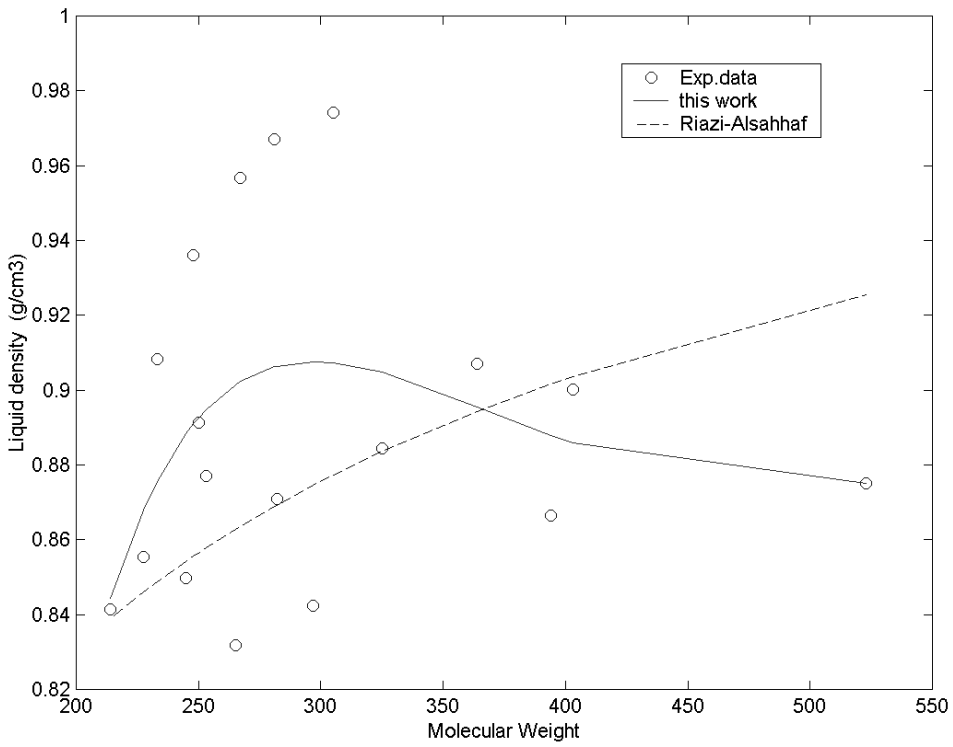
شکل ۳ - مقایسه نتایج تخمین VABP معادله ۴ با مقادیر تجربی و بهترین معادلات قبلی



شکل ۴ - مقایسه نتایج تخمین MeABP معادله ۴ با مقادیر تجربی و بهترین معادلات قبلی



شکل ۵ - مقایسه نتایج تخمین چگالی نسبی معادله ۴ با مقادیر تجربی و بهترین معادله قبلی



شکل ۶ - مقایسه نتایج تخمین دانسیته مایع معادله ۴ با مقادیر تجربی و بهترین معادله قبلی

## References

1. Rowe, A.M., "Internally Consistent Correlations for Predicting phase Compositions for use in Reservoir Compositional Simulators", paper SPE 7475, 53rd Annual Fall Technical Conference and Exhibition, Huston, 1978
2. Kesler, M.G., Lee, B.I., "Improve prediction of Enthalpy of fractions", Hydrocarbon Processing, March (1976) 153-158
3. Riazi, M.R., Al-Sahhaf, T.A., "Physical Properties of n-Alkanes and n-Alkylhydrocarbons: Application to Petroleum Mixtures", Ind. Eng. Chem. Res., 34 (1995) 4145-4148
4. Riazi, M.R., Al-Sahhaf, T.A., "Physical Properties of Heavy Petroleum Fractions and Crude Oils", Fluid Phase Equilibria, 117 (1996) 217-224
5. Katz, D.L., Firoozabadi, A., "Predicting Phase Behavior of Condensate/Crude-Oil Systems using methane Interaction Coefficients", J. Petroleum Technology, Nov. (1978) 1649-1655
6. Whitson, C.H., "Effect of C7+ Properties on EOS Predictions", SPEJ, Dec. 1984, 685-696
7. Daubert, T.E., "Property Prediction", Hydrocarbon Processing, March 1980, 107-112
8. Ahmed, T., "Hydrocarbon Phase Behavior", Gulf Publishing Co., 1989
9. Lenoir, J.M., Hipkin, H.G., "Measured Enthalpies of Eight Hydrocarbon Fractions", J. Chem. Eng. Data, (2) 18 (1973) 195
10. Valderrama, J.O., Abu-Sharkh, B.F., "Generalized Rackett-type Correlations to Predict The Density of Saturated Liquids and Petroleum Fractions", Fluid Phase Equilibria, 51 (1989) 87-100
11. Riazi, M.R., Daubert, T.E., "Prediction of Composition of Petroleum Fractions", Ind. Eng. Chem. Process Des. Develop. 19 (1980) 289-294
12. Twu, C.H., "An Internally Consistent Correlations for Predicting the Critical

Properties and Molecular Weights of Petroleum and Coal-Tar Liquids", Fluid Phase Equilibria, 16 (1984) 137-150