

# اندازه گیری جرم مخصوص الیاف و پلیمرهای دیگر

دکتر محمد حقیقت کیش

استادیار دانشکده مهندسی نساجی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

مهشید صدیقی

دانشجوی دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

## چکیده

در این مقاله تهیه ستون مدرج مایع برای اندازه گیری جرم مخصوص الیاف و قطعات کوچک پلیمرها شرح داده شده است. اصول فیزیکی که باعث بوجود آمدن تغییرات خطی جرم مخصوص در طول ستون می گردد نیز مورد بحث قرار گرفته، نتایج اندازه گیری روی نمونه های مختلف با نتایج معمول مقایسه شده است.

## مقدمه

نشان می دهد. در مورد پلیمرهایی که به شکل های مختلف دیگری هستند جرم مخصوص به عنوان یک مشخصه شناسایی کمتر مورد استفاده قرار می گیرد زیرا مواد اضافی مورد استفاده در آنها متنوع و متغیر می باشد.

ب - در مورد پلیمرهای تبلور یافته جرم مخصوص بستگی به میزان تبلور دارد. هرگاه بتوان فرض کرد که ساختمان چنین پلیمرهایی از دو فاز متفاوت با جرم مخصوص متفاوت  $\rho_c$  و  $\rho_a$  ساخته شده است درصد حجمی تبلور که گاهی درجه نظم<sup>۲</sup> بدان اتلاق شده است از رابطه (۱) حاصل می شود.

$$\phi_c = \frac{\rho - \rho_c}{\rho_c - \rho_a} \times 100 \quad (1)$$

و درصد وزنی تبلور را می توان از رابطه (۲) محاسبه نمود.

$$X = \frac{(\rho - \rho_a) \rho_c}{(\rho_c - \rho_a) \rho} \times 100 \quad (2)$$

که در این روابط:

$\rho$  = جرم مخصوص نمونه اندازه گیری شده

$\rho_a$  = جرم مخصوص پلیمر بی نظم (آمورف)

$\rho_c$  = جرم مخصوص پلیمر منظم (بلوری)

مقدار  $\rho$  که در روابط فوق مورد استفاده قرار گرفته است از طریق «بلورشناسی بوسیله اشعه X» با تعیین حجم واحد بلوری unit cell و وزن اتم های موجود در واحد بلوری برای اکثر پلیمرهای نیمه بلوری تعیین شده است. جرم مخصوص قسمت بی شکل یا  $\rho_a$

جرم مخصوص یا جرم واحد حجم یکی از خصوصیات ذاتی قابل سنجش و مهم اجسام می باشد. از قرنهای پیش جرم مخصوص یا وزن مخصوص در بسیاری از رشته های علوم تجربی مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته و به گفته متقدمان «در علم طبیعیات» به منظور نشان دادن سبکی و سنگینی اجسام و درجه خلوص اندازه گیری می شده است. روشهای اندازه گیری، بر قانون معروف ارشمیدس در مورد غوطه وری اجسام در سیالها و یا توزین ساده استوار بوده است. قدمت و دقت این روشها بسیار زیاد است، به طوری که اختلاف جرم مخصوص آب سرد و گرم را شاید حدود هزار سال پیش می شناختند.

امروزه روش های قدیمی توسعه یافته و با استفاده از وسایل دقیقتر در آزمایشگاههای فیزیک سنجش آن معمول می باشد.

در صنایع پلاستیک و الیاف این ضریب به نحوی در تئوری ها وارد شده و سنجش آن بیشتر به منظورهای زیر انجام می گیرد:

الف - شناسائی: روش های شناسائی استاندارد الیاف از جرم مخصوص به عنوان یک فراسنج مشخص کننده استفاده می نمایند (1)

(2) در این دستورالعملها جرم مخصوص الیاف مختلف داده شده است که آزمایشگر با مراجعه به آن و مقایسه با جرم مخصوصی که برای نمونه مجهول اندازه گیری کرده است به نوع آن پی می برد.

جدول (۱) جرم مخصوص برخی از الیاف تجاری از منابع مختلف را

جرم مخصوص g/cc			نام الیاف
مأخذ (۳)	مأخذ (۲)	مأخذ (۱)	
	۲/۱ - ۲/۸	—	الیاف طبیعی
	۱/۵۱	۱/۵۲	اسپستوز
	۱/۳۲ - ۱/۳۴	۱/۳۴	سلولوز (پنبه)
	۱/۱۵ - ۱/۳	۱/۳۰	ابریشم
			پشم
			الیاف مصنوعی
	۱/۳۲	۱/۳۱	استات
	۱/۳	۱/۳۱	تری استات
	۱/۱۲ - ۱/۱۹	۱/۱۹	اکریلیک
	۱/۲۲	—	ایندکس
	۱/۳۸	—	آرامید
	۱/۳۰	—	آزلن
	۲/۴ - ۲/۶	۲/۵	شیشه
	—	۲/۲	پلی تترافلورواتیلن
	۱/۳۰ یا ۱/۳۶	۱/۲۹ - ۱/۳۴	مداکریلیک
	۱/۲۵	—	نووولونید
	۱/۱۲ - ۱/۱۵	۱/۱۴	نایلون ۶
	۱/۱۲ - ۱/۱۵	۱/۱۴	نایلون ۶۶
	۱/۲۰	—	نیتریل
	۱/۳۸ یا ۱/۲۳	۱/۳۹	پلی استر
	—	۱/۴	پلی وینیل کلراید
	۰/۹۰ - ۰/۹۲	۰/۹۲ - ۰/۹۵	پلی اتیلن
	۰/۹۰ - ۰/۹۲	۰/۹۱	پلی پروپیلن
	۱/۵۱	۱/۵۲	ریون
	۰/۹۶ - ۱/۰۶	—	لاستیک
	۱/۷	—	ساران
	۱/۲۰ - ۱/۲۱	—	اسپاندکس
	۱/۲۶ - ۱/۳۰	—	وینال
	۱/۳۴ - ۱/۳۷	—	وینیون
			لاستیکها
۰/۹۴	—	—	SBR
			Buna S Butadiene Styrene یا
۰/۹۲	—	—	Butyle isobutylene Isoperne
۱/۳۴	—	—	Thiokol Organic Polysulfide
۱/۰۰	—	—	Nitril Butadiene Acronitrile
۱/۲۳	—	—	Neoprene Poly Chloroperne
۰/۹۲	—	—	لاستیک طبیعی

جدول (۱): جرم مخصوص الیاف ولاستیکها

جدول (۲): جرم مخصوص پلیمرهای نیمه بلوری در حالت بی شکل (آمورف) و بلوری (کریستالین)

پلیمر	بی نظم	بلوری	مراجع
پلی اتیلن ترفتالیت	۱/۳۳۳	۱/۵۱۵	۷
	۱/۳۲۳	۱/۴۵۵	۸
پلی اتیلن	۰/۸۲۵ *	۱/۰۱۱ *	۹
	۰/۸۱۱ **	۰/۹۹۱ **	
پلی پروپیلن (ایزوتاکتیک)	۰/۸۵۰ *	۰/۹۴۶ *	۹
	۰/۸۵۳۵ **	۰/۹۳۲ **	
پلی اکریلونیتریل	—	۱/۱۵۴۶	۹
پلی هگزامتیلن آدیپ آمید	۱/۰۹	۱/۲۴ *	۹
		۱/۲۰۳ **	
پلی کلپروولاکتام	۱/۱۱ *	۱/۲۵ *	
	۱/۱۰ **	۱/۲۳۵ **	۹

\* بیشترین مقدار از مراجع مختلف

\*\* کمترین مقدار از مراجع مختلف

غوطه‌ور در آن به وسیله ترازویی دقیق تعیین می‌شود و از این مقادیر وزن مخصوص جسم جامد به طریق معمول محاسبه می‌گردد.

### ب - غوطه‌ور کردن نمونه جامد در مایع

در این روش‌ها رفتار یک یا چندین نمونه در مایعاتی که دارای جرم مخصوص‌های متفاوت و معین هستند مورد توجه قرار می‌گیرد. در یکی از روش‌ها از اصل ارشمیدس استفاده می‌شود و غوطه‌ور ماندن نمونه در مایع نشان دهنده مساوی بودن جرم مخصوص نمونه و جرم مخصوص مایع است. گاهی «سرعت نهائی» سقوط نمونه در مایعاتی با جرم مخصوص‌های نزدیک به جرم مخصوص جسم، مطابق «قانون استوک» به جرم مخصوص جسم مرتبط می‌گردد. با استفاده از وسائل کمکی دقت این روش‌ها را می‌توان به مراتب بیشتر از روش‌های گروه الف افزایش داد. در این روش‌ها اندازه‌گیری جرم مخصوص مایعاتی که مورد استفاده قرار می‌گیرد، ضروری است که برای چنین اندازه‌گیری از پیکنومترها یا ترازوی وستفال استفاده می‌گردد. به طور کلی دقت اندازه‌گیری در روش‌های ذکر شده بستگی به مهارت آزمایش‌کننده و مدت زمانی که صرف آزمایش می‌شود، دارد. معمولاً یک اندازه‌گیری با دقت مناسب با توجه به زمان تهیه مقدمات حدود ۴ ساعت یا بیشتر طول می‌کشد.

### ج - روش سوم: ستون مایع مدرج

روش سوم که موضوع این مقاله می‌باشد بر اساس تعادل نمونه در ستونی از مایع، که جرم مخصوص مایع در ستون به طور تدریجی تغییر می‌کند است [11]. شرح تهیه آن در صفحات بعد خواهد آمد.

مزایای این روش عبارت است از:

۱ - وقتی دستگاه حاضر گردید احتیاج به آزمایشگر ماهر

برای همان پلیمر در حالت جامد به طور تجربی نیز اندازه‌گیری شده است. مقدار  $\rho_a$  و  $\rho_c$  برای برخی از پلیمرها در جدول (۲) داده شده است. باید توجه داشت که استفاده از چنین روابطی باید با احتیاط صورت گیرد چه فراسنج‌های دیگری نیز وجود دارد که ارتباط مستقیم جرم مخصوص و درجه تبلور را نامطمئن می‌سازد. در هر حال تغییر در جرم مخصوص مشخص‌کننده تغییر در ساختمان داخلی است و به عنوان یک ضریب مشخص‌کننده ساختمان داخلی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

ج - علاوه بر دو مورد ذکر شده سنجش مستمر جرم مخصوص به عنوان یک متغیر که تابع متغیرهای خط تولید است در صنایع الیاف، لاستیک و پلاستیک به کار می‌رود که صنعتگران این بخش بر حسب سلیقه و دقت خواسته شده به طرق مختلفی اندازه‌گیری می‌نمایند.

در مسائل تحقیقاتی این اندازه‌گیری حائز اهمیت است. کاربردهایی از قبیل تجزیه مخلوط‌ها [3] تعیین کمی مواد اضافی [5] و مقایسه پنبه تجزیه شده و نشده [4] را می‌توان نام برد. روش‌ها و شیوه‌های متعدد و متفاوتی برای اندازه‌گیری جرم مخصوص الیاف و پلیمرها وجود دارد که به طور کلی می‌توان آنها را به سه گروه تقسیم کرد:

### الف - اندازه‌گیری مستقیم وزن یا جرم و اندازه‌گیری حجم

این روش اگرچه ساده به نظر می‌رسد ولی بیشتر اوقات برای اجسامی که کوچک و دارای شکل و وزن نامناسبی هستند نتایج دقیقی را به بار نمی‌آورد. برای آزمون دقیق ظروفی با حجم معین (انواع پیکنومترها) ساخته شده است. در این صورت وزن ظرف خالی، وزن ظرف پر شده از مایع و وزن ظرف مایع با جسم جامد



ط - گلوله های شیشه ای استاندارد:

گلوله های شیشه ای از لوله شیشه ای پیرکس به قطر ۶ میلی متر توسط شیشه گری دانشگاه ساخته شد. ابتدا انتهای لوله شیشه در مقابل شعله مشعل شیشه گری قرار گرفت و پس از دمیدن مقدار کمی هوا در آن، به وسیله پنس انتهای شیشه به صورت قطره از لوله جدا گردید. برای از بین بردن تنشهای داخلی، روزنه و شکافهای احتمالی گلوله ها به مدت ۲ ساعت در کوره ای به درجه حرارت  $500^{\circ}\text{C}$  قرار گرفتند و پس از خاموش کردن کوره به تدریج سرد گردیدند. گلوله هایی که بدین ترتیب ساخته شدند به قطر اقصر تقریبی  $7-8\text{ mm}$  و قطر اطول تقریبی  $10-11\text{ mm}$  دارای جرم مخصوص های متفاوتی بودند. با استفاده از آب و آب نمک با جرم مخصوص تقریباً  $1\text{ g/Cm}^3$  و  $1/2$  این گلوله های ساخته شده برحسب جرم مخصوصشان از هم جدا گردیدند. بدین ترتیب آنهایی که در روی سطح آب قرار می گرفتند در یک گروه و آنهایی که در روی سطح محلولی از آب نمک به جرم مخصوص  $1/8$  قرار می گرفتند در گروه دیگر مستقر شدند. همین طور آنهایی که روی سطح مایع به جرم مخصوص  $1/2$  قرار می گرفتند در گروه دیگر.

جرم مخصوص گلوله های شیشه ای در هر گروه به ترتیب زیر اندازه گیری و یا تصحیح گردید:

ابتدا یک بشر  $1000\text{ cc}$  در حمام آبی با درجه حرارت ثابت  $1^{\circ}\text{C} \pm 0.2^{\circ}\text{C}$  قرار گرفت درجه حرارت اتاق حدود  $18^{\circ}\text{C}$  و دمای آب به وسیله یک گرم کن مجهز به ترموستات و همزن در  $1^{\circ}\text{C} \pm 0.2^{\circ}\text{C}$  ثابت نگاه داشته شد. درجه حرارت حمام به وسیله دو ترمومتر اندازه گیری می شد. از مخلوط دو مایع، مثلاً آب و الکل و یا محلول های نیترات کلسیم در آب، بشر تا  $3/4$  حجم آن پر می شد، وقتی دمای محلول ثابت می گردید گلوله شیشه ای به آن اضافه و سر بشر با یک شیشه ساعت پوشانده می شد. چنانچه گلوله شیشه ای در محلول فرو می رفت از محلول با جرم مخصوص بیشتر و چنانچه گلوله روی سطح می ماند از محلول با جرم مخصوص کمتر بدان اضافه می شد. افزایش این محلول ها به تدریج، به مقدار جزئی و در حین عمل هم زدن انجام می گرفت. وقتی اضافه کردن یک قطره جهت حرکت گلوله را تغییر می داد و یا گلوله به مدت ۵ دقیقه در محلی که در مایع غوطه ور شده بود ساکن می ماند جرم مخصوص مایع برابر جرم مخصوص گلوله بود. جرم مخصوص مایع با استفاده از ترازوی و ستفان اندازه گیری می شد. در هنگام غوطه ور ساختن گلوله ها، سطح مایع درون بشر همیشه پائینتر از سطح مایع در حمام آب بوده و غوطه وری گلوله وقتی بررسی می شد که مایع درون بشری حرکت می ماند. این عمل برای هر گلوله سه بار تکرار می شد و میانگین این سه اندازه گیری به عنوان جرم مخصوص گلوله ثبت می گردید. گاهی لازم بود که جرم مخصوص برخی از گلوله ها به مقداری

جزئی کاهش داده شود. در این صورت قسمت انتهائی گلوله ها به وسیله کاغذ سنباده سائیده می شد.

بدین طریق تعداد زیادی گلوله شیشه ای با جرم مخصوص معین و مشخص ساخته شد. جرم مخصوص گلوله ها بین  $0/8$  تا  $1/41$  تغییر می کرد.

### ۳- پر کردن ستون

وسائلی که شامل پایه بلند نگه دارنده، دو بشریکی دارای یک مجرای انتهائی و دیگری دارای دو مجرای انتهائی، همزن مغناطیسی، لوله رابط و سوزن سرنگ نمره ۱۹ بودند مطابق شکل (۲) سوار گردید. برای ستون هائی که محدوده جرم مخصوص در آنها کمتر از یک بود از آب و الکل «مرگ» و برای ستون هائی که محدوده جرم مخصوص آن بیشتر از یک بود از آب و نیترات کلسیم استفاده گردید. در هر صورت محلولهای مورد استفاده معمولاً یک روز قبل صاف و به مدت بیش از پانزده دقیقه جوشانیده می شد تا هوای محلول در آن خارج گردد. محلولهای صاف شده و جوشانده شده در ظروف سر بسته برای روز بعد نگهداری می گردید. به منظور کم شدن حباب هوا نیترات کلسیم در محلول  $0/5\%$  استات سدیم در آب حل می گردید.

محلولها به طریقی تهیه گشت که دارای جرم مخصوصی نزدیک به جرم مخصوص خواسته شده باشد. روز بعد ابتدا جرم مخصوص محلولها اندازه گیری شده و سپس محلول رقیق در بشر A و محلول غلیظ در بشر B به آرامی ریخته می شدند به طوری که با حباب هوا مخلوط نگردند و به اطراف نیز نپاشد. حجم مایع درون بشرها طوری تعیین می گردیدند که در روابط ۳ و ۴ صادق باشند.

$$\rho_A V_A = \rho_B V_B \quad (3)$$

$$V_A + V_B < 2V_1 \quad (4)$$

و  $V_B$  کمی بیشتر از  $\frac{\rho_B V_B}{\rho_A}$  باشد. در این روابط

$$\rho_A = \text{جرم مخصوص مایع در ظرف A}$$

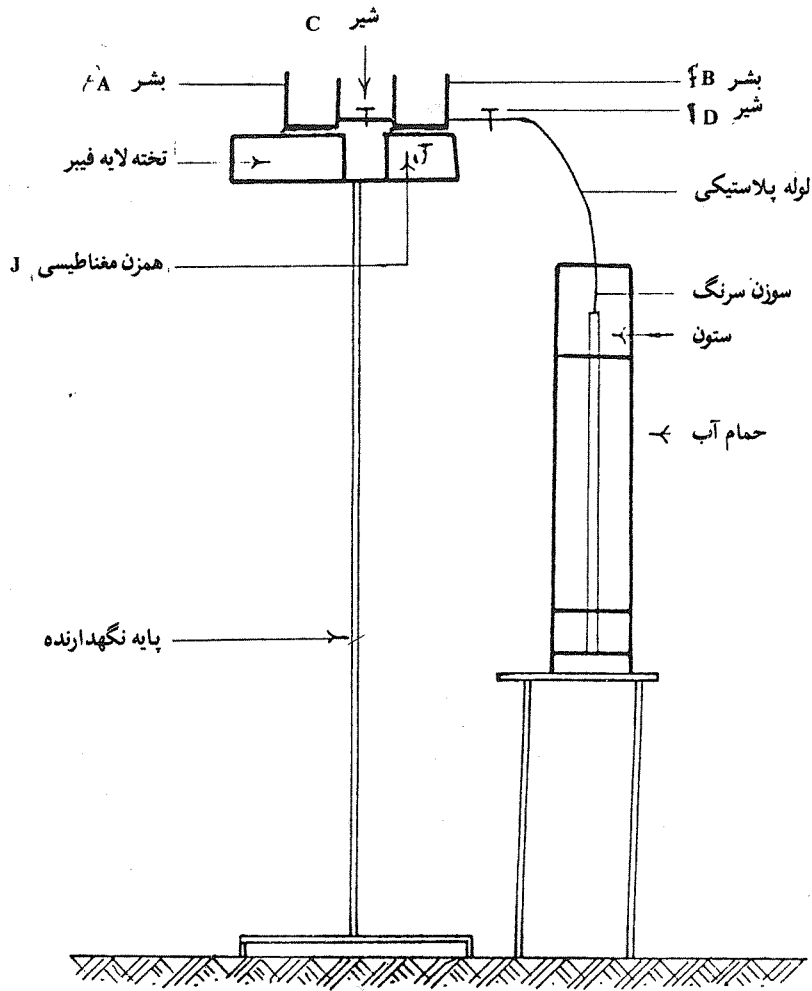
$$\rho_B = \text{جرم مخصوص مایع در ظرف B}$$

$$V_A = \text{حجم مایع در ظرف A}$$

$$V_B = \text{حجم مایع در ظرف B}$$

$$V_1 = \text{حجم کل لازم برای هر ستون}$$

بعد از پر کردن بشرها همزن مغناطیسی J با سرعتی که باعث پاشیده شدن محلول نگردد به کار انداخته می شد و شیر C باز می گردید. پس از ۴۵ تا ۶۰ دقیقه که دو مایع درون بشرها به حالت تعادل درمی آمدند، شیر D باز می گردید. سوزن سرنگ متصل به بشر باید طوری قرار می گرفت که مایع به آرامی از جدار ستون وارد می گردید. پس از پر شدن ستون شیرهای D و C مسدود می شد. زمان پر شدن ستون بستگی به حجم ستون بین ۲ تا ۳ ساعت طول می کشید. پس از پر شدن ستون، مایع اضافی با جرم مخصوص کمتر



شکل (۲): ستون در حال پر شدن - مقیاس ۱/۲۰

طوری که فاقد هرگونه حباب هوا باشد. سپس به آرامی وارد ستون می گردید. سرعت سقوط نمونه در ستون با گذشت زمان کاهش می یافت. ارتفاع محل آزمون پس از به تعادل رسیدن و ساکن ماندن آن تعیین می شد. با استفاده از منحنی حاصل از ارتفاع گلوله ها و جرم مخصوص آنها، مطابق شکل (۳) جرم مخصوص نمونه تعیین می گردید. به جای رسم منحنی، رابطه رگرسیون خطی بین ارتفاع و جرم مخصوص گلوله ها نیز در برخی موارد بدست آمد و از آن جا جرم مخصوص نمونه هایی که ارتفاع آنها تعیین شده بود، مشخص گردید. شکل (۳) نمونه ای از تغییرات بدست آمده است که علاوه بر محل گلوله ها منحنی رگرسیون نیز رسم شده است. ضریب ارتباط<sup>۳</sup> در تجزیه رگرسیون برای یک ستون همیشه بیش از ۰/۹۸ است.

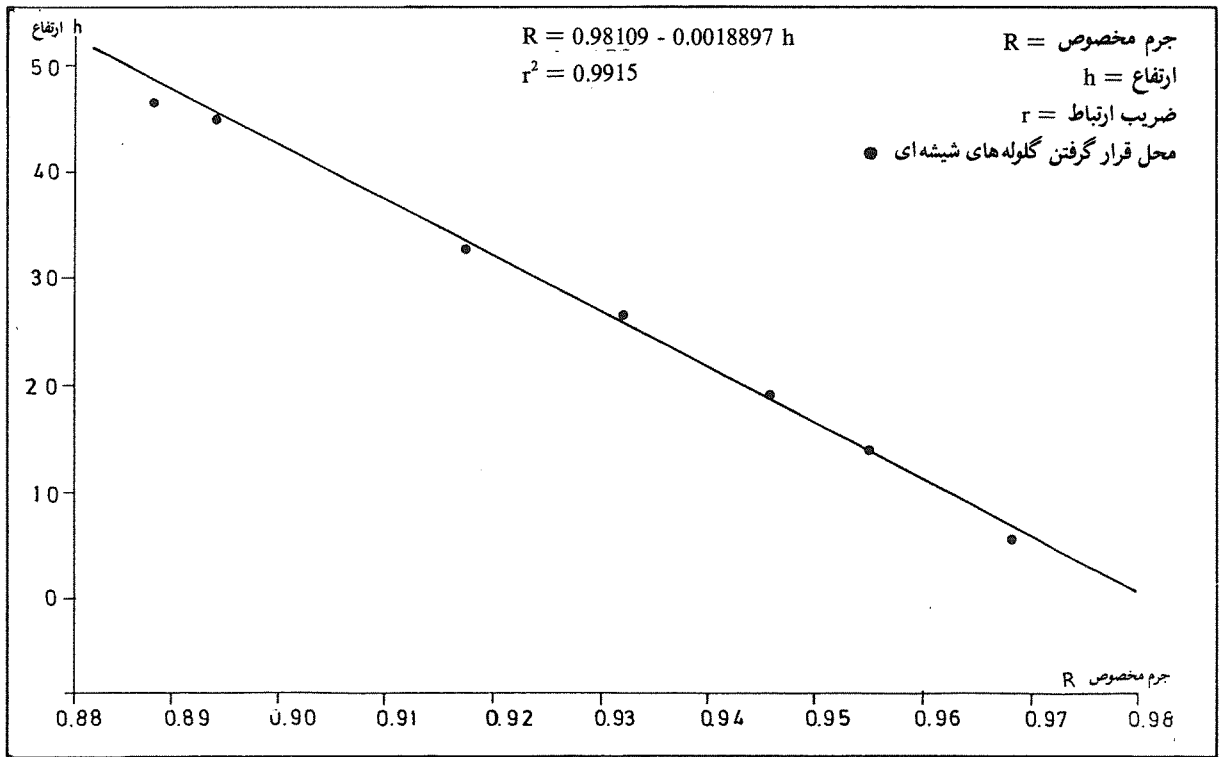
جدول (۴) نتایج اندازه گیری بر روی نمونه های مختلف که در اثنای کار با آنها برخورد شد را نشان می دهد.

برای آغشته کردن نمونه و گلوله ها در ظرفی ذخیره و نگهداری می گردید.

گلوله های شیشه ای که دارای جرم مخصوصی، کمتر از مایع با جرم مخصوص زیاد و بیشتر از مایع با جرم مخصوص کم بودند به وسیله یک پنبه به آرامی وارد ستون می شوند بعد از ۱۲ ساعت ستون که حاوی مایع و گلوله های شیشه است برای اندازه گیری جرم مخصوص نمونه ها آماده می باشد. گلوله های شیشه ای قبل از وارد کردن به ستون با محلول اضافی با جرم مخصوص کمتر آغشته می شد و به دقت بازرینی می گردید، که فاقد هرگونه حباب هوای سطحی باشد.

#### ۴ - اندازه گیری جرم مخصوص نمونه ها

نمونه های مورد آزمایش ابتدا به صورت قطعات کوچک کمتر از ۵×۵×۵ میلی متر بریده با محلول ذخیره شده آغشته می شد به



شکل (۳): منحنی جرم مخصوص، ارتفاع برای مخلوط آب و نیترات کلسیم

### اصول فیزیکی اندازه‌گیری جرم مخصوص با استفاده از ستون مایع مدرج جرم مخصوص

که در این روابط  $\rho$  جرم مخصوص،  $V$  حجم،  $h$  ارتفاع و پسوند های  $a$  و  $b$  به ترتیب مربوط به ظروف  $A$  و  $B$  است. پس از قرار دادن مایعات در ظروف شیر  $C$  باز می‌گردد. در حالی که همزن ظرف  $B$  کار می‌کند دستگاه به حال خود رها می‌گردد تا تعادل استاتیکی کامل بین مایعات ظروف  $A$  و  $B$  برقرار شود. در این مدت دو مایع با هم مخلوط نمی‌شوند فقط بسته به دقت عمل‌پرکننده مقداری از مایع درون یکی از ظروف، ممکن است به دیگری منتقل شود. بنابراین در عمل بهتر است که ارتفاع‌های  $h_a$  و  $h_b$  طوری انتخاب شود که  $h$  کمی بزرگتر از  $\frac{\rho_b h_b}{\rho_a}$  گردد در این صورت در ابتدا مقداری جزئی از مایع از ظرف  $A$  به  $B$  منتقل می‌گردد که باعث تغییر جزئی جرم مخصوص ظرف  $B$  می‌شود. در هر حال رابطه (۵) برقرار خواهد ماند. پس از مدتی شیر  $D$  باز می‌گردد تا مایع از ظرف  $B$  خارج و به آهستگی وارد ستون استوانه‌ای شیشه‌ای گردد.

به وجود آمدن تغییر خطی جرم مخصوص در طول ستون مایع برخلاف نظر برخی از نویسندگان [13] [12]، در اثر امتزاج تدریجی دو مایع با جرم مخصوصهای متفاوت در ظروف مرتبط است و نفوذ که در اثر اختلاف در ظرفیت شیمیایی است در ستون ناچیز بوده و تأثیری بر به وجود آمدن تغییر خطی ندارد بلکه کم بودن ضریب نفوذ سبب پایداری ستون می‌گردد.

همان‌طوری که قبلاً شرح داده شد در این روش ابتدا دو مایع قابل امتزاج با جرم مخصوصهای متفاوت را در ظروف  $A$  و  $B$  مطابق شکل (۴) قرار می‌دهند. در ابتدا شیر  $C$  و  $D$  بسته و حجم دو مایع در دو ظرف طوری معین میکنند که رابطه (۵) برقرار باشد.

$$\rho_a V_a = \rho_b V_b \quad (5)$$

در صورتی که ظروف دارای مساحت قاعده مساوی باشند می‌توان نوشت:

$$\rho_a h_a = \rho_b h_b \quad (6)$$

جدول (۴) جرم مخصوص نمونه های مختلف

شماره	نام و مشخصات مواد	آزمونه	جرم مخصوص
۱	الیاف پروپیلن (ساخت ترکیه) آبی رنگ	۱	۰/۹۰۶
		۲	۰/۹۰۵
	خردلی رنگ	۱	۰/۹۰۲
		۲	۰/۹۰۲
	زرشکی رنگ	۱	۰/۹۰۶
		۲	۰/۹۰۵
۲	نخ نایلون مورد مصرف در تایرسازی به رنگ قهوه ای	۱	۱/۱۴۵
		۲	۱/۱۴۳
۳	نخ نایلون مورد مصرف در تایرسازی به رنگ سفید	۱	۱/۱۴۹
		۲	۱/۱۴۹
۴	نایلون ۱۱	۱	۱/۰۴۳
		۲	۱/۰۴۳
۵	نایلون ۶۶ - به صورت فیلامنت	۱	۱/۱۵۵
		۲	۱/۱۵۲
		۳	۱/۱۵۲
۶	پلی فنیلن اکسید	۱	۱/۰۷۱
		۲	۱/۰۷۰
		۳	۱/۰۷۱
۷	پلی اتیلن خام (چیپس)	۱	۰/۹۵۴
		۲	۰/۹۵۳
		۳	۰/۹۵۲
۸	پلی اتیلن ذوب شده و به مرور زمان سرد شده	۱	۰/۹۶۴
		۲	۰/۹۶۴
		۳	۰/۹۶۲
۹	پلی اتیلن ذوب شده که بسرعت سرد شده	۱	۰/۹۴۹
		۲	۰/۹۴۹
		۳	۰/۹۴۸
۱۰	نایلون ۶ - فیلامنت	۱	۱/۱۵۱
		۲	۱/۱۵۰
		۳	۱/۱۴۶
۱۱	نایلون ۶ را به مدت یک ساعت در فر ۹۶° قرار داده و بعد فر را خاموش کرده تا نایلون به تدریج سرد و به درجه حرارت محیط برسد.	۱	۱/۱۵۶
		۲	۱/۱۵۶
		۳	۱/۱۵۶
۱۲	نایلون ۶ را به مدت یک ساعت در فر ۱۴۷° قرار داده. سپس بتدریج به دمای محیط رسانیده شد.	۱	۱/۱۴۵
		۲	۱/۱۴۳
		۳	۱/۱۳۸

شماره	نام و مشخصات مواد	آزمونه	جرم مخصوص
۱۳	نایلون ۶ را به مدت یک ساعت در فر ۱۸۰° قرار داده سپس بتدریج به دمای محیط رسانیده شد.	۱	۱/۱۶۱
		۲	۱/۱۵۹
		۳	۱/۱۵۶
۱۴	لاستیک طبیعی	۱	۰/۹۲۵
		۲	۰/۹۲۳
		۳	۰/۹۲۶
۱۵	(SBR) Styrene Butadien Rubber	۱	۰/۹۱۶
		۲	۰/۹۱۶
		۳	۰/۹۱۶
۱۶	Isobutylene Isoprene	۱	۰/۹۰۶
		۲	۰/۹۰۵
		۳	۰/۹۰۴
۱۷	الیاف اکریلیک - منبع نامشخص	۱	۱/۱۸۶
		۲	۱/۱۸۳
۱۸	الیاف اکریلیک الیاف ۶ دنیر پلی اکسایل (درالون)	۱	۱/۱۸۰
		۲	۱/۱۸۰
		۳	۱/۱۸۰
۱۹	الیاف اکریلیک الیاف ۳ دنیر پلی اکسایل (درالون)	۱	۱/۱۸۴
		۲	۱/۱۸۱
		۳	۱/۱۸۴
۲۰	الیاف اکریلیک الیاف ۳ دنیر ژاپن (اکسلان)	۱	۱/۱۸۵
		۲	۱/۱۸۴
		۳	۱/۱۸۲

تغییرات جرم مخصوص مایع خارج شده از ظرف B را می توان به طریق زیر فرموله کرد:

هرگاه حجم مایع خارج شده از ظرف B در واحد زمان (دبی حجمی) برابر  $Q_b$  و از ظرف A برابر  $Q_a$  باشد با توجه به رابطه (۵) می توان نوشت:

$$\rho_a (V_{a0} - Q_a t) = \rho_b (V_{b0} - Q_b t + Q_a t) \quad (۷)$$

که  $V_{a0}$  و  $V_{b0}$  حجم اولیه مایع در ظروف A و B و  $t$  زمان از وقتی که شیر D باز می شود است. این رابطه شرط تعادل استاتیکی در هر زمان را نشان می دهد. از رابطه ۷، مقدار  $Q_a$  را می توان بر حسب  $Q_b$  بیان نمود یعنی:

$$Q_a = \frac{\rho_b V_{a0} - \rho_b V_{b0} + \rho_b Q_b t}{\rho_b t + \rho_a t} \quad (۸)$$

از طرفی تغییرات وزن مایع در ظرف B برابر است با:

$$\frac{dw_b}{dt} = W_{in} - W_{out} \quad (۹)$$



که  $x_1, x_2, y_1, y_2, z$  برای زمانی کوتاه ثابت فرض می شوند.

با استفاده از شرایط آغازین و رابطه (۸)،  $Q_a$  تعیین می گردد.

$$Q_a = \frac{x_2 \cdot z}{x_1 + x_2} \quad ۱۸$$

در این صورت معادله دیفرانسیل (۱۷) به صورت زیر درمی آید:

$$\left( y_1 + \frac{x_2 \cdot z}{x_1 + x_2} t - zt \right) \frac{d\rho_b}{dt} + (\rho_b - x_1) \frac{x_1 \cdot z}{x_1 + x_2} = 0 \quad ۱۹$$

این معادله براحتی حل و جواب آن به صورت:

$$\rho_b = x_1 + (x_1 + x_2) \left[ 1 - \frac{x_1 \cdot z \cdot t}{(x_1 + x_2) y_1} \right]^{x_2/x_1} \quad ۲۰$$

است.  $y_1, x_1, x_2, z$

برای زمانی بسیار کوتاه می توان فرض کرد که  $x_1, x_2, z$  ثابت است.

لذا محاسبه  $\rho_b$  امکان پذیر می شود. حال پس از این زمان کوتاه

شرایط جدید باید تعیین شود و دوباره محاسبات تکرار گردد. به همین طریق تا پر شدن ستون تغییرات  $\rho_b$  مشخص گردد.

انجام این محاسبه با کامپیوتر مرکز محاسبات دانشگاه به عمل

آمد و بجای متغیر  $t$  متغیر  $H$  یعنی ارتفاع مایع در ستون نیز محاسبه گردید.

در شکل (۵) یکی از نتایج حاصل از محاسبه به طریقی که ذکر شد با نتایج تجربی مقایسه شده است به طوری که ملاحظه می شود توافق بین نتایج تجربی و محاسبه رضایت بخش می باشد.

گروهی از پژوهشگران [13] کوشش نموده اند که با تنظیم و تعیین  $Q_a$  و  $Q_b$  تغییر خطی جرم مخصوص را به دست آورند در این صورت هرگاه  $Q_a = Q_b$  انتخاب شود یعنی با استفاده از پمپ هائی چنین فرضی را برقرار کنیم رابطه (۱۷) به صورت زیر درمی آید.

$$V_{ob} \left( \frac{d\rho_b}{dt} \right) = (\rho_a - \rho_b) Q \quad \text{یا} \quad \frac{d\rho_b}{dt} = \frac{(\rho_a - \rho_b) Q}{V_{ob}}$$

که جواب این معادله به صورت زیر می باشد

$$\rho_b = \rho_a - (\rho_a - \rho_b) e^{-\frac{Q}{V_{ob}} t}$$

که مطابق با رابطه به دست آمده توسط تانگ و تیلور [13] است. هرگاه این رابطه با جوابی که از طریق محاسبه عددی به دست آمد برای شرایط آغازین برابر، محاسبه و رسم گردد شکل (۶) نتیجه می شود به طوری که ملاحظه می شود تغییرات خطی جرم مخصوص از رابطه تانگ و تیلور نتیجه نمی شود و تقریب کم منحنی، بستگی به محل مایعات سبک و سنین در ظروف A و B دارد که با کم شدن محدوده اندازه گیری تقلیل می یابد.

علاوه بر موضوع علت خطی شدن که در ابتدای این نوشته ذکر شد، محاسبات انجام شده، چند مورد از تجربیات ملاحظه شده را تأیید می نماید.

که  $W_{in}$  و  $W_{out}$  به ترتیب وزن مایع داخل و خارج شده می باشد و  $\frac{dw_b}{dt}$  تغییرات وزن را نشان می دهد.

$$w = \rho \cdot v$$

چون می توان نوشت:

$$\frac{dw}{dt} = V_b \frac{d\rho_b}{dt} + \rho_b \frac{dV_b}{dt} \quad (۱۱)$$

و چون:

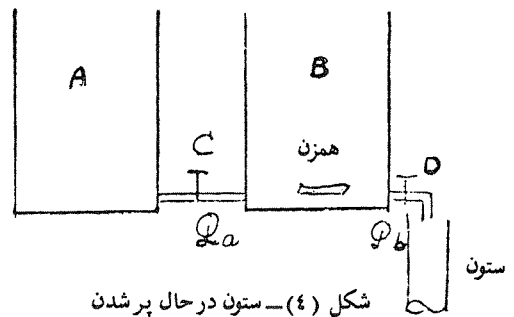
$$V_b = V_{ob} t + Q_a t - Q_b t \quad (۱۲)$$

پس:

$$\frac{dV_b}{dt} = Q_a - Q_b \quad (۱۳)$$

یا:

$$\frac{dw_b}{dt} = (V_{ob} + Q_a t - Q_b t) \frac{d\rho_b}{dt} + \rho_b (Q_a - Q_b) \quad (۱۴)$$



شکل (۴) - ستون در حال پر شدن

$$(V_{ob} + Q_a t - Q_b t) \frac{d\rho_b}{dt} + (Q_a - Q_b) \rho_b = Q_a \rho_a - Q_b \rho_b \quad (۱۵)$$

در نتیجه معادله دیفرانسیل مشخص کننده تغییرات جرم مخصوص نسبت به زمان به صورت رابطه (۱۶) درمی آید.

$$(V_{ob} + Q_a t - Q_b t) \frac{d\rho_b}{dt} + (Q_a - Q_b) \rho_b + Q_a (\rho_a - \rho) = 0 \quad (۱۶)$$

حل جبری رابطه (۱۶) با جایگزینی مقدار  $Q_a$  از رابطه (۸) باید انجام گیرد که در این صورت به شکل کلی زیر درمی آید.

$$\left[ f(\rho_a, t, Q_a, Q_b) \right] \frac{d\rho_b}{dt} + f \cos a \cdot \rho_b, \quad (۱۷)$$

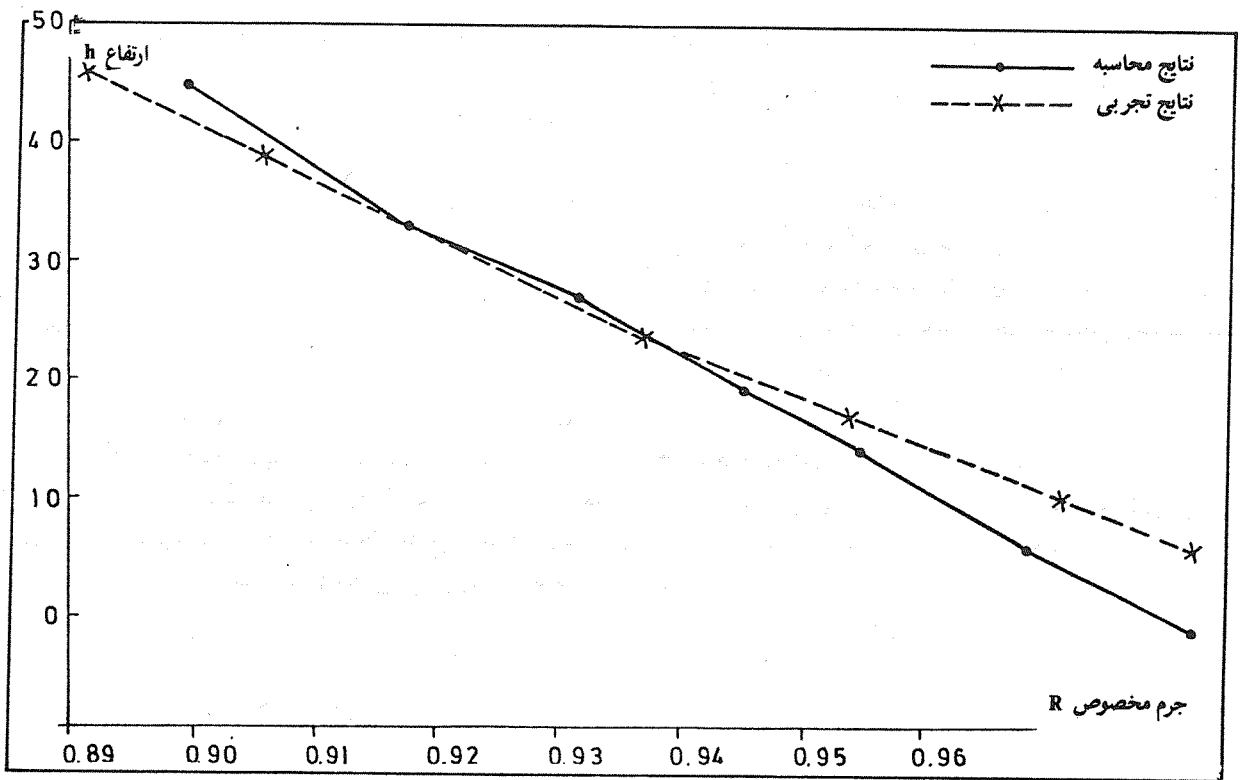
$$Q_b, t, \rho_a^2, \rho_b^2, Q_b^2, t^2 = 0$$

که معادله فوق (۱۷) معادله عمومی تغییر جرم مخصوص مایع خارج شده از ظرف B است که حل آن با ریاضیات مقدماتی امکان ندارد. رابطه فوق را فقط می توان با استفاده از شرایط آغازین مشخص به طریق عددی حل و تغییرات جرم مخصوص را بر حسب زمان به دست آورد. همچنین  $Q_b$  نیز خود تابع فشار است (قانون پویسله) و اختلاف فشار بستگی به زمان دارد و این موضوع نیز باید در هر نوع محاسبه ای منظور گردد.

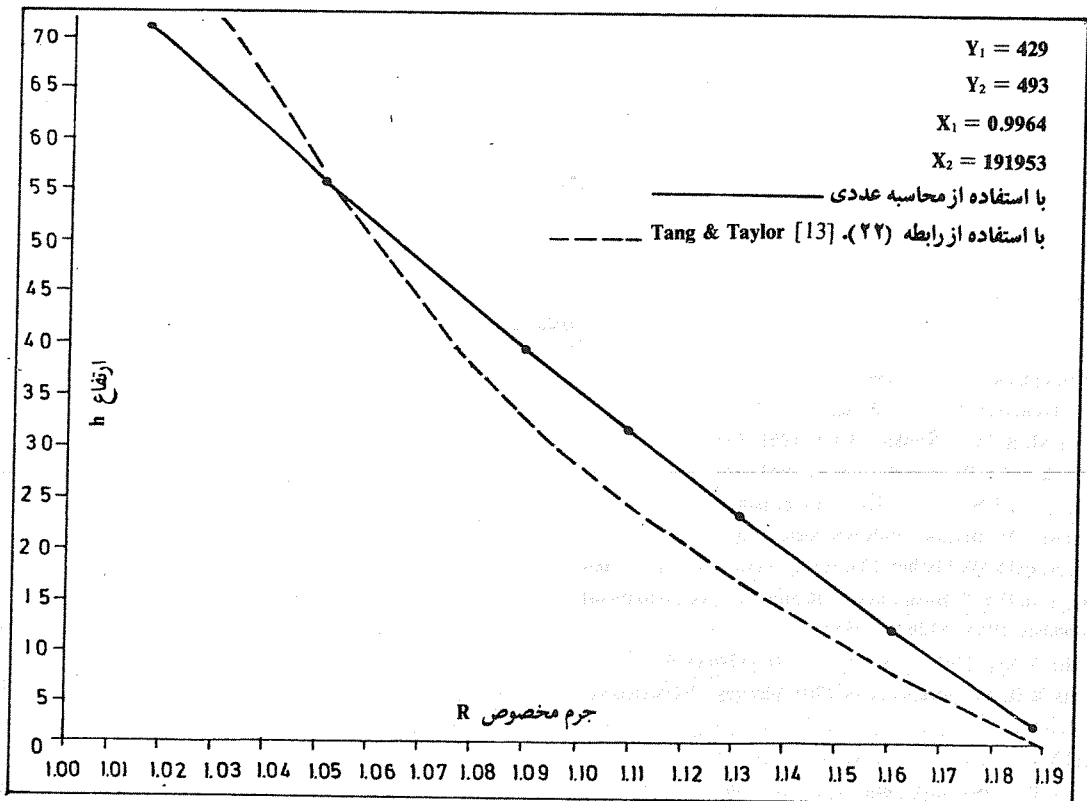
برای حل عددی مسأله طریق زیر پیشنهاد گردید.

۱ - ابتدا شرایط آغازین مشخص شد:

$$\rho_a = x_1 \quad \rho_b = x_2 \quad V_{ob} = y_1 \quad V_{oa} = y^2 \quad Q_b = z$$



شکل (۵): مقایسه نتایج حاصل از محاسبه و تجربی برای ستون آب و الکل.



شکل (۶): مقایسه محاسبه عددی و معادله تانگ و تابلور (۱۳) وقتی  $Q_a = Q_b$  باشد.

هم‌زن، مشعل شیشه‌گری و غیره است که تعداد زیادی از آنها جزء وسایل وارداتی آزمایشگاهی می‌باشند. ولی با استفاده از این وسایل می‌توان ستون سنجش جرم مخصوص را تهیه نمود و احتیاجی به خرید ستون و متعلقات ساخته شده از خارج نیست. چنانچه ترازیوی دقیق برای اندازه‌گیری جرم مخصوص مایعات در دسترس باشد ساخت و تنظیم گلوله‌های استاندارد نیز ممکن است.

۲ - با استفاده از معادلات ارائه شده و شرایط آغازین مشخص می‌توان منحنی تغییرات جرم مخصوص بر حسب ارتفاع مایع را پیش‌بینی کرد.

### تشکر و قدردانی

لازم است از جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی امیرکبیر که بودجه لازم برای انجام این تحقیقات را در اختیار گذاشت تشکر و قدردانی به عمل آید.

- ۱ - با کم شدن اختلاف جرم مخصوص مایعات مصرفی دقت اندازه‌گیری افزایش می‌یابد.
- ۲ - ابتدا وانتهای ستون دارای دقت کمتری از وسط ستون است.
- ۳ - زمان پر شدن ستون و محدوده قابل اندازه‌گیری را می‌توان با استفاده از محاسبه پیش‌بینی کرد.

### نتیجه

۱ - بررسی تجربی و مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که اندازه‌گیری جرم مخصوص با استفاده از ستون مدرج جرم مخصوص از طرق دیگر اندازه‌گیری سریعتر و دقیقتر است. بلاخص وقتی تعداد زیادی آزمونه مورد آزمایش قرار می‌گیرد، می‌تواند در صنایع مربوطه مورد استفاده قرار گیرد. برای تهیه ستون احتیاج به وسائلی از قبیل شیر، لوله شیشه‌ای به قطر ۳ الی ۵ سانتی متر، ترموستات، ترمومتر،

### باورقی

- 1 - crystalline polymrs
- 2 - degrees of order
- 3 - correlation coefficient

### منابع

1. ASTM Standards, part 25, 1966, USA.
2. AATCC. Technical Manual P 57-62, 1977, USA.
3. Preston J.M. & M.V. Nimkar, J.T.I. 1951, T446.
4. C.R. Stock and E.R. Scofield, T.R.J. 1951, p21.
5. J. C. Austin and S. Robert, T.R.J. 1956, p303.
6. Milles, and J.H. Briston «Polymer technology».
7. Fakirov, S, and F.W. Fischer, Makromol chem 1975, 176: 2465-2.
8. Doubany R.a, D.E.P. Bunn and C.J. Brawn, Proceeding to Royal Soc. London. 1954, A226: 531-542.
9. Alexandre X-Rey, Diffraction Methods In polymer Sc.,
10. Beevers R.B. «Experiments in fiber physics» Batterworths 1970, London,
11. ASTM Standards part 35, 1975, D105-68, USA.
12. Wiley, R.E. Plastic technology PLTEA, vol8 No3, p-31.
13. Young L.H. and W.C. Taylor J, of polym, Sc. 1956, 21, p144.
14. Arthur H. Thomas Co, Catulog Philadelphia PA, USA.