انتقال حرارت و رژیم جریان در فرآیند تغلیظ آب میوه توسط تبخیرکننده‌های با فیلم ریزان و صعودی

مجتبی سمنانی‌رهبر[i]؛ طاهره کاغذچی[ii]

چکیده

وجود ویتامین‌ها، پروتئین‌ها و مواد آلی دیگر در آب میوه‌ها سبب شده است که این مواد نسبت به عملیات تبخیر حساس شوند و به همین دلیل تبخیر آنها باید در تجهیزاتی صورت پذیرد که حداقل زمان اقامت و حداکثر راندمان را دارا باشند. وجود این ویژگی در تبخیر کننده‌های لوله‌ای با فیلم ریزان و صعودی آنها را برای تغلیظ آب میوه بسیار مناسب ساخته است. در این تحقیق برخی از پارامترهای مهم در تغلیظ آب انگور قرمز، آب انگور زرد و آب سیب به دست آمده از مناطق مختلف ایران در یک پایلوت نیمه صنعتی متشکل از یک تبخیر کنندهٔ دو مرحله‌ای حاوی فیلم ریزان و صعودی بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهند که تغییرات ضخامت فیلم مایع، ضریب انتقال حرارت و خواص ئیدرودینامیکی و حرارتی سیال کاملاً در محدودهٔ جریان آرام است و می‌توان در چند مرحله، آب میوه را به غلظت مناسب رساند و به حدّ استاندارد لازم برای نسبت غلظت کنسانتره به اسیدیته دست یافت.

واژه‌های کلیدی:" تبخیر"-" آب‌میوه"-" خلأ"-" فیلم ریزان و صعودی"-" ضریب انتقال حرارت"

Heat Transfer and Fluid Regime in Fruit Juice Concentration by Falling & Climbing Film Evaporators

M.S.Rahbar; T.Kaghazchi

ABSTRACT

Fruit juices are among heat sensitive foods. Vitamins, proteins and other organic materials present in most fruit juices may be easily decomposed during heat processing. Therefore, evaporators with minimum residence time and maximum efficiency for concentrating fruit juices should be applied. So,tubular type of falling and climbing film evaporators are suitable devices.

In the present investigation, certain important factors in concentration of red grape, yellow grape and apple juice from different parts of Iran in a pilot-plant doule effect falling-climbing film evaporator have been studied. Variation of liquid film thickness, heat transfer coefficient, hydrodynamic and thermal properties show that evaporation of the fruit juices takes place in laminar regime and the required concentration and ratio of the product concentration to acidity can be achieved by multiple-stage evaporation.

KEYWORDS

falling and climbing film, heat transfer coefficient, evaporation, fruit juice, vacuum

[i] استادیار، دانشگاه امام حسین (ع)، دانشکده فنی مهندسی، گروه مهندسی شیمی، تلفن: ۷۳۱۳۹۸۳، Email: msmnani@mail.ihu.ac.ir

[ii] استاد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی شیمی

۱- مقدمه

گسترش روزافزون تقاضا و عرضهٔ تولیدات متنوع صنایع غذایی سبب تلاش برای تکمیل و بهینه‌سازی فرآیندهای مربوط در زمینه‌های مختلف شده است. پیشرفت و تکامل تجهیزات تولید، سیستم‌های کنترل، نگهداری و بسته‌بندی به بالا بردن کیفیت محصولات و شدت رقابت در بازارهای جهانی و منطقه‌ای افزوده است. صنعت تولید آب‌میوه نیز از جمله صنایعی است که سهم مهمّی در بازار صنایع غذایی دارد و برای حصول به رقابت مؤثر باید بتوان آنرا با کیفیت بالا ارائه کرد. این کیفیت باید با استمرار ارائهٔ محصول در بازار توأم باشد که این امر با توجه به فصلی بودن میوه‌ها مستلزم آن است که بتوان تمهیداتی برای عرضهٔ آب میوه‌ها در تمام فصول به کار برد. یکی از روش‌های مناسب برای امکان ارائهٔ مستمر این محصول، تولید آبمیوه کنسانتره است. صرف‌نظر از روش آبگیری از میوه‌ها، آب‌میوه‌هایی که به دست می‌آیند با روش‌هایی از قبیل تبخیر، تغلیظ انجمادی و روش اسمزی تغلیظ می‌شوند که روش تبخیر به دلیل امکان دستیابی به غلظت‌های بالاتر، ظرفیت تولید بیشتر و اقتصادی بودن به روش‌های دیگر برتری دارد.

روش اسمز معکوس به دلیل تأثیرگذاری و اتلاف مواد معطر و استفاده از فشار بالا و محدویت میزان تغلیظ، کاربرد وسیعی ندارد. تغلیظ انجمادی نیز به دلیل ظرفیت پایین و هزینه عملیاتی سنگین به خاطر وجود سیستم تبرید هنوز نتوانسته است در صنعت جایگاه مناسبی پیدا کند [۱].

تغلیظ آب‌میوه‌ها به منظور دستیابی به اهداف زیر انجام می‌شود:

الف ـ امکان تولید محصول با کیفیت یکنواخت در فواصل زمانی مختلف (فصول مختلف) با توجه به فصلی بودن تولید آب‌میوه تازه

ب ـ کاستن از نوسان قیمت به دلیل فصلی بودن تولید آب‌میوه تازه

ج ـ افزایش ظرفیت تولید

د ـ کاستن از بار فرآیند خشک کردن که گاهی در صنایع آبمیوه‌سازی برای تولید محصولات پودری مورد استفاده قرار می‌گیرند.

ه ـ صرفه‌جویی در سرمایه‌گذاری با توجه به اینکه تجهیزات مربوط به تغلیظ آب‌میوه‌ها نسبت به سیستم ذخیره‌سازی و انبار کردن و نگهداری آب‌میوه تازه هزینه کمتری دربر دارد.

و ـ کاهش مخارج حمل و نقل زیرا کمیت مواد بطور قابل توجهی کاهش می‌یابد[۲].

از آنجا که آب‌میوه‌ها دارای درصد بالای آب به مقدار حداقل ۷۸٪ وزنی هستند افزایش غلظت اجزای جامد درون آنها توسط تبخیر و جداسازی آب صورت می‌پذیرد به دلیل حساسیت مواد موجود در آب‌میوه به حرارت، معمولاً تبخیر در خلأ صورت می‌گیرد مقدار جامدات موجود در آب‌میوه می تواند سبب افزایش نقطه جوش آب میوه شود که میزان این افزایش با تغلیظ خوراک تغییر می‌کند افزایش نقطه جوش (BPE) را می‌توان با رابطه (۱) بیان کرد.

$$B.P.E = \frac{^{o}BX}{100 - ^{o}BX} \qquad (۱)$$

معیار وجود اجزای جامد در آبمیوه‌ها درجه بریکس ^{o}BX است که درصد وزنی مواد جامد در آبمیوه است از آنجا که مقدار اعظم جامدات درون آبمیوه را شکر به فرم‌های مختلف تشکیل می‌دهد گاهی درجه بریکس را بصورت درصد وزنی شکر موجود در آبمیوه تعریف می‌کنند. با تبخیر آبمیوه درجه بریکس آن افزایش می‌یابد که این امر خود سبب افزایش ویسکوزیته می‌شود و افزایش ویسکوزیته به نوبه خود باعث کاهش ضریب انتقال حرارت می‌شود. در جدول (۱) ارتباط بین درجه بریکس، درجه بومه و دانسیته ارائه می‌شود.

مقدار حجم کنسانتره که از تبخیر آب از آب‌میوه تازه بدست می‌آید را می‌توان با رابطه (۲) محاسبه کرد.

$$\frac{g}{G} = \frac{S_1 \times B}{S_2 \times b} \qquad (۲)$$

که S_1، B، G به ترتیب وزن مخصوص، درجه بریکس و حجم کنسانتره و S_2، b و g نیز وزن مخصوص، درجه بریکس و حجم آب میوه تازه است [۳].

جدول (۱): ارتباط بین درجه بریکس، درجه بومه و دانسیته

۷۰ درجه سانتیگراد			۲۰ درجه سانتیگراد		
دانسیته (gr/cc)	^{0}Be	^{0}BX	دانسیته (gr/cc)	Be	BX
۱/۰۳۸	۵/۵	۱۰	۱/۰۲	۵/۵	۱۰
۱/۰۸	۱۱	۲۰	۱/۰۶	۱۱	۲۰
۱/۱۲۵	۱۶	۳۰	۱/۱۱	۱۶	۳۰
۱/۱۷۵	۲۲	۴۰	۱/۱۵۵	۲۲	۴۰
۱/۲۳	۲۷	۵۰	۱/۲۰۵	۲۷	۵۰
۱/۲۹	۳۳	۶۰	۱/۲۶	۳۳	۶۰
۱/۳۵	۳۷/۵	۷۰	۱/۳۲	۳۷/۵	۷۰
۱/۴۲۵	۴۲/۵	۸۰	۱/۴	۴۲/۵	۸۰
۱/۴۸	۴۷/۵	۹۰	۱/۴۷	۴۷/۵	۹۰

نسبت $\frac{^0BX}{[acid]}$ که به صورت نسبت (غلظت آبمیوه/اسیدیته) تعریف می‌شود نیز یکی از پارامترهای مهم در تغلیظ آبمیوه‌هاست. بر طبق استاندارد کشور آمریکا این نسبت۱۷-۱۶ و در کشورهای دیگر ۱۴-۱۳ است. اسیدیته آب انگور و آب سیب به اسیدمالییک و در مورد آب پرتقال به اسید سیتریک باز می‌گردد و مقدار آن نیز از تیتراسیون آب‌میوه با سود به دست می‌آید.

۲- ترکیب آب اسید و آب انگور تازه

آب سیب حاوی بسیاری از اجزای اصلی سیب مانند شکرها، اسیدها، مواد معدنی، کربوهیدرات‌هاست. مقدار آب موجود در میوه‌ها بر روی ترکیب و کیفیت آب سیب حاصل تأثیر می‌گذارد، زیرا بر روی درصد جامدات محلول یا وزن مخصوص آن اثر خواهد گذاشت. پکتین یا اجزای شبیه آن بر روی ویسکوزیته آب سیب اثر می‌گذارند. آب سیب دارای شکر بصورت فروکتوز و مقادیر کمتری ساکاروز و گلوکز است که در میوه رسیده مقدار فروکتوز ۸/۲۴ - ۴/۳۴ درصد، گلوکز ۱/۹۵ - ۱/۳۴ درصد و ساکاروز ۴/۱۸ - ۱/۷۲ درصد است. ماکزیمم شکر موجود در سیب ۱۵/۹ درصد و حداقل آن ۶/۶ درصد و بطور میانگین ۱۱/۱ درصد است. علاوه بر اسید مالییک، اسید سیتریک نیز در سیب وجود دارد. اگر چه اسیدیته آن تنها به جزء اسید مالییک باز می‌گردد. اسیدهای دیگری مانند کوینیک، گلیکونیک، ساکسینیک نیز وجود دارد.

اسیدیته سیب با انبار کردن و رسیده شدن آن کاهش می‌یابد. میوه‌هایی که در محیط گرم و آفتابی رشد کرده‌اند دارای جزء شکر و اسید بیشتری نسبت به سیب‌های دیگر هستند. الکل‌ها، ترکیبات کربونیل و استرها، دیگر اجزاء موجود در سیب هستند که تقریباً به مقدار ppm ۵۰ اندازه‌گیری شده‌اند. به دلیل فراریت این مواد امکان اتلاف آنها خصوصاً در طی فرآیندهای مربوط به آب سیب و حرارت دهی به آن زیاد خواهد بود. تانین نیز به مقدار کم در آب سیب موجود است. ترکیبات این ماده به دلیل مزه گس مانندی که دارند تاثیر مشخصی بر روی طعم آب سیب خواهند داشت. تانین‌ها جزیی از مسئولیت تیرگی سریع آب سیب را زمانیکه در معرض هوا قرار می‌گیرد نیز بر عهده دارند. در جدول (۲) اطلاعات در مورد ترکیب شیمیایی و خصوصیات بعضی از انواع سیب‌ها ارائه می‌شود [۴].

شکر جزء اصلی جامدات محلول در آب انگور است. تفاوت اندکی بین ترکیبات شیمیایی انگور و آب میوهٔ حاصل از آن وجود دارد که این امر به دلیل بافت فیبری و روغنی ایجاد شده از دانه انگور است که در آب انگور وجود دارد و در اثر استخراج آب میوه از انگور بدست می‌آید. اسیدها به مقدار کمتر، اجزای طعم دهنده مانند متیل آنتارانیلیت، تانین‌ها، ویتامین‌ها و مواد رنگی تأثیر بیشتری بر کیفیت آب انگور دارند. جدول (۳) بیانگر بعضی از خواص انگور است. اسیدهایی که عمدتاً در آب انگور یافت می‌شوند اسید تارتاریک و مالییک هستند. اگر چه مقادیر کمی اسید سیتریک، ساکسینیک ولاکتیک نیز در آن دیده شده است. با رسیدن انگور، میزان اسید مالییک و اسیدهای تارتاریک آزاد کاهش و مقدار بی تارترات پتاسیم افزایش می‌یابد. آزمایش‌ها نشان داده است که کاهش در مقدار کلی اسیدها با رسیدن میوه اصولاً نتیجه کاهش در میزان اسید مالییک آن است. دیده شده است که مواد دیگری چون ویتامین C و B_2، آنزیم‌ها، اکسید کننده‌های پروپکتینایز و پکتاز نیز در انگورها وجود دارند. در اثر رسیدن میوه و با افزایش pH، مقدار اسید قابل تیتراسیون کاهش یافته و بر میزان شکر افزوده می‌گردد، به عبارت دیگر در اغلب اوقات اسیدیتهٔ بالا بیانگر وجود مقدار شکر کم در میوه است. انگوری که در فصول بارانی و گرم رشد کرده باشد، دارای مقدار اسیدیته کمتر و شکر بیشتری نسبت به انگوری خواهد بود که در فصول سرد و ابری به بار آمده باشد[۴ و ۵].

۳- تغلیظ آبمیوه‌ها به روش تبخیر

تغلیظ آبمیوه‌ها عمدتاً با تبخیر کننده‌های با فیلم ریزان، تبخیرکننده‌های با فیلم صعودی و یا ترکیبی از این دو بصورت لوله‌ای و صفحه‌ای انجام می‌شود با توجه به صرفه‌جویی اقتصادی انرژی، تمایل زیادی به استفاده از مراحل بیشتر وجود دارد تبخیرکننده‌های با گردش اجباری به دلیل طولانی بودن زمان مجاورت و امکان کارامل شدن و سوختن محصول به ندرت جهت تغلیظ آبمیوه‌ها به کار می‌روند.

فرآیند تغلیظ آبمیوه‌ها بویژه آب سیب و آب پرتقال غالباً با هواگیری و کاهش اسانس موجود در آب میوه تازه همراه است که قبل از تبخیر صورت می‌پذیرد. زیرا اکسیژن در آب میوه تازه حل شده، باعث انجام واکنشهای شیمیایی می‌شود که خود سبب تغییر طعم و مزه آن می‌شود. در مورد آب مرکبات کنترل روغن و اسانس پوست میوه نیز دارای اهمیت است [۵].

تبخیرکننده‌های چند مرحله‌ای با فیلم ریزان معمولاً در تغلیظ آب مرکبات مورد استفاده قرار می گیرد که اغلب شامل پنج مرحله یا بیشتر است این تغلیظ کننده در واقع یک تبخیرکننده با فیلم ریزان لوله‌ای است که آب‌میوه از سطوح حرارتی لوله به پایین سرازیر و پس از تغلیظ در این لوله توسط پمپ به بالای لوله بعدی پمپ می‌شود و زمان اقامت در این تبخیرکننده‌ها حدود پنج دقیقه است. برای تولید کنسانتره‌های بسیار غلیظ تبخیرکننده‌های سانتریفوژ بکار می‌روند. اگر کنسانتره در تولید ژله و نوشابه‌ها مورد استفاده قرار گیرد، آب‌میوه اولیه باید کاملاً پکتین‌زدایی و شفاف باشد [۸- ۶].

یکی از مزایای استفاده از تبخیرکننده‌های با فیلم ریزان امکان استفاده از آن برای تغلیظ آبمیوه در دماهای پایین است که این امر می تواند به حفظ ویتامین‌ها و املاح مغذی در آبمیوه کنسانتره کمک نماید. تبخیرکننده‌های با فیلم ریزان موجود ظرفیتی بین ۸۰۰۰۰ ـ ۲۰۰۰۰۰ پوند در ساعت آب تبخیر شده را دارا هستند. جدول (٤) اطلاعات مربوط به تولید آب پرتقال کنسانتره در یک تبخیر کننده چند مرحله‌ای با فیلم ریزان را ارائه می‌کند.

غلظت مطلوب برای آب سیب و آب انگور ٤٥ و برای آب پرتقال ٦٥ درجه بریکس است [۹].

جدول (۴): طلاعات مربوط به تولید آب پرتقال کنسانتره توسط تبخیر کننده چند مرحله‌ای با فیلم ریزان

Stage	Product , lb	T , °F	°Brix
Feed	80,000	70	12
First	75,000	105	13
Second	60,000	205	16
Third	40,000	190	33
Fourth	25,000	170	40
Fifth	20,000	145	48
Sixth	18,000	115	56
Seventh	15,200	105	63
Flash	15,000	60	65

٤- ضرایب انتقال حرارت در فیلم ریزان

برای محاسبه ضرایب انتقال حرارت ابتدا باید مدل‌های ریاضی که بیانگر حرکت هیدرودینامیکی سیال درون لوله باشد مورد بررسی قرار گیرد.

عدد رینولدز در جریان فیلمی به صورت رابطه (۳) تعریف می‌شود:

$$Re = \frac{4U_{ave}\delta_p}{\mu} = \frac{4\Gamma}{\mu} = \frac{4Q}{\pi d v} \qquad (۳)$$

که d قطر لوله، v ویسکوزیته سینماتیک و Q سرعت جریان حجمی سیال است.

محدوده‌های گذر از حالت جریان آرام به جریان آرام موج دار و حالت درهم با معادلات (٦-٤) ارائه شده است:

$$Re = 0.61Ka^{-1.11} \qquad (٤)$$

$$Re = 5800\,Pr^{-1.06} = 0.215Ka^{-0.333} \qquad (٥)$$

$$Ka = \frac{g\mu^4}{\rho\alpha^3} \qquad (٦)$$

که ρ دانسیته، μ ویسکوزیته، α کشش سطحی و Ka عدد کاپیتزا است.

ضخامت فیلم مایع ریزان، δ، نیز در هر یک از انواع جریانات سیال به صورت روابط (۱۱-۷) ارائه شده است [۱۲- ۱۰]:

جریان آرام:

$$\delta = 0.91\left(\frac{v^2}{g}\right)^{1.3} Re^{0.333} \qquad (۷)$$

جریان آرام موجدار:

$$\delta = 0.93\left(\frac{3vQ}{g}\right)^{0.333} \qquad (۸)$$

جریان درهم:

$$\delta = (0.5\,Re)^{0.5} \qquad 0 \le \delta \le 5 \qquad (۹)$$

$$Re = 20\delta Ln\delta \qquad 5 \le \delta \le 30 \qquad (۱۰)$$

$$Re = 4\delta(3 + 2.5Ln\delta) - 256 \qquad \delta > 30 \qquad (۱۱)$$

ضریب انتقال حرارت مایع درون فیلم ریزان نیز با معادلات (۱۲) تا (۱۵) ارائه شده است[۱۳ و ۱۴]:

جریان آرام:

$$h = 1.1\left(\frac{k^3 g}{\nu^2}\right)^{0.33} Re^{-0.33} \qquad (۱۲)$$

جریان آرام موجدار

$$h = 0.822\left(\frac{k^3 g}{\nu^2}\right)^{0.33} Re^{-0.22} \qquad (۱۳)$$

جریان درهم:

$$h = 0.0038\left(\frac{k^3 g}{3\nu^2}\right)^{0.33} Pr^{0.65}\, Re^{0.4} \qquad (۱۴)$$

$$Pr = \frac{c\mu}{k} \qquad (۱۵)$$

که در رابطه فوق c ظرفیت حرارتی، μ ویسکوزیته دینامیکی، ν ویسکوزیته سینماتیکی، k ضریب هدایت حرارتی سیال هستند و g شتاب ثقل است.

۵- ضرایب انتقال حرارت در فیلم صعودی

طراحی تبخیرکننده‌های با فیلم صعودی غالباً به دلیل فقدان تئوری جامع لازم برای توضیح و تشریح تأثیر فاکتورهای مختلف بر عملکرد این واحدها با مشکل روبرو بوده است. روابطی که وجود دارد عمدتاً تجربی است و فقط به محدوده کوچکی از کاربردها مربوط می‌شود. لوله‌های مورد استفاده در این نوع تبخیرکننده دارای قطر بین ۲ - ۰/۷۵ اینچ و طول ۲۵ - ۱۰ فوت هستند به طوری که نسبت طول به قطر حدود ۱۲۵ خواهد بود. به منظور استفاده از حداکثر طول لوله برای تبخیر و راندمان مطلوبتر، خوراک باید در نقطه جوشش خود وارد تبخیرکننده شود.

ضریب انتقال حرارت سیال درون لوله با فیلم صعودی را می‌توان از معادلات (۱۶) و (۱۷) محاسبه کرد:

$$Nu = (1.3 + 39d)\, Pr^{0.9}\, Re_L^{0.34}\left(\frac{\rho_L}{\rho_V}\right)^{0.25}\left(\frac{\mu_V}{\mu_L}\right) \qquad (۱۶)$$

$$Nu = \frac{h\delta}{k} \qquad (۱۷)$$

که اندیس‌های L و V بیانگر فازهای مایع و گاز است. حداقل سرعت بخار درون لوله باید ۳۰ ft/s باشد و سرعت ۱۰۰ ft/s برای عملیات در یک اتمسفر مناسب است. حداقل سرعت جریان خوراک ورودی برای لوله‌های با قطر حداکثر یک اینچ، سه برابر مقدار مایعی است که باید در طی تبخیر در لوله، بخار شود و برای داشتن یک جریان پایدار و دائمی از فیلم مایع درون لوله مقدار خوراک باید ۱/۵ برابر این مقدار حداقل باشد. بهترین نتیجه از عملیات در فیلم صعودی زمانی بدست می‌آید که نسبت طول لوله به قطر آن حدود ۱۰۰ است [۱۵].

۶- تجربی

۶-۱- مواد

آب‌میوه‌های مورد استفاده برای تغلیظ، درکارخانه پاکدیس ارومیه آب‌گیری شده بود که مشخصات فیزیکی آنها در جدول (۵) ارائه شده است [۱۶].

۶-۲- دستگاه‌ها

آزمایش‌ها در یک واحد نیمه صنعتی متشکل از تبخیرکننده‌های با فیلم صعودی و ریزان مطابق شکل (۱) صورت پذیرفت. این واحد شامل دو لوله عمودی دوجداره است که یکی از آنها برای تبخیر به صورت فیلم صعودی و دیگری برای تبخیر به شکل فیلم ریزان مورد استفاده قرار گرفت که جدول (۶) مشخصات هر یک از آنها را ارائه می‌دهد. جریان خروجی از تبخیرکننده فیلم صعودی بعنوان خوراک تبخیرکننده فیلم ریزان بکار می‌رفت که توسط توزیع‌کننده از بالای لوله بصورت یک فیلم نازک بر روی جداره داخلی آن جریان می‌یافت. با استفاده از کندانسور، بخار آب ایجاد شده در فیلم ریزان به مایع تبدیل شده و بدینوسیله مقدار بخارات ایجاد شده طی عمل تبخیر بدست می‌آمد. ترموکوپل‌ها و فشارسنج‌ها شرایط عملیاتی در نقاط مختلف تبخیرکننده را ارائه می‌دادند. سیستم خلأ این واحد

جدول (۲): برخی از ویژگی‌های انواع آب سیب

Variety	Specific Gravity	Degrees Brix	pH	Maleic Acid (Per Cent)	Tannin (Per Cent)
Baldwin	1.0499	11.8	3.5	0.48	0.06
Ben Davise	1.0450	11.5	3.7	0.43	0.06
King	1.0500	12.9	3.6	0.53	0.07
McIntosh	1.0400	11.5	3.5	0.48	0.08
Northern Spy	1.0452	12.0	3.4	0.49	0.08
Rhode Island Greening	1.0450	12.0	3.5	0.47	0.07
Roxbury Russet	1.0652	16.0	3.3	0.67	0.06
Wealthy	1.0470	12.4	3.3	0.61	0.05

جدول (۳): اجزای شیمیایی و خواص آب انگور

Juice pressed before or After Heating	Solids	Sugar (as Invert Before Inversion)	Non-sugar Solids	Total Acid as Tartaric	Total Tartaric Acid Free and Combined	Free Tartaric Acid	Cream of Tartar	Ash	Tannin and Coloring matter	Alkalinity	
	Gm. Per 100 Ml.									Soluble Ash	Insoluble Ash
										N/10 Acid per 100 Ml.	
Max	17.20	14.36	2.84	0.81	0.65	0.24	0.62	0.27	0.08	2.33	3.6
before											
after	18.50	15.12	3.63	1.16	1.04	0.35	11.05	0.46	0.24	55.8	4.8
Min	15.66	13.38	2.25	0.74	0.55	0.09	0.42	0.20	0.06	22.4	2.6
before											
after	16.44	13.29	3.15	1.04	0.94	0.12	0.71	0.33	0.19	38.0	3.8
Aver	16.36	13.93	2.43	0.78	0.61	0.16	0.50	0.23	0.07	26.9	3.1
before											
after	17.43	14.03	3.40	1.09	0.99	0.22	0.88	0.39	0.21	46.7	4.2
Average Increase	1.07	0.10	0.97	0.31	0.38	0.06	0.38	0.16	0.14	19.8	1.1

جدول (۵): مشخصات آب سیب و آب انگور مورد استفاده در آزمایش‌ها

ویژگی / آبمیوه	درصد وزنی آب موجود	دانسیته، kg/m^3	هدایت حرارتی، $W/m^{\circ}C$	ظرفیت حرارتی، $kJ/kg^{\circ}C$
آب سیب	۸۷	۱۰۰۰	۰/۵۵۹	۳/۸۶
آب انگور	۸۹	۱۰۰۰	۰/۵۶۷	۳/۹۱

جدول (۶): مشخصات لوله فیلم ریزان و فیلم صعودی مورد استفاده در آزمایش‌ها

قطراسمی (in)	نوع تبخیرکننده	تعداد لوله	قطر داخلی (in)	قطر خارجی (in)	ضخامت (in)	طول لوله (cm)	ضریب هدایت حرارتی لوله k $\frac{Btu}{hr.\frac{ft^2}{ft}.^{\circ}F}$
$\frac{۳}{۸}$	فیلم صعودی	یک عدد	۰/۴۹۳	۰/۶۷۵	۰/۰۹۱	۱۵۱	۱۱
$\frac{۳}{۴}$	فیلم ریزان	یک عدد	۰/۸۲۴	۰/۰۵۰	۰/۱۱۳	۱۶۳	۱۱

جدول (۷): اطلاعات مربوط به تغلیظ آب سیب با فیلم ریزان

فشار بخار جداره (pisg)	غلظت نهایی (°BX)	غلظت اولیه (°BX)	سرعت جریان خوراک (cc/min)	مرحله
٤	٢١/٢	٢٠/٣	٥٨٠	١
٤	٢٤/٥	٢١/١	٥٨٠	٢
٤	٢٩	٢٤/٥	٥٨٠	٣
٤	٣٦	٢٩	٥٨٠	٤
٤	٣٨/٥	٣٦	٥٨٠	٥
٤	٤٠/٧	٣٨/٥	٥٨٠	٦

جدول (۸): اطلاعات مربوط به تغلیظ آب انگور (زردرنگ) با فیلم ریزان

فشار بخار جداره (pisg)	غلظت نهایی (°BX)	غلظت اولیه (°BX)	سرعت جریان خوراک (cc/min)	مرحله
٦	٢٧/٥	٢٥	٧٨٠	١
٦	٣٠	٢٧/٥	٥٨٠	٢
٦	٣١/٥	٣٠	٧٨٠	٣
٦	٣٥/٥	٣١/٥	٥٨٠	٤
٦	٣٧/٧	٣٥/٥	٥٨٠	٥
٦	٤٣/٢	٣٧/٧	٩٣٠	٦

جدول (۹): اطلاعات مربوط به تغلیظ آب انگور (قرمزرنگ) با فیلم صعودی و ریزان

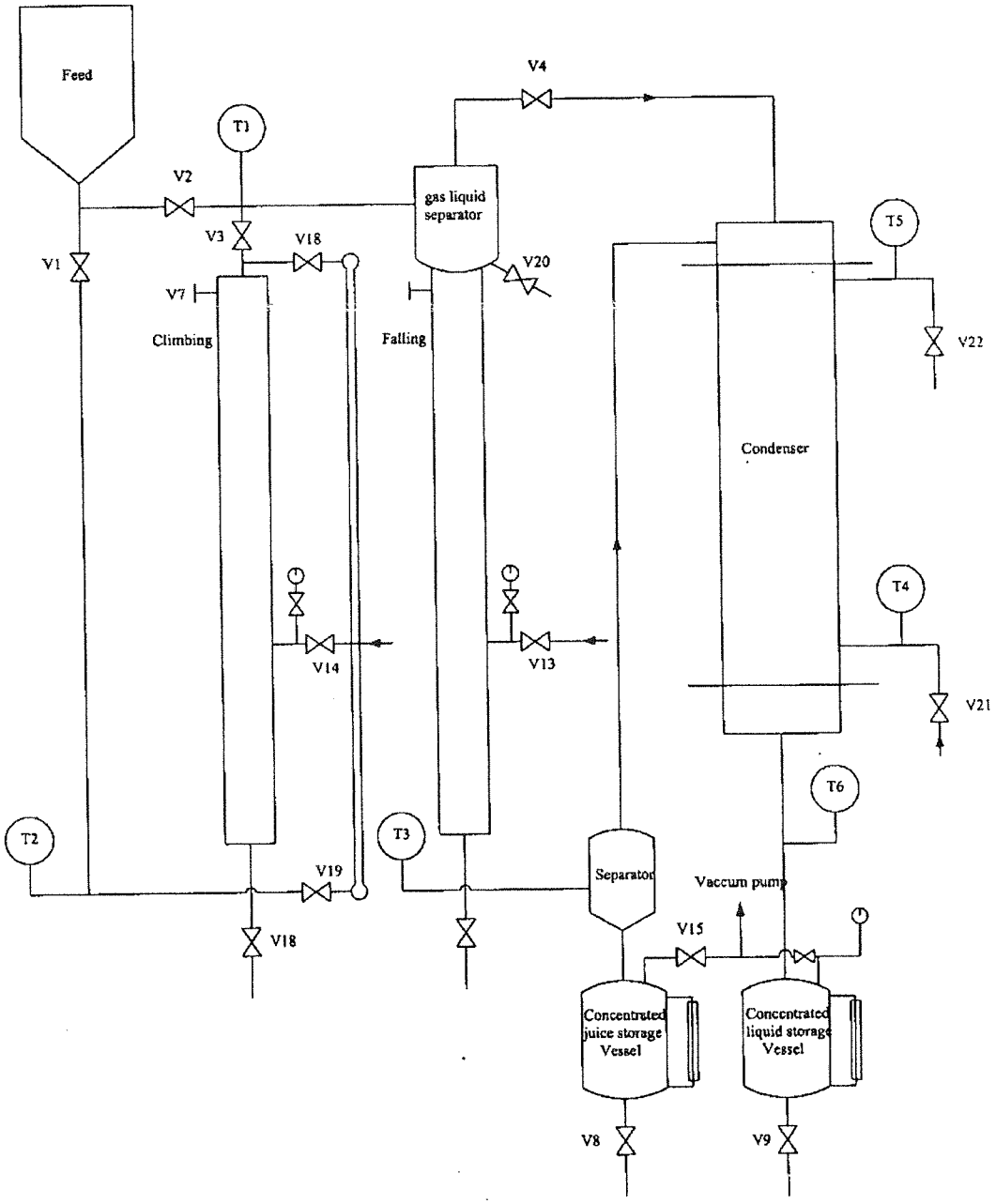
غلظت نهایی (°BX)	غلظت اولیه (°BX)	سرعت جریان خوراک (cc/min)	فشار بخار در فیلم صعودی (psig)	فشار بخار در فیلم ریزان (psig)	مرحله
٢٤	٢٢/٥	٤٧٠	٦	٤	١
٢٧	٢٤	٤٧٠	٦	٤	٢
٣١	٢٧	٤٧٠	٦	٤	٣
٣٥	٣١	٤٧٠	٦	٤	٤
٤٠	٣٥	٤٧٠	٦	٤	٥
٤٤	٤٠	٤٧٠	٦	٤	٦
٤٨	٤٤	٤٧٠	٦	٤	٧

جدول (۱۰): اطلاعات مربوط به تغلیظ آب سیب با فیلم صعودی و ریزان

غلظت نهایی (°BX)	غلظت اولیه (°BX)	شدت جریان خوراک (cc/min)	فشار بخار در فیلم صعودی (psig)	فشار بخار در فیلم ریزان (psig)	مرحله
٢٠	١٨/٥	٧٨٠	٦	٢	١
٢١/٥	٢٠	٧٨٠	٦	٢	٢
٢٢/٥	٢١/٥	٤٧٠	٦	٢	٣
٢٩/٥	٢٢/٥	٣١٢	٦	٤	٤
٣٣/٥	٢٩/٥	٣١٢	٦	٤	٥
٣٤	٣٣/٥	٣١٢	٦	٢	٦
٣٧	٣٤	٣١٢	٦	٢	٧
٤٠/٥	٣٧	٣١٢	٦	٢	٨

جدول (۱۱): اطلاعات مربوط به تغلیظ آب انگور زردرنگ و آب سیب توسط فیلم ریزان

تعداد مراحل	نوع محصول	غلظت اولیه (^{o}BX)	غلظت نهایی (^{o}BX)	اسیدیته (g /۱۰۰cc)	$\frac{^{o}BX}{acid}$
۷	آب انگور (زردرنگ)	۲۵	۴۳/۲	۲/۷۹	۱۷/۲
۶	آب سیب	۲۰/۳	۴۰/۷	۲/۹۲	۱۳/۹



شکل (۱): شمای دستگاه نیمه صنعتی شامل تبخیر کننده با فیلم صعودی و فیلم ریزان مورد استفاده در آزمایش‌ها

۸- مراجع

[۱] Sizer E. C. et al., "*Maintaining flavor and nutrient quality of aseptic orange juice*", Food Tech., pp. 152, 1988.

[۲] Fellows J. P., *"Food processing technology, principales and practice*", Chapter 10, Ellis Horwood limited, 1990.

[۳] Chung G.C., Handbook of sugar refining, John Wiley and Sons, Chapter 12, pp. 169-186,2000

[۴] Heldman K.D., Food process Engineer-ing, 2nd Ed., John Wiley and Sons, Chapter 5, 1981.

[۵] Constenla T. D et al., *"Thermophysical properties of clarified apple juice as a function of concentration and temperature*", J.Food. Sci.,Vol. 54, No.3, pp. 663,1989.

[۶] Hoffman D., "*Low-Temperature vaporation plants*", Chem Mattews. F. R et al., *"Recovery and applicatios of essential oils from oranges*", Food.Tech., pp. 27, 1987.. Eng. Prog., pp. 59, 1981.

[۷] Marcy E. J., et al., "*Effect of storage temp-erature on the stability of aseptically packaged concentrated orange juice and concentrated orange drink*", J. Food. Sci., Vol. 54, No. 1, pp. 227, 1988.

[۸] Marcy. E. J., et al., *"Effect of storage temp-erature on the stability of aseptically packaged concentrated orange juice and concentrated orange drink*", J. Food. Sci., vol. 54, No. 1, pp.227, 1988.

[۹] Rao A. M., et al., "*Flow properties of concentrated juices at low temperature*", Food. Tech., pp. 113, 1984.

[۱۰] Shmerler A. J., et al., "*Local evaporation heat transfer coefficient in turbulent free falling liqiud films*", Int. J. Heat and Mass. Trans., pp. 391, 1971.

[۱۱] Whitt R. F., "*Performance of falling film evaporator*", Bri. Chem. Eng., Vol.11, No.12, pp. 1523, 1960.

[۱۲] Sinek R. J., et al., "*Heat transfer in falling film long tube vertical evaporators*", Chem. Eng. Prog., Vol.158, No.12 pp. 74, 1989.

[۱۳] Chun R.K., Seban A.R., "*Heat transfer to evaporating liquid films*", J. Heat. Trans., pp. 391, 1971.

[۱۴] Chun R.K., Seban A.R., "*Performance predi-ction of falling film evaporators*", J. Heat. Trans., pp. 432, 1972.

[۱۵] Norman S.W., Meintryre V., "*Heat tran-sfer to liquid film on vertical surface*", Trans. Ins. Chem. Engrs., Vol. 38, 1960.

[۱۶] Cengel A. Y., Heat transfer-a practical approach, 2nd ed., TATA McGraw Hill, pp. 856-905, 2003.