



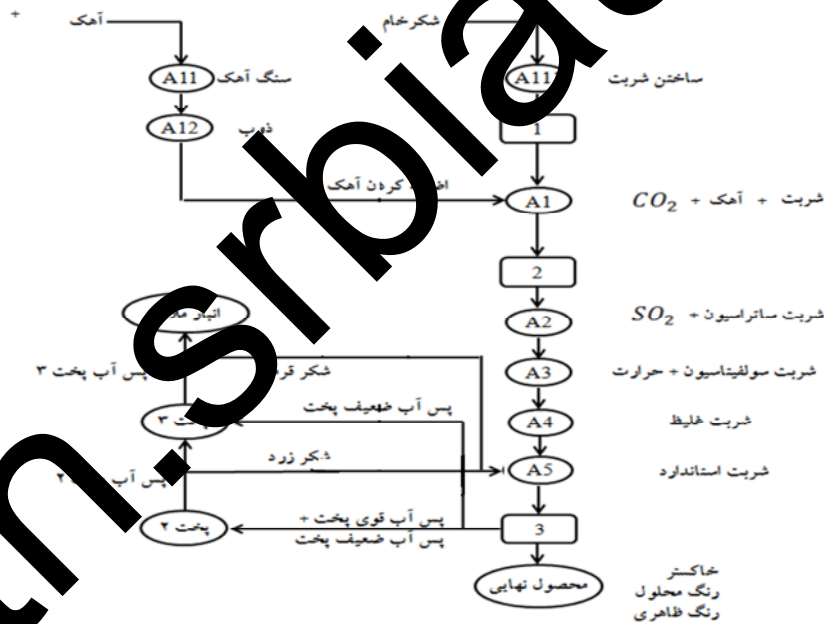


جدول ۱- واردات شکر از سال ۱۳۸۵ تا پایان سال ۱۳۹۰

سال	شکر سفید (هزارتن)	بها (دلار)	شکر خام (هزارتن)	بها (دلار)	جمع واردات (هزارتن)	جمع بها واردات (دلار)
۱۳۸۵	۶۷۵	۳۰۷۶۵۷۰۰۰	۱۸۰۶	۶۹۰۷۷۷۰۰۰	۲۴۸۱	۹۹۸۴۳۵۰۰۰
۱۳۸۶	۳۴۸	۱۳۳۳۰۹۳۴۴	۸۲۲	۲۷۴۴۶۱۳۶۷	۱۱۷۰	۴۰۷۷۷۰۷۱۰
۱۳۸۷	۱۰۳	۳۷۲۱۳۳۳۲	۹۹۸	۲۸۷۸۰۰۰۱۳	۱۱۰۱	۳۲۵۰۱۳۳۴۵
۱۳۸۸	۲۷	۸۸۱۹۹۰۶	۸۵۰	۳۱۵۸۲۶۱۱۴	۸۷۷	۳۲۴۶۴۶۰۲۰
۱۳۸۹	۰	۰	۱۸۰۵	۷۰۴۵۲۰۴۰۷	۱۸۰۵	۷۰۴۵۲۰۴۰۷
۱۳۹۰	۶	۳۷۹۹۵۱۰	۱۲۲۸	۷۵۲۱۰۵۳۳۴	۱۲۳۴	۷۵۵۹۰۴۸۴۴
جمع	۱۱۵۹	۴۹۰۷۹۹۰۹۲	۷۵۰۹	۳۰۲۵۴۹۰۲۳۵	۸۶۶۸	۳۵۱۶۲۹۰۳۳۶

جدول ۲- آنالیز نمونه برای کیفیت های مختلف شکرخام برای تصفیه

مشخصه کیفی	درصد خلوص فوق العاده بالا	درصد خلوص خیلی بالا	درصد خلوص بالا	درصد خلوص پایین
کشور	QHP	VHP	IHP	LP
خلوص	استرالیا	افریقای جنوبی	استرالیا	افریقای جنوبی
رطوبت (g/100g)	۰/۱۲	۰/۱۰	۰/۱۸	۰/۳۵
قندهای احیا شکر (g/100g)	۰/۰۷	۰/۱۶	۰/۱۴	۰/۵۱
خاکستر (g/100g)	۰/۱۱	۰/۱۵	۰/۱۸	۰/۲۰
رنگ (IU)	۴۵۰	۱۵۰۰	۱۱۰۰	۳۳۰۰
نشاسته (mg/kg)	۲۵۰	۱۱۰	۵۰	۱۱۰
دکستران (mg/kg)	۳۵۰	۹۰	۲۰	۹۰



شکل ۱- دیاگرام خط تولید تصفیه شکرخام

اصلی ترین پارامترهای موثر در کیفیت شکر سفید طبق استاندارد، میزان ساکاروز، مقدار املاح معدنی یا خاکستر، مقدار رنگ محلول و رنگ ظاهری می باشد که تماماً بر اساس روش های استاندارد در کارخانه قند همدان انجام گرفته است (بی نام، ۱۳۷۴).

### مواد و روش ها

فرآیند تصفیه شکرخام تابع اصول و براساس روش تصفیه کلاسیک بشرح شکل ۱ در کارخانه قند همدان انجام می گیرد.

- روش ارزیابی کیفیت شکر سفید

بدست آمده و اگر سطح  $a$  را  $0.05$  در نظر بگیریم R-sq (adj) مدل  $75\%$  می باشد.

### یافته ها

نتایج حاصل از مشخصه‌های کیفی عمده محصولات حد واسط از مرحله حل کردن شکرخام تا آغاز کریستالیزاسیون در جدول ۳ نشان داده شده است. کلیه نتایج بر اساس میانگین نتایج هر ساعت و نهایتاً بر اساس میانگین نتایج ۲۷ روزه گزارش شده است.

براساس جدول ۳ میانگین بریکس شربت خام برابر  $44/18$  درصد و در شربت استاندارد برابر  $62/32$  درصد می باشد. در عین حال بالاترین میانگین درجه خلوص مربوط به شربت استاندارد  $98/47\%$  تعیین شده است.

در جدول ۴ نتایج کیفیت شکر سفید تولیدی از جنبه پارامترهای موثر بر کیفیت نشان داده شده است. رنگ محلول و رنگ ظاهری و میزان خاکستر از مهمترین پارامترهای ارزیابی کیفیت شکر سفید می باشد که بر حسب پوان های برانشویک بیان شده است. همانطور که مشخص است در این جدول از آنالیز یک دوره ۲۷ روز محصول شکر سفید استفاده شده است که مشتمل بر میانگین آنالیز محصول تولیدی هر روز حاصل از ۱۵ نمونه شکر تولیدی بوده است. در بین عوامل موثر بر کیفیت شکر سفید، خاکستر بیشترین پوان، رنگ ظاهری کمترین پوان را با میانگین  $2/18$  بدست آورده است. خاطر نشان می گردد پایین بودن پوان برای هر مشخصه کیفی نشان دهنده کیفیت بهتر می باشد.

### روش کنترل کیفی پارامترهای فرآیند

این پارامترها بشرح زیر بوده که بر اساس روش استاندارد در آزمایشگاه خط تولید کارخانه قند همدان صورت پذیرفته است.

**بریکس:** مقدار ماده خشک موجود در  $100$  گرم محلول.

**درجه خلوص:** که نشان دهنده نسبت ساکاروز به بریکس در شربت‌ها می باشد.

### روش جمع آوری نمونه ها

طی یک ماه در عملیات تصفیه شکر خام مطابق با روش‌های نمونه برداری و مطابق با شرایط واقعی کنترل کیفی کارخانه قند همدان نمونه‌ها طبق زمان بندی متداول از خط تولید برداشته شده است. به این صورت که نمونه‌های شربت هر ساعت و نمونه پخت‌ها و محصول شکر از هر بیج تولید انجام شده است.

### تجزیه و تحلیل آماری

روش آماری استفاده شده در این مقاله روش علت معمولی (cause - selecting) (Sulek et al., 2006) بر مبنای مقالات و روش‌های Zhang می باشد که جهت بهبود مدل، خود همبستگی (autocorraliation) هم به آن اضافه شده است (Yang & Yang, 2005). مشخصه کیفی محصول و پارامترهای فرآیند شناسایی شده‌اند سپس خودهمبستگی موجود در مشخصه کیفی محصول با استفاده از محاسبه خود همبستگی بین باقیمانده‌ها (residuals)

جدول ۳- نتایج آنالیز کیفی ۳ نمونه شربت تولیدی در فرآیند تصفیه شکرخام

نوع شربت	درصد بریکس	درصد ساکاروز	درصد خلوص
شربت خام	$44/18 \pm 0/89$	$43/53 \pm 0/88$	$96/36 \pm 0/96$
شربت غلیظ	$62/86 \pm 1/18$	$62/91 \pm 1/20$	$98/31 \pm 0/78$
شربت استاندارد	$62/32 \pm 1/18$	$61/37 \pm 1/18$	$98/47 \pm 0/07$

جدول ۴- نتایج آنالیز کیفی محصول شکر سفید تولیدی حاصل از تصفیه شکر خام

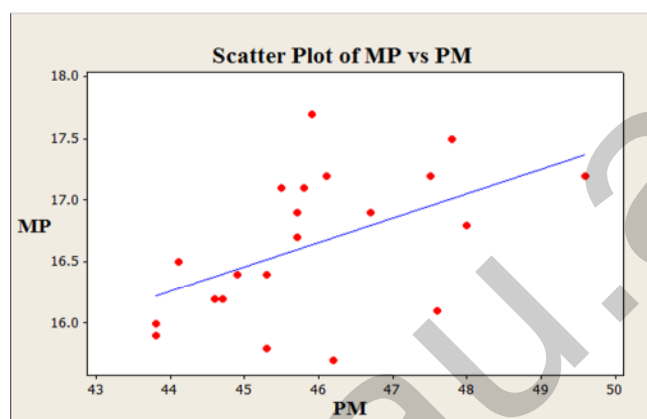
پارامتر کیفی	تعداد نمونه	میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر
پوان رنگ محلول	۴۰۵	۶/۵۳	۰/۲۹	۵/۸	۷
پوان رنگ ظاهری	۴۰۵	۲/۱۸	۰/۱۰	۲	۲/۴
خاکستر	۴۰۵	۷/۹۶	۰/۴۷	۷/۱	۸/۶
پوان مجموع	۴۰۵	۱۶/۶۷	۰/۶۷	۱۵/۵	۱۷/۸

جدول ۵- آنالیز نمونه پختهای تولیدی بخش کریستالیزاسیون

شماره پخت	درصد بریکس	درصد ساکاروز	درصد خلوص	pH
پخت ۱	۸۸/۷۴ ± ۰/۱۶	۸۶/۲۸ ± ۰/۱۶	۹۷/۲۵ ± ۰/۱۶	۷/۱۰ ± ۰/۰۶
پخت ۲	۹۰/۸۴ ± ۰/۱۶	۸۰/۵۹ ± ۱/۷۸	۸۸/۴۶ ± ۱/۲۱	۷/۲۲ ± ۰/۰۹
پخت ۳	۹۲/۹۵ ± ۰/۲۳	۷۰/۳۴ ± ۰/۶۲	۷۵/۶۶ ± ۰/۵۹	-

جدول ۶- ظرفیت تصفیه شکرخام روزانه در دوره مورد مطالعه

حدافل مصرف روزانه	حداکثر مصرف روزانه	میانگین روزانه	انحراف معیار	کل	
۳۶۷/۵	۵۶۰/۷	۵۰۵/۷	۳۸/۹	۱۳۶۵۴/۵	شکرخام مصرفی (تن)
۳۵۰	۵۰۲/۹	۴۸۰/۵	۳۶/۰	۱۲۹۷۴	شکر سفید تولیدی (تن)



$MP = 7.572 + 0.197 PM$        $p_{value} = 0.018$        $r_{sq(adj)} = 22.18\%$

نمودار ۱- رابطه بین مجموع پوآن و قند ملاس

Scatter plot رسم گردید و همچنین تحلیل رگرسیونی

انجام شد. نتایج ذیل حاصل شد:

در نمودارهای ۱ تا ۳ مجموع پوآن با MP و پل ملاس با PM و پخت دوم 2nd P و بریکس خام BXR نشان داده شده است.

در نمودار ۱ بالا بودن میزان قند ملاس نشان دهنده عدم کریستالیزاسیون مناسب ساکاروز در داخل پختها می باشد که در خاتمه می توان انتظار داشت کیفیت شکر سفید تولیدی کاهش یافته و در نتیجه مجموع پوآنهای کیفی شکر افزایش یابد. این امر تأیید تحقیقات گذشته می باشد که وجود ناخالصیها مانع کریستالیزاسیون خواهد شد (Zhang et al., 2012).

در نمودار ۲ با توجه به آنکه کاهش pH در پخت منجر به تجزیه ساکاروز گردیده و تولید قند اینورت افزایش می یابد لذا تولید قند اینورت باعث تشدید رنگ خواهد شد بنابراین با توجه به رعایت pH مناسب می توان انتظار داشت مجموع پوآنهای کیفی محصول تولیدی بهتر شود و

نتایج آنالیز مربوط به بخش کریستالیزاسیون با توجه به سیستم سه پختی در جدول ۵ نشان داده شده است. نتایج بدست آمده در این جدول بر اساس یک دوره ۲۷ روزه است که در هر روز نتایج حاصل از میانگین تعداد پختهای هر روز گزارش شده است. تعداد پخت های ۱، ۲ و ۳ در هر روز بترتیب ۱۵، ۱۰ و ۴ عدد می باشد. با توجه به محدودیت و کمی تعداد پخت ۳، pH پخت ۳ اندازه گیری نشده و در نتایج لحاظ نشده است.

در جدول ۶ مقادیر مصرف شکرخام ورودی به خط تولید و مقادیر شکر سفید تولیدی بصورت میانگین روزانه گزارش شده است که مؤید نوسانات ظرفیت فرآیند می باشد. با توجه به تعداد پخت ۳ در دوره زمانی مورد مطالعه به میزان ۸ عدد می توان نتیجه گرفت که بطور میانگین به ازای هر ۱۷۰۷ تن شکرخام مصرفی یا به عبارت دیگر در ۳/۵ روز (۷ شیفت) یک پخت ۳ تولید گردیده است.

برای این کار بین مجموع پوآن (مشخصه کیفی محصول) و پارامترهای فرآیند به شرح ذیل نمودار

## کنترل کیفیت فرآیند چند مرحله‌ای تصفیه شکر خام

برای رسیدن به مدل با کارایی بیشتر خودهمبستگی مجموع پوآن را نیز در نظر گرفته که مدل نهایی بصورت زیر اصلاح گردیده است:

$$MP = 29.5 - 2.03 pH_{(2nd P)} - 0.28 BX_R + 0.106 PM + 0.557 MP_4$$

که دارای  $R - sq_{adj} = 74/5\%$  می‌باشد و در صنعت می‌توان از نتایج آن استفاده کرد کیفیت شکر به وسیله ۳ عامل رنگ، رنگ ظاهری و خاکستر سنجیده می‌شود که مجموع این ۳ عامل معرف کیفیت نهایی شکر است که مجموع پوآن نام دارد. طبق بررسی‌های انجام شده بین پارامترهای مراحل مختلف مجموع پوآن با  $pH$  پخت ۲، قند ملاس و بریکس شربت رقیق رابطه دارد و همچنین به دلیل پیوسته بودن فرآیند مجموع پوآن با مجموع پوآن شکر ۴ دوره قبل رابطه دارد.

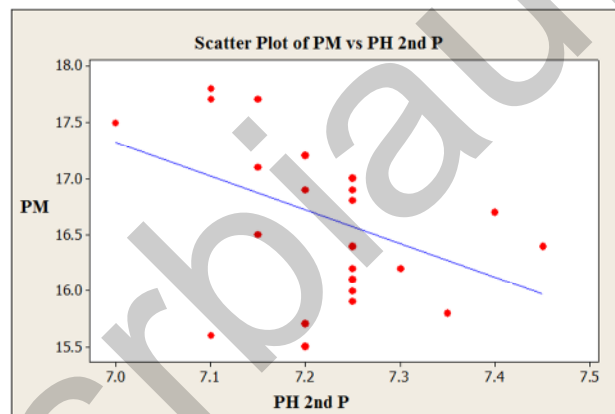
از نزول بیش از حد  $pH$  اجتناب کرد که تأیید تحقیقات قبلی در این خصوص می‌باشد ( Schaffler *et al.*, 2002).

در نمودار ۳ هر چقدر بریکس شربت خام بالاتر باشد زمان مورد نیاز جهت فرآیند اوپراسیون کوتاهتر خواهد شد لذا انتظار می‌رود کیفیت شربت حاصل از اوپراسیون مطلوب‌تر بوده و بنابراین مجموع پوآن‌های محصول شکر سفید پایین باشد که موید کیفیت مطلوب‌تر محصول تولیدی است.

با استفاده از سه پارامتر بالا بهترین مدلی که معنادار باشد و پیش بینی را انجام دهد به فرم زیر می‌باشد:

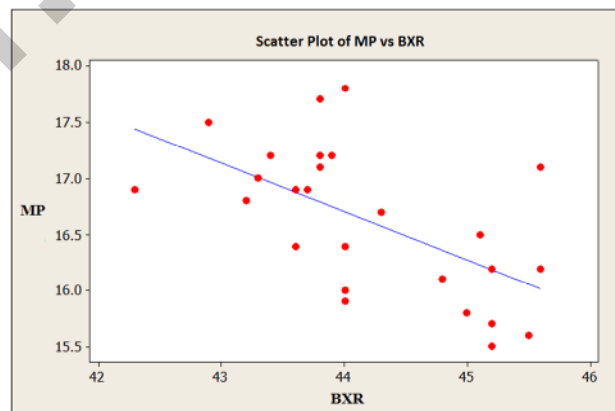
$$MP = 38.8 - 2.35 pH_{(2nd P)} - 0.23 BX_R + 0.109 PM$$

که  $R - sq_{adj} = 44/4\%$  می‌باشد که به دلیل پایین بودن قابل اتکا نیست.



$$MP = 38.32 - 3pH_{2nd P} \quad p_{value} = 0.03 \quad r_{sq(adj)} = 14.3\%$$

نمودار ۲- رابطه بین مجموع پوآن  $pH$  پخت دوم



$$MP = 35.7 - 0.431 BXR \quad p_{value} = 0.002 \quad R_{sq(adj)} = 31.8\%$$

نمودار ۳- رابطه بین مجموع پوآن و بریکس رقیق

امکان توقف خط تولید وجود ندارد کارایی استفاده از این نمودارها را به شدت کاهش می‌دهد. برای کنترل کیفیت این فرآیند باید نمودار کنترل پارامترهای مشخصه‌های کیفی شناسایی شده رسم شود در صورتی که همه پارامترهای فرآیند تحت کنترل بوده ولی مشخصه کیفی محصول (مجموع پوان) خارج از کنترل باشد انحراف معناداری رخ نداده است و ماهیت فرآیند مجموع پوان را خارج از کنترل کرده که با سیستم فوق قادر به تشخیص آن نیستیم اما مزیت این روش در اینست که می‌توان با کنترل پارامترهای فرایند و تنظیم سایر پارامترهای فرآیند در مدل با اقدام اصلاحی از تولید محصول معیوب جلوگیری کرد که این امر با توجه به پیوسته بودن خط تولید و عدم امکان متوقف کردن خط، بهره‌وری را به شدت افزایش می‌دهد.

روش آماری استفاده شده در این مقاله روش مبتنی بر نمودار علت - معمولی (cause - selecting) است که با توجه به ماهیت فرایند و افزایش کارایی مدل پیش بینی، خود همبستگی بین مشخصه کیفی محصول نیز در نظر گرفته شده است.

مزایای این روش عبارتند از :

۱- اطلاعات تشخیصی راجع به موضوعی که در آن فرآیند بعدی خارج از کنترل است را پیش بینی می‌کند.

۲- می‌تواند رابطه پیچیده‌ای {حتی غیر خطی} بین متغیرها برقرار کند.

۳- خطوط هشدار اشتباه تأثیری از اندازه نمونه گرفته شده نمی‌گیرد.

۴- تغییر در میانگین متغیرها تأثیری بر خطوط رد ندارد. با توجه به مدل حاصل از تحلیل رگرسیونی با داده‌های خود همبسته شبکه بیزین خط تصفیه شکر خام در شکل ۲ پیشنهاد می‌گردد.

شبکه بالا برای خط تولید شکر سفید از شکر خام رسم شده است. روابط آماری استفاده شده در این شبکه با استفاده از رگرسیون و به کمک داده‌های تولید ۱ ماه کارخانه به دست آمده‌اند. هدف از رسم این شبکه جلوگیری از تولید محصول با کیفیت پایین در حین عملیات تولید است به این ترتیب که در حین تولید، تولید محصول بی‌کیفیت را پیش‌بینی کنیم و اقدام اصلاحی انجام دهیم. استفاده از شبکه‌های بیزین نسبت به روشهای معمول در

با استفاده از مدل بالا می‌توان اطلاعات ذیل را حاصل کرد:

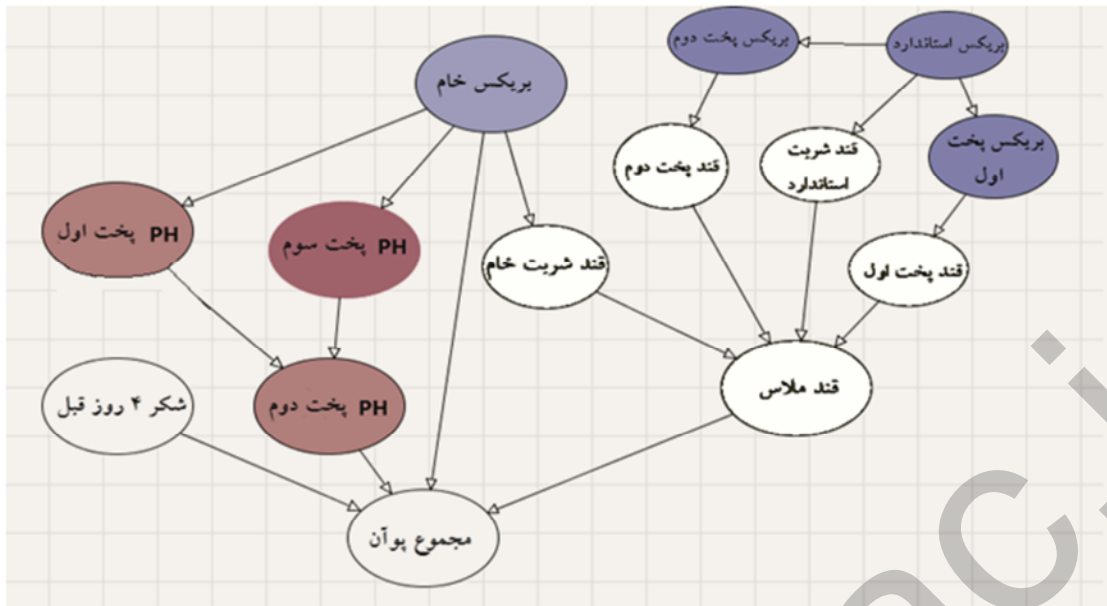
۱. کشف اینکه در چه مکان‌هایی از فرآیند به کنترل احتیاج است (در فاز اول اقدام به شناسایی پارامترهای مهم فرآیند گردید).

۲. کشف این مسأله که انحرافات با دلیل در کدام قسمت فرآیند رخ می‌دهد (اگر یکی از پارامترهای مهم فرآیند خارج از کنترل باشند).

۳. هر زمانی که در فرآیند ضمن تولید متوجه شدیم که فرآیند خارج از کنترل است با اقدام اصلاحی از تولید شکر کم کیفیت جلوگیری کنیم (با در دست داشتن مدل رگرسیونی مجموع پوان می‌توان پارامترهای فرآیند را طوری تنظیم کرد که شکر تولیدی بهترین کیفیت را داشته باشد) که این امر در فرآیندهای پیوسته مانند فرآیند تصفیه شکر حیاتی می‌باشد.

## بحث

در سده اخیر با توجه به رقابتی شدن بازار، تولید کنندگان تحت فشار بازار مجبور هستند همه روزه کیفیت محصولات خود را ارتقاء بدهند تا بتوانند در بازار مانده و سهم بیشتری را به خود اختصاص دهند. در همین راستا سیستم‌های کنترل کیفیت هم همه روزه در حال پیشرفت هستند تا بتوانند صاحبان صنایع را در نیل به اهدافشان کمک کنند. بسیاری از محصولاتی که در دهه‌های اخیر تولید می‌شوند حاصل فرایندهای چند مرحله‌ای هستند که در آن‌ها خاصیت آبشاری وجود دارد به این معنا که عملکرد فرایند در یک مرحله خاص تحت تأثیر عملکرد فرایند در مراحل پیش از آن قرار دارد و به عبارت بهتر بین مراحل مختلف فرایند همبستگی آماری وجود دارد همین امر سبب می‌شود که برای کنترل کیفیت این فرآیندها سیستم‌های سنتی و متداول کنترل کیفیت نظیر استفاده از نمودارهای شوهارت امکانپذیر نباشد، روش دیگر استفاده شده برای کنترل کیفیت این فرآیندها استفاده از نمودار T-square می‌باشد که مستلزم اینست که همه پارامترهای فرایند دارای توزیع نرمال باشند همچنین در این نمودارها زمانی که سیگنال "خارج از کنترل" داده می‌شود تعیین اینکه کدام مولفه‌های فرایند خارج از کنترل هستند دشوار می‌باشد که همین امر خصوصاً در سیستم‌های پیوسته که



شکل ۲- شبکه بیزین خط تصفیه شکر خام

Control Charts, Journal of Industrial and Systems Engineering Vol. 2, No. 3, pp 214-235.

Rein, P. (2007). Cane Sugar engineering by Albert Bartens, pp 496-534.

Shu, L. & Tsung, F. (2003). On multistage statistical process control, Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineering 20, pp1-8.

Sulek, J. M., Maruchek, A. & Lind, M. R. (2006). Measuring performance in multi-stage service operations: An application of cause selecting control charts, Journal of Operations Management.

Schaaffler, K. (2002). Determination of low-level glucose and fructose in raw and refined crystalline sugar by high-performance anion-exchange chromatography: collaborative study, journal of AOAC international.

Wade, M. R. & Woodall, W. H. (1993). A review and analysis of cause-selecting control charts, Journal of Quality Technology, 25(3), 161-169.

Yang, S. F. & Yang, C. M. (2005). An approach to controlling two dependent process steps with autocorrelated observations, Int J Adv Manuf Technol., 29, 170-177.

Zhang, Z. F., Mu, G. S., Peng, J. Y., Zhou, M., Wen, H. & Zhang, X. L. (2012). Study on decolorization of sugar cane juice using activated carbons, Advanced Materials Research.

کنترل کیفیت اینست که روابط موجود بین متغیرهای داخل فرآیند را از بین می برد و در نتیجه برای پیش بینی روش بهتری می باشد. همچنین با توجه به خاصیت آبخاری فرآیند در دراز مدت می توان علل خرابی ها را پیدا کرد.

## نتیجه گیری

در این مقاله یک سیستم کنترل کیفیت خاص برای فرآیند تصفیه شکر طراحی شده است که بر مبنای روابط علت و معلولی و در نظر گرفتن داده های خودهمبسته (با توجه به ماهیت فرآیند) می باشد. برای رسیدن به مدلی که بتواند مشخصه کیفی محصول را براساس پارامترهای فرآیند پیش بینی کند ابتدا اقدام به شناسایی پارامترهای مهم فرآیند شد. سپس با استفاده از نرم افزار *minitab* و روش تحلیل رگرسیونی یک مدل برای پیش بینی کیفیت محصول با استفاده از پارامترهای شناسایی شده طراحی شد.

## منابع

بی نام. (۱۳۹۱). گزارش مجمع عمومی عادی سالیانه سال ۱۳۹۰ انجمن صنعتی کارخانه های قند و شکر ایران.  
بی نام. (۱۳۷۴). موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ویژگی های شکر، استاندارد شماره ۶۹.

Asadzadeh, S., Aghaie, A. & Yang, S. F. (2008). Monitoring and Diagnosing Multistage Processes: A Review of Cause Selecting