تحقیقات سامانه‌ها و مکانیزاسیون کشاورزی/جلد ۲۰/ شماره ۷۲/ بهار و تابستان ۱۳۹۸/ص ۱۲۲-۱۰۹

تحلیل فرآیند حمل ساقه نیشکر از مزرعه تا کارخانه با استفاده از تئوری صف

فاطمه افشارنیا[1*] و افشین مرزبان[2]

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی دکتری؛ و دانشیار گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: ۹۶/۵/۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۹/۱۴

چکیده

تأخیر در آسیاب کردن ساقه‌های برداشت شده نیشکر در واحدهای کشت و صنعت و معطل ماندن آنها در محل تخلیه در ورودی کارخانه، هزینه‌های زیادی به بخش تولید تحمیل می‌کند. با بررسی ابعاد مختلف خط انتظار شکل گرفته در کارخانه، می‌توان اطلاعات مناسبی برای شناخت مسأله، تجزیه و تحلیل آن و ارائه راهکارهای مدیریتی تعدیل آن فراهم آورد. از این‌رو در این پژوهش با جمع‌آوری داده‌های مربوط به ساعات ورود و خروج تراکتور و سبد حمل نی در یک فصل برداشت به تحلیل این صف پرداخته شد. طبق نتایج به‌دست آمده، متوسط زمان انتظار روزانه سبدهای حمل نی در صف برابر با ۲/۰۶ ساعت محاسبه شد که این امر موجب می‌شود در ۶۰ درصد موارد طول صف از آهنگ سرویس‌دهی بیشتر گردد و صفی طولانی از تراکتورهای حمل نی در کارخانه ایجاد شود. در این‌صورت با افزایش ۷/۳ درصدی آهنگ سرویس‌دهی نسبت به قبل، می‌توان هزینه‌های ناشی از صف را حداقل کرده و زمان انتظار در صف را بهبود بخشید که در این خصوص می‌توان به‌ترتیب با اعمال نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه در کارخانه شکر و تراکتورهای حمل نی و استفاده از ظرفیت پنهان کارخانه، استفاده از تجهیزات پشتیبان و افزایش محوطه برای خط انتظار شکل گرفته، آهنگ سرویس‌دهی واحد تخلیه را افزایش داد.

واژه‌های کلیدی

خط انتظار، آهنگ سرویس‌دهی، نیشکر

مقدمه

تئوری صف یکی از قدرتمندترین ابزارها برای تجزیه و تحلیل کمی و کیفی و انواع سیستم‌های ارتباطی، تولیدی، حمل و نقل، انبارداری، ارتباطات و سیستم‌های اطلاعات، شبکه‌های کامپیوتری و سایر سیستم‌های فنی است (Cruz, *et al.*, 2008; Minkevicius, 2009). مدل‌های صف مخصوصاً برای طراحی جانمایی، ظرفیت‌سنجی و کنترل بسیار مفید هستند. به‌طور کلی سیستم‌های صف بر اساس دو عامل نوع کانال ورودی و سرویس‌دهنده مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند. اگر در سیستم صف یک کانال ورودی برای ورود مشتریان و یک سرویس‌دهنده خدمات ارائه دهد اصطلاحاً به این سیستم، سیستم تک‌کاناله و تک‌سرویس‌دهنده می‌گویند و چنانچه سیستم صف چندین کانال ورودی به سیستم و چندین خدمه (که سرویس‌های متفاوتی را عرضه می‌کنند) باشد اصطلاحاً سیستم، چندکاناله و سرویس‌دهنده چندگانه خواهد بود. از جمله قوانین موجود برای توصیف مدل صف عبارتست از (Kleinrock, 1975):

-*آهنگ فرآیند ورود مشتریان به سیستم*: معمولاً فرض بر این است که زمان ورود مشتریان سیستم

* نگارنده مسئول: Email: afsharniaf@yahoo.com

http://doi: 10.22092/erams.2017.114861.1210

صف مستقل از هم است و تابع توزیع ورود عمومی هستند. به‌طور معمول در خیلی از موقعیت‌های عملی مشتریان مطابق با آهنگ پواسون وارد می‌شوند (توزیع نمایی). در این سیستم ممکن است مشتریان به‌صورت تک تک یا به‌صورت گروهی (مانند ورود مشتریان به ترن) وارد شوند.

- *رفتار مشتریان:* مشتریان ممکن است رفتارهای متفاوتی در درازمدت در صف انتظار از خود نشان دهند. ممکن است که طول صف مطلوبیت لازم برای ورود فرد به سیستم صف را نداشته باشد و فرد از ورود به سیستم انصراف دهد و یا اینکه در مواردی فرد در حین انتظار در صف سیستم را ترک نماید.

- *زمان سرویس‌دهی:* معمولاً زمان سرویس را مستقل از هم در نظر گرفته و تابع توزیع آن را توزیع نمایی درنظر می‌گیرند. همچنین زمان سرویس‌دهی می‌تواند وابسته به طول صف باشد. به‌طور مثال آهنگ کاری ایستگاه‌های کاری در خطوط تولیدی که می‌تواند بسته به تعداد محصولات در صف انتظار افزایش یا کاهش یابد.

- *توالی سرویس‌دهی:* مشتریان می‌توانند به‌وسیله یک یا چند سرویس‌دهنده سرویس‌دهی شوند که در زیر به برخی سیستم‌های سرویس‌دهی اشاره شده است:

- نخستین ورود به سیستم اولین سرویس را دریافت می‌نماید[1].

- آخرین ورود به سیستم اولین سرویس را دریافت می‌نماید[2].

- فرآیند سرویس‌دهی بر اساس تصادفی

- فرآیند سرویس‌دهی بر اساس اولویت مشتریان

- فرآیند سرویس‌دهی بر اساس تقسیم انشعاب

ظرفیت سیستم: می‌تواند در قالب تک سرویس‌دهنده یا سرویس گروهی به مشتریان سرویس دهد.

محدودیت ظرفیت سیستم: با تعداد مشتریان در سیستم می‌تواند ارتباط داشته باشد. سیستم‌های صف ممکن است با تعداد مشتریان محدود ظرفیت داشته باشد. به‌عبارتی دیگر سیستم اجازه تشکیل صف از یک حد خاص را به مشتریان نمی‌دهد. کندال، نمادی را به‌صورت اختصاری برای توصیف دامنه پارامترهای مدل‌های صف ارائه داده است. این نماد شامل سه کد به‌صورت a/b/c می‌باشد. اولین حرف نمایانگر توزیع زمان ورود مشتریان به سیستم، دومین حرف بیانگر توزیع زمان سرویس‌دهی می‌باشد. برای مثال برای توزیع‌های عمومی حرف G و برای توزیع نمایی حرف M و برای زمان قطعی حرف D به‌کار برده می‌شود و سومین حرف نمایانگر تعداد سرویس‌دهنده‌های موجود در سیستم می‌باشد. از جمله مدل‌های عمومی مورد استفاده در تئوری‌های صف عبارت است از: M/G/1، M/D/1، M/M/C، M/M/1. این نمادها می‌توانند با سایر پارامترهای دیگر برای پوشش دادن به سایر مدل‌های صف توسعه پیدا کنند (Bobbio, 2000). به‌طور مثال سیستم M/M/C/N نمایانگر مدل صفی است با توزیع زمان ورود و زمان سرویس‌دهی نمایی با C سرویس‌دهنده و نیز محدودیت ظرفیت سیستم برای N مشتری تعریف گردیده است. عموماً مدل‌های پایدار صف مدل‌های نمایی هستند که زمان بین دو ورود متوالی مشتریان (با آهنگ λ) و همچنین مدت زمان سرویس‌دهی (با میانگین μ) متغیر تصادفی نمایی می‌باشند. اهمیت این‌گونه مدل‌ها در این است که می‌توان اکثر سیستم‌های صف در چارچوب این مدل مورد تجزیه و تحلیل قرار داده شود. به‌کارگیری موفقیت‌آمیز این تکنیک در حل بسیاری از مسائل صنعتی و اقتصادی کشور توانسته است چشم‌انداز مطلوبی را در خصوص

1- FIFO (First In, First Out)

2- LIFO (Last In, First Out)

استفاده از تکنیک‌های کمی در عرصه‌های مختلف تولیدی و خدماتی ترسیم نماید.

در پژوهش‌های لوین (Levin, 2002) و بوستنی (Bustani, 2005) یک روش برای حذف زمان انتظار پیشنهاد داده شد. طبق نظر آن‌ها، شرکت بایستی یک خدمت‌دهنده به سیستم اضافه کند که این برای شرکت بسیار هزینه‌بر خواهد بود. کاربرد تئوری صف در بخش‌های صنعتی می‌تواند هزینه‌ها را به‌دلیل کاهش زمان انتظار و کاهش هزینه ایجاد تسهیلات برای افراد در صف کاهش دهد. تعدادی از مسائل مرتبط با صف می‌تواند با کمترین هزینه کلی حل شود. در مطالعه دیوید (David, 2005) در رستوران زنجیره‌ای مک دونالد با سیستم تک کاناله و یک سرویس‌دهنده برای کاهش زمان انتظار، افزایش در مقدار فروش بوسیله افزایش سرعت سرویس به‌عنوان راه‌حل ارائه شد. این نتایج نشان داد که بهینه‌سازی زمان سرویس می‌تواند موجب افزایش کارایی گردد. علاوه بر این آریفین و همکاران (Arifin *et al.*, 2015) با استفاده از تئوری صف، سیستم‌های صف شکل گرفته عرضه تنباکو را مورد بررسی قرار دادند و برای کاهش زمان انتظار، محدود کردن تعداد ورودی‌ها، به‌وجود آوردن گذرگاه‌های مختلف، بهینه‌سازی روش حمل‌ونقل، زمان‌بندی سرویس برای هر ورودی و تغییر سیستم سرویس را پیشنهاد دادند.

امروزه همراهی علوم رایانه‌ای و تکنیک‌های شبیه‌سازی که پایه و اساس آنها بر اصول تئوری‌های صف متکی است، توانسته در حل بسیاری از معضلات و مشکلات و طراحی سیستم‌های نوین صنعتی با حداکثر راندمان و اثربخشی یاری‌گر مهندسین و مدیران صنایع مختلف باشد. کشت و صنعت‌های نیشکر استان خوزستان به‌عنوان یکی از صنایع عمده تولیدی کشور نقش مهمی را در راستای تولید شکر و کاهش واردات آن ایفا می‌کند که با سرمایه قابل توجه در حال فعالیت هستند. با وجود زمین کشاورزی و امکان کشت نیشکر و چغندر قند، پس از راه‌اندازی شش کارخانه طرح توسعه نیشکر حداکثر میزان تولید به ۱/۲ میلیون تن رسید ولی هنوز نیاز به واردات ۶۵۱ هزار تن شکر وجود دارد (Anon, 2016) که با به‌کارگیری دقیق و کامل ظرفیت‌های موجود در واحدهای کشت و صنعت می‌توان تا حدود زیادی این نیاز را برآورده ساخت. در واحدهای تولیدی نیشکر مسئله کلیدی وجود مشکلات زیادی است که به هنگام تحویل نیشکر برداشت شده به کارخانه تولید شکر وجود دارد، به‌طوری‌که صف‌هایی طولانی از سبدهای حمل محصول نیشکر در ورودی کارخانه شکر به‌وجود می‌آید (Lamsal, 2014).

توقفات کارخانه، خرابی تراکتورهای در صف، تصادف در اثر ازدحام تراکتورها و تغییر شیفت از جمله دلایل عمده تشکیل صف می‌باشد که موجب افزایش فاصله زمانی بین برداشت و آسیاب کردن نیشکر برداشت شده و در نتیجه کاهش درصد قابل قبول دکستران موجود در عصاره می‌گردد. علاوه بر این، شتاب و عجله کاربران تراکتورهای حمل نی برای جلوگیری از ماندن در صف انتظار موجب تصادف و واژگونی آن‌ها شده که هزینه و خسارت زیادی را تحمیل می‌نماید. تراکتورهای حمل محصول به‌صورت پیمانکاری و عقد قرارداد بر اساس میزان تن نیشکر تحویل داده شده به کارخانه تولید شکر با واحد کشت و صنعت مربوطه فعالیت دارند. این تراکتورها در صورت ماندن و انتظار در صف، ساعات زیادی را که می‌توانستند برای رفتن به مزرعه و حمل نی صرف کنند در صف انتظار می‌گذرانند که

این مورد را می‌توان به‌عنوان هزینه فرصت از دست رفته تلقی کرد. در واحدهای تولید شکر، کاهش مدت زمان انتظار برای جلوگیری از افت کیفی محصول، مستلزم انجام سرمایه‌گذاری در این خصوص می‌باشد. برای تصمیم‌گیری در مورد این سرمایه‌گذاری و تأثیر آن بر میزان زمان انتظار به مدل‌ها و تکنیک‌هایی برای تجزیه و تحلیل وضعیت سیستم مورد بررسی نیاز خواهد بود. از این‌رو، در این پژوهش تلاش گردید تا به تحلیل سیستم صف تحویل محصول نیشکر به کارخانه تولید شکر با استفاده از تئوری صف پرداخته شود و با حداقل کردن هزینه‌های صف، زمینه‌های بهسازی آن ارائه گردد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۵-۹۴ در شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی استان خوزستان انجام گرفت. در این شرکت در فصل برداشت نیشکر که به‌صورت شبانه‌روزی انجام می‌گردد، صفی طولانی از تراکتورهای حمل نی در محل تحویل نی به کارخانه شکر ایجاد می‌شود که موجبات تأخیر در تحویل نی به کارخانه و انتظار طولانی مدت تراکتورهای حمل نی را به‌وجود می‌آورد. برای تحلیل سیستم صف، در اولین مرحله نوع صف مورد شناسایی قرار گرفت. بر اساس بررسی‌های صورت گرفته سیستم صف این شرکت از نوع تک کاناله با یک سرویس‌دهنده بود.

مدل پایه‌ای مورد استفاده در این پژوهش که برای توصیف مدل صف که در بسیاری از فرآیندهای عملیاتی، تجهیزات و ارتباطات نیز استفاده می‌گردد، در شکل ۱ نمایش داده شده است.

ثبت داده‌های مورد نیاز زمان‌سنجی در این پژوهش با استفاده از فرم‌های زمان‌سنجی طراحی‌شده و برنامه‌های حمل نی کارخانه شکر با ظرفیت عملی ۷۷۰۰ تن نی در روز و با توجه به جداول نمونه‌گیری زمان‌های بین ورود و سرویس‌دهی، از مورخ ۹۴/۷/۱۷ لغایت ۹۵/۱/۲۵ در شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی استان خوزستان صورت پذیرفت. زمان‌های بین ورودهای متوالی و همچنین زمان‌های سرویس‌دهی ثبت شد و با استفاده از جداول فراوانی، داده‌های جمع‌آوری شده مرتب و سپس هیستوگرام آنها رسم شد. پس از انجام زمان‌سنجی، به کمک نرم‌افزار SPSS (نسخه ۱۹) و با استفاده از آزمون K-S نوع توزیع داده‌های حاصل با سطح معنی‌داری ۰/۰۵ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. از مدل M/M/1 برای تحلیل این سیستم صف با توالی سرویس‌دهی FIFO (خدمت‌گیری به‌ترتیب ورود) استفاده شد، زیرا نتیجه آزمون کولموگروف اسمیرنوف در جدول ۱ نشان می‌دهد که آهنگ ورود از توزیع پواسان و زمان بین دو سرویس‌دهی متوالی از توزیع نمایی پیروی می‌کند. این مدل یکی از متداول‌ترین نمونه‌های مدل صف می‌باشد که به مدل کلاسیک نیز معروف است. در این مدل مشتری‌ها بر طبق فرآیند پواسان با پارامتر λ وارد می‌شوند. آهنگ ورود مشتریان مستقل از تعداد افراد داخل سیستم یعنی وضعیت سیستم فرض می‌شود، به‌عبارت دیگر: $\lambda_n = \lambda \quad n = 0, 1, 2, \ldots$.

چون سیستم دارای یک سرویس‌دهنده است، آهنگ خروج مشتری برابر آهنگ سرویس‌دهی تنها سرویس‌دهنده سیستم خواهد بود. از طرف دیگر در این مدل فرض بر این است که آهنگ سرویس‌دهی نیز مستقل از وضعیت سیستم یعنی n است:

$$\mu_n = \begin{cases} \mu & ; n = 1,2, \ldots \\ 0 & ; n = 0 \end{cases} \qquad (۱)$$

$\mu_0 = 0$ است چون در صورتی که مشتری در داخل سیستم نباشد عملاً سرویس‌دهی معنی نخواهد داشت. پس بطور خلاصه برای مدل M/M/1 خواهیم داشت:

$$b\,(t) = \mu\, e^{-\mu t} \qquad a\,(t) = \lambda\, e^{-\lambda t} \qquad (۲)$$

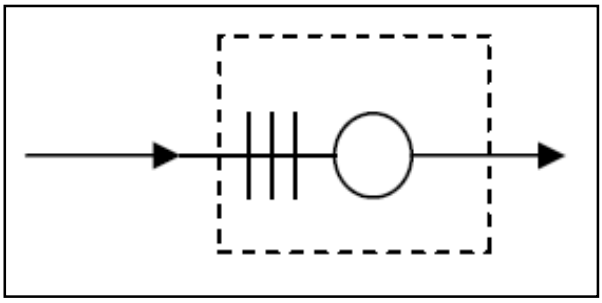
که در آن،

a(t) =تابع توزیع احتمال زمان بین دو ورود متوالی؛ و

b(t) = تابع توزیع احتمال مدت زمان سرویس‌دهی و هر دو توابع توزیع نمائی هستند.

برای حل این مدل و بدست آوردن احتمالات حدی π_n لازم نخواهد بود که معادلات تعادل را دوباره بنویسیم چرا که این مدل حالت خاصی از فرآیند تولد و مرگ می‌باشد که در آن : $\mu_n = \mu$ $(n = 1,2, \dots)$ و $\lambda_n = \lambda$:(n= 0,1,2,…) بوده و لذا می‌توان مستقیماً از فرمول‌های محاسبه شده در فرآیند تولد و مرگ استفاده نمود، یعنی:

$$C_n = \frac{\lambda_{n-1}\lambda_{n-2} \dots . \lambda_0}{\mu_{n-1}\mu_{n-2} \dots \mu_0} = \frac{\lambda^n}{\mu^n} = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n \qquad (۳)$$



شکل ۱- مدل پایه‌ای صف

جدول ۱- آزمون کولموگروف اسمیرنوف تک نمونه‌ای (K-S) آهنگ ورود و زمان بین دو سرویس‌دهی متوالی

متغیر		شفافیت نقش	
		توزیع پواسان آهنگ ورود	توزیع نمایی زمان بین دو سرویس‌دهی متوالی
پارامتر توزیع	میانگین	۱۷/۰۳۶	۳/۵
اختلاف‌ها	قدر مطلق اختلاف	۰/۱۱۲	۰/۲۴۹
	مقدار مثبت	۰/۱۰۵	۰/۰۷۶
	مقدار منفی	-۰/۱۱۲	-۰/۲۴۹
آماره کولموگروف اسمیرنوف		۰/۸۳۱	۱/۱۱۱
پی مقدار		۰/۴۹۵	۰/۱۶۹

ضریب بهره‌وری در حقیقت نسبت آهنگ ورود مشتری به آهنگ سرویس‌دهی است و با استفاده از رابطهٔ ۴ محاسبه می‌شود. این نسبت عملاً برابر آهنگ ورود کار به داخل سیستم نسبت به ماکزیمم آهنگی است که سیستم می‌تواند این کار را انجام دهد.

مشخص است که هرچه ρ بزرگتر باشد، تقاضا برای دریافت سرویس بیشتر بوده و سیستم کار بیشتری انجام داده، صف طولانی بوده و درصد بیکاری سرویس‌دهندگان کمتر خواهد بود. هرچه ρ کوچکتر باشد، طول صف کوتاهتر و درصد بیکاری در مکانیزم سرویس‌دهی افزایش می‌یابد، به‌عبارت دیگر از

امکانات سرویس‌دهی کمتر استفاده می‌شود. اگر آهنگ ورود مشتری به سیستم بزرگتر از آهنگ سرویس‌دهی به مشتریان باشد یعنی $\lambda > c\mu$ در این صورت $\rho > 1$ بوده و ظرفیت سیستم جوابگوی کل تقاضا برای دریافت سرویس نبوده و صف رفته‌رفته طولانی‌تر و به‌سمت بی‌نهایت میل می‌کند. به‌همین دلیل شرط $\rho < 1$ شرط پایداری برای اکثر سیستم‌های صف است (Iravani, 2013).

$$\text{ضریب بهره‌وری } (\rho) = \frac{\text{میانگین کل تقاضای برای دریافت سرویس در واحد زمان}}{\text{کل ظرفیت سیستم برای ارائه سرویس در واحد زمان}} = \frac{\lambda}{c\mu} \qquad (۴)$$

معیارهای ارزیابی عملکرد سیستم‌های صف

برای ارزیابی نحوه عملکرد سیستم‌های صف از معیارهای زیر بهره گرفته می‌شود (Ivo & Resing, 2001):

- توزیع مدت زمان ورود افراد به سیستم صف و مدت زمان انتظار مشتری در سیستم. طبق رابطهٔ ۵ مدت زمان انتظار مشتری nام در سیستم برابر با مدت زمان انتظار برای دریافت سرویس به‌علاوه مدت زمان سرویس‌دهی می‌باشد.

$$T_s^{(n)} = T_l^{(n)} + S_n \qquad (۵)$$

- توزیع تعداد مشتریان موجود در سیستم (به انضمام تعداد افراد در سیستم سرویس‌دهی)

- تخمین توزیع مدت زمان سرویس‌دهی، که شامل جمع زمان سرویس در هنگامی که مشتریان در حال دریافت سرویس هستند و زمان سرویس‌دهی باقیمانده سایر مشتریان در صف انتظار می‌باشد.

در نهایت با توجه به پارامترهای فوق با استفاده از میانگین زمان انتظار و میانگین زمان سرویس‌دهی عملکرد سیستم قابل اندازه‌گیری است. حال با توجه به مدل صف G/G/C چنانچه متغیر تصادفی L(t) بیانگر تعداد مشتریان موجود در سیستم در زمان t و S_n بیانگر زمان انتظار n مشتری در سیستم باشد، تحت فرض ضریب بهره‌وری $\rho < 1$ آنگاه با فرض اینکه $n \to \infty$ و $t \to \infty$ می‌توان نشان داد که متغیر تصادفی L(t) یک توزیع حدی دارد (Newell, 1971).

با فرض اینکه متغیرهای تصادفی L و S دارای توزیع حدی به‌نام $L(t)$ و S_n باشند آنگاه p_k احتمال وجود k نفر در سیستم در درازمدت عبارت است از (رابطهٔ ۶):

$$p_k = P(L = K) = lim_{t\to\infty} P(L(t) = K) \qquad (۶)$$

$F_s(X)$ احتمال اینکه زمان انتظار یک مشتری در سیستم کوچکتر از x واحد زمانی باشد (رابطهٔ ۷):

$$F_s(X) = P(S \le x) = lim_{n\to\infty} P(S_n \le x) \qquad (۷)$$

همچنین طبق روابط ۸ و ۹ (Little, 1961) میانگین تعداد مشتریان موجود در سیستم در یک بازه زمانی [0,t] و نیز میانگین زمان سرویس‌دهی در بلندمدت برابر است با E(L) و E(S):

$$lim_{t\to\infty} \frac{1}{t} \int_{x=0}^{t} L(X)dx = E(L) \qquad (۸)$$

$$\lim_{n\to\infty} \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{n} S_K = E(S) \qquad (۹)$$

دو پارامتر به‌دست آمده از روابط فوق در تجزیه و تحلیل سیستم‌های صف کاربرد اساسی دارند (Ross, 1986). همچنین طبق قانون لیتل رابطه بسیار مهمی بین E(L) (میانگین تعداد مشتریان در سیستم)، E(S) (میانگین زمان انتظار) و λ (میانگین تعداد مشتریانی که در واحد زمان وارد سیستم صف

می‌شوند) وجود دارد که با رابطهٔ ۱۰ نشان داده شده است (Bunday, 1996):

$$E(L) = \lambda E(S) \qquad (۱۰)$$

هر سیستم صف نیازمند معیارهایی است تا نحوه عملکرد آن را مورد ارزیابی قرار دهند، به کمک چنین معیارهایی می‌توان تأثیر گزینه‌ها و سیاست‌های مختلف را بر سیستم مورد بررسی قرار داد، اساسی‌ترین آنها عبارتند از (Iravani, 2013): احتمال تعداد مشخصی از افراد در سیستم، متوسط زمان انتظار هر مشتری در صف، متوسط طول صف، متوسط زمان انتظار هر مشتری در سیستم و احتمال بیکاری تسهیلات سرویس‌دهی.

واریانس تعداد افراد داخل سیستم در درازمدت از رابطهٔ ۶ محاسبه می‌شود (رابطهٔ ۱۱):

$$Var[N(t)] = \sum_{n=0}^{\infty}(n-L)^2\pi_n = \frac{\rho}{(1-\rho)^2} \qquad (۱۱)$$

معیارهای تجمع L (متوسط تعداد افراد در سیستم) و L_q (متوسط تعداد مشتریان در صف) از روابط ۱۲ و ۱۳ محاسبه شدند:

$$L = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{\mu}{\mu-\lambda} \qquad (۱۲)$$

$$L_q = \sum_{n=1}^{\infty}(n-1)\pi_n = \sum_{n=1}^{\infty}n\pi_n - \sum_{n=1}^{\infty}\pi_n = L-(1-\pi_n) = \frac{\rho^2}{1-\rho} \qquad (۱۳)$$

$$L_q = \sum_{n=1}^{\infty}(n-1)\pi_n = \sum_{n=1}^{\infty}n\pi_n - \sum_{n=1}^{\infty}\pi_n = L-(1-\pi_n) = \frac{\rho^2}{1-\rho}$$

معیارهای زمانی W (متوسط زمان انتظار در سیستم) و W_q (متوسط زمان انتظار در صف) از روابط ۱۴ و ۱۵ محاسبه شدند:

$$W = \frac{1}{\mu-\lambda} \qquad (۱۴)$$

$$W_q = \frac{\lambda}{\mu(\mu-\lambda)} \qquad (۱۵)$$

توسط زمان دوره بیکاری (E[I]) و متوسط زمان دوره کار (E[B]) سرویس‌دهنده نیز از روابط ۱۶ و ۱۷ محاسبه گردید:

$$E[I] = \frac{1}{\lambda} \qquad (۱۶)$$

$$E[B] = \frac{1}{\mu-\lambda} \qquad (۱۷)$$

اثرات سیستم صف و انتظار در صف در شرکت‌های کشت و صنعت نیشکر می‌تواند موجب افزایش هزینه‌های تولید گردد. با بررسی‌های صورت گرفته این هزینه‌ها شامل کاهش درصد قند نی در اثر تأخیر در آسیاب، هزینه فرصت از دست رفته اپراتورها در اثر ماندن در صف، تصادف و واژگونی تراکتور حامل سبدهای حمل نی در اثر تعجیل برای برگشت سریعتر به محل تحویل و سپری کردن زمان کمتر در صف انتظار و هزینه شخصی اپراتورها می‌باشد که علاوه بر افزایش هزینه بر کیفیت کار نیز تأثیرگذار خواهد بود. هزینه تصادف و واژگونی تراکتور حامل سبدهای حمل نی در فصل زراعی مورد نظر مشخص و ثبت شد و هزینه‌های شخصی اپراتورها نیز از طریق پرسش از آنها محاسبه و لحاظ گردید. برای محاسبه هزینه مربوط به کاهش درصد قند نی در اثر تأخیر در آسیاب با ثبت ساعت‌های تأخیر مربوط به هر سبد و وزن خالص آن، درصد استحصال شکر از نیشکر (۱۰

درصد)، میزان کاهش درصد قند نی (۰/۰۱۳۵ درصد به‌ازای هر ساعت تأخیر) بر اساس مطالعه (Noroozi, *et al.*, 2015) از طریق رابطه زیر محاسبه شد:

قیمت هر کیلو شکر× درصد استحصال × وزن خالص هر سبد×تعداد ساعت‌های تأخیری × درصد کاهش قند نی در ساعت=هزینه کاهش درصد قند نی

هزینه فرصت از دست رفته اپراتورها و تجهیزات حمل ونقل در اثر ماندن در صف از طریق ثبت زمان انتظار هر اپراتور و نیز محاسبه تناژی که می‌توانست در این زمان تحویل کارخانه دهد، محاسبه شد:

قیمت هر تن نیشکر تحویل داده شده × تناژ قابل انتقال ×زمان انتظار هر اپراتور = هزینه فرصت از دست رفته اپراتورها در اثر ماندن در صف.

در صورتی‌که $f(\mu)$ عبارت از هزینه داشتن مکانیزم سرویس‌دهی با آهنگ μ در واحد زمان باشد، متوسط کل هزینه در مدل M/M/1 به‌صورت رابطهٔ ۱۸ در نظر گرفته می‌شود:

$$TC(\mu) = C_1 L_q + C_2(L - L_q) + f(\mu) = C_1 \frac{\lambda^2}{\mu(\mu-\lambda)} + C_2 \frac{\lambda}{\mu} + f(\mu) \qquad (۱۸)$$

با مشتق‌گیری از عبارت فوق و مساوی صفر قرار دادن آن شرط لازم برای آهنگ سرویس‌دهی بهینه μ^* به‌صورت رابطهٔ ۱۹ به‌دست می‌آید:

$$\frac{d}{d\mu^*} f(\mu^*) = \frac{C_2 \lambda\, \mu^{*2} + (C_1 - C_2)\lambda^2\,(2\mu^* - \lambda)}{\mu^{*2}\,(\mu^* - \lambda)^2} \qquad (۱۹)$$

اگر $C_1 = C_2$ و $f(\mu) = C_7\ \mu$ باشد، در نتیجه روابط فوق به‌صورت رابطهٔ ۲۰ ساده گردیده و مقدار μ^* به‌دست می‌آید:

$$\mu^* = \lambda + \left(\frac{C_1}{C_7}\lambda\right)^{\frac{1}{2}} \qquad (۲۰)$$

نتایج و بحث

تحلیل سیستم صف ایجاد شده در محل تحویل نیشکر به کارخانه تولید شکر نشان داد که در این سیستم صف تک کاناله سبدهای حمل نی با آهنگ متوسط ۱۷/۰۳ سبد در ساعت به سیستم وارد می‌شوند و با آهنگ متوسط ۱۷/۵ سبد در ساعت سرویس‌دهی شده و از سیستم خارج می‌شوند بنابراین میزان بهره‌وری سیستم برابر با ۹۷ درصد به‌دست آمد، بدین مفهوم که ۹۷ درصد از اپراتورها پس از ورود به کارخانه شکر می‌بایست منتظر بمانند و در لحظه ورود خود سیستم را خالی نمی بینند. از طرفی مقدار ضریب بهره‌وری کمتر از یک است بنابراین می‌توان گفت که ظرفیت سیستم جوابگوی کل تقاضا برای دریافت سرویس بوده و صف به سمت بی‌نهایت میل نخواهد کرد، در نتیجه شرط پایداری سیستم صف سبدهای حمل نی محقق می‌شود (جدول ۲). متوسط زمان دوره کاری و بیکاری سیستم به‌ترتیب ۲/۱۳ ساعت و ۳/۵ دقیقه به‌دست آمد که با این شرایط احتمال بیکاری سیستم ۳ درصد خواهد بود. علاوه بر این، متوسط تعداد در صف و سیستم ۳۱ و ۳۷ سبد به‌دست آمد که این مقدار تقریباً دو برابر آهنگ سرویس‌دهی در ساعت که برابر با ۱۷/۵ هست، می‌باشد و باعث می‌شود که متوسط زمان انتظار سبدهای حمل نی ۲ ساعت به‌طول بینجامد به‌طوری‌که مقادیر متوسط زمان انتظار مشتریان در صف و سیستم محاسبه شده در جدول ۲ گواه این مطلب است و نی‌های برداشت و قطعه‌قطعه شده بایستی به‌طور متوسط حداقل ۲ ساعت در صف و منتظر تحویل به کارخانه تولید شکر باشند که این انتظار در سیستم صف تا ۱۳ ساعت نیز به‌طول انجامید که این امر افت کمی و کیفی نی‌ها را به‌دنبال دارد. اگر نی قطعه‌قطعه شده

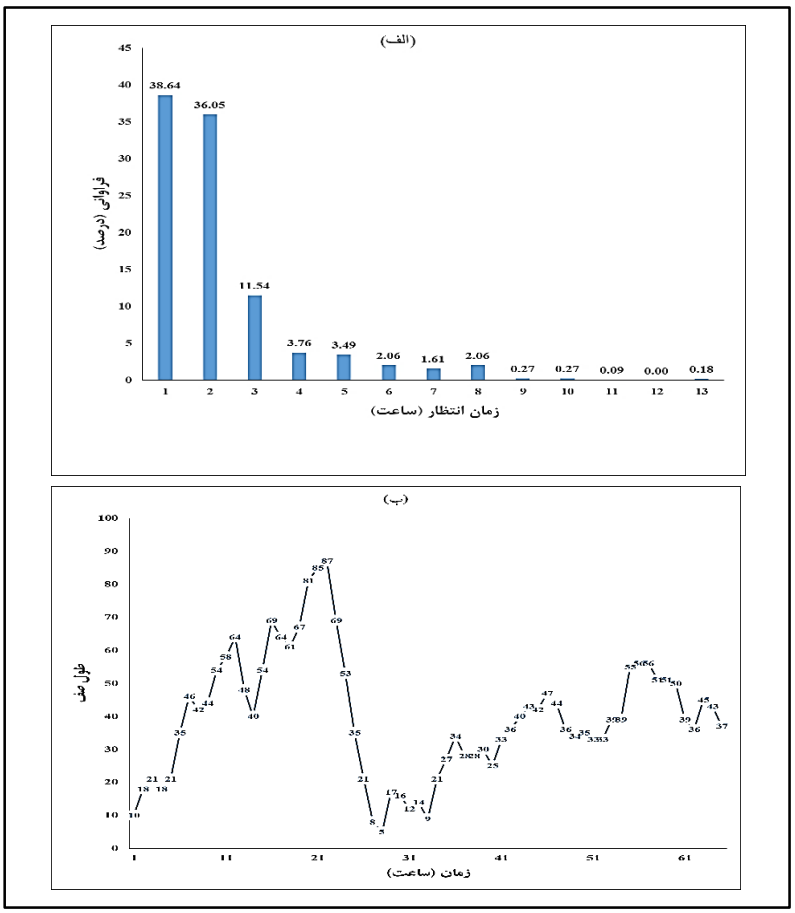
در عرض چندین ساعت بعد از عملیات برداشت آسیاب نگردد، در اثر فعال شدن عمل تنفس در محل زخم و شکستگی‌های قلمه نی و همچنین از دست رفتن شیره سلول‌های پاره شده و حمله میکروارگانیسم‌های انورتاز روی زخم‌ها، ساکاروز موجود در قلمه‌های نی، انورته شده و در نتیجه کیفیت نی و میزان قند قابل استحصال کاهش می‌یابد (Sayed & El-Kareem, 1989). تغییر سیستم براشت از تمام ساقه به نی قطعه‌قطعه شده مشکلات فساد نی را ایجاد می‌کند. همچنین با کاهش فاصله زمانی بین برش و آسیاب نی می‌توان تا حدودی از فساد نی‌های قطعه‌قطعه شده جلوگیری کرد (Noroozi *et al*., 2015). همان‌طور که در شکل ۲ (الف) مشاهده می‌شود تمامی نی‌های حمل شده با تأخیر در آسیاب مواجه‌اند که این امر و پیامدهای کیفی و در نتیجه اقتصادی ناشی از آن را می‌توان با کاهش زمان انتظار در صف حداقل کرد.

مطابق با شکل ۲ (ب) طول صف با افزایش آهنگ ورود سبدهای حمل نی افزایش می‌یابد تا اینکه به مقدار ۸۷ می‌رسد. این افزایش زمانی اتفاق می‌افتد که سیستم (تک سرویس‌دهنده) به‌علت خرابی و در نتیجه توقف در بخش‌های مختلف کارخانه قادر به ارائه سرویس نخواهد بود و رفته‌رفته با ورود سبدهای حمل نی، تعداد سبدها در صف انتظار افزایش می‌یابد و پس از گذشت ۲۲ ساعت از شروع کار به ۸۷ سبد در صف می‌رسد که با تعمیر بخش مربوط و بدنبال آن سرویس‌دهی و تخلیه سبدهای در صف، پس از ۶ ساعت تعداد آنها به ۵ سبد می‌رسد. این خرابی‌ها در نقاله تغذیه، همسطح‌کننده‌های یک و دو، نقاله شستشو، نقاله اصلی، چاقوی اول و دوم نی، آهنربای ۱ و ۲، شریدر[1]، نقاله ورودی به آسیاب اول، آسیاب‌ها، نقاله میانی، توربین و جعبه‌دنده آسیاب‌ها، فیلتر دوار و نقاله باگاس برگشتی از آن، ترازوی شربت، نقاله‌های باگاس، آسیاب، کوره‌های بخار، پمپ‌ها، لوله‌ها و شیرها اتفاق می‌افتد که در سال زراعی مورد نظر، ۷۳ درصد آن مربوط به آسیاب و ۲۰ درصد آن مربوط به نقاله ورودی به آسیاب اول بود و تنها ۲۵ درصد این توقفات پیش‌بینی شده و برای ۷۵ درصد باقیمانده برنامه‌ریزی‌ای صورت نگرفته بود.

جدول ۲- نتایج حاصل از تحلیل سیستم صف ایجاد شده در محل تحویل نیشکر به کارخانه

عنوان	پارامتر	مقدار
آهنگ ورود	λ	۱۷/۰۳
آهنگ سرویس‌دهی	μ	۱۷/۵
متوسط زمان انتظار مشتریان در سیستم در درازمدت	W	۲/۱۲۷
متوسط زمان انتظار مشتریان در صف	W_q	۲/۰۷
متوسط تعداد افراد داخل سیستم در درازمدت	L	۳۷/۲۳
متوسط تعداد افراد در صف	L_q	۳۱/۳۶
ماکزیمم طول صف	L_q max	۸۷
واریانس تعداد افراد داخل سیستم در درازمدت	$Var[N(t)]$	۱۳۳/۴۷
احتمال حدی	Π_0	۰/۰۲۷
ضریب بهره‌وری سیستم	ρ	۰/۹۷
متوسط زمان دوره بیکاری	$E[I]$	۳/۵
متوسط زمان دوره کار	$E[B]$	۲/۱۲۷

1- Shredder



شکل ۲- الف) فراوانی زمان‌های انتظار و ب) تغییرات طول صف در ساعت

بر اساس محاسبات صورت گرفته بیشترین درصد هزینه‌های صف ایجاد شده مربوط به هزینه فرصت از دست رفته (۹۸ درصد) بود و پس از آن، به‌ترتیب هزینه کاهش درصد قند نی به‌میزان ۱/۲۳ درصد، تصادف و واژگونی ۰/۷۴ درصد و هزینه شخصی اپراتورها ۰/۰۳ درصد از کل هزینه‌ها را به خود اختصاص دادند. در این سیستم، تراکتورها و سبدهای حمل نی به‌طور میانگین ۱۰۹ دقیقه در صف انتظار سرویس‌دهی قرار داشتند که این زمان انتظار در برخی مواقع به مقدار حداکثر ۱۲/۷ ساعت نیز رسید. نظر به اینکه در یک مناقصه پیمانکاری سه عامل زمان، کیفیت و هزینه تعیین‌کننده است (Arslan *et al.*, 2008) و تراکتورهای حمل محصول به‌صورت پیمانکاری و عقد قرارداد بر اساس میزان تن نیشکر تحویل داده شده به کارخانه تولید شکر با واحد کشت و صنعت مربوطه فعالیت دارند، می‌توان با بهبود سیستم صف زمینه رضایت ذی‌نفعان را فراهم آورد. بررسی سیستم صف در این شرکت نشان داد که یک صف طولانی وجود دارد که با رفع نقص کارخانه، سبدهای حمل نی به‌سرعت سرویس‌دهی شده و طول صف کاهش می‌یابد. ظرفیت کارخانه شکر در صورتی‌که هیچ‌گونه توقفی صورت نگیرد جوابگوی تناژ برداشت شده نیشکر خواهد بود اما با وجود توقفات پی در پی و عدم سرویس‌دهی در زمان مطلوب، تعداد سبدهای نی در صف افزایش می‌یابد. با توجه به اینکه نی برداشت و خرد شده در صورتی‌که آسیاب نشود به‌سرعت دچار فساد می‌گردد، برای کاهش تقاضای سرویس در این واحد با متوقف کردن برداشت نیشکر در زمان خرابی و توقف کارخانه، از ایجاد صفی طولانی در محل

کارخانه جلوگیری می‌کنند اما با این وجود، ۹۷ درصد از اپراتورها پس از ورود به کارخانه شکر می‌بایست منتظر بمانند و در لحظه ورود خود سیستم را خالی نمی‌بینند. با توجه به اینکه علت اصلی تشکیل صف این است که تقاضا برای سرویس بیش از امکانات سرویس‌دهی می‌باشد. در مدل صف M/M/1 در کشت و صنعت با یک سرویس‌دهنده بودن در سیستم، هزینه‌های ناشی از صف را می‌توان با محاسبه آهنگ سرویس‌دهی بر اساس هزینه‌ها حداقل کرد. طبق آمار ثبت شده شرکت، مجموع هزینه‌های ساعتی صف برابر با ۳۳۳۹۷۲۷ تومان و هزینه ساعتی کارخانه ۱۸۵۰۰۰۰۰ تومان به‌دست آمد که با توجه به رابطه ۱۴ آهنگ سرویس‌دهی برابر با ۱۸/۷۸ به‌دست آمد. آهنگ سرویس‌دهی سیستم برابر با ۱۷/۵ می‌باشد که بنابر محاسبات انجام شده می‌توان با افزایش ۷/۳ درصدی آهنگ سرویس‌دهی نسبت به قبل هزینه‌های ناشی از صف را حداقل کرد که با این افزایش، متوسط زمان انتظار در صف و سیستم به ترتیب ۳۱/۰۹ و ۳۴/۲ دقیقه به‌دست آمد و نسبت به قبل ۷۴/۹ و ۷۳/۲ درصد کاهش خواهد یافت (روابط ۲۱ تا ۲۳).

$$\mu^* = 17.03 + \left(\frac{3339727}{18500000} \times 17.03\right)^{\frac{1}{2}} = 18.78 \qquad (۲۱)$$

$$W = \frac{1}{\mu - \lambda} = \frac{1}{18.78 - 17.03} = 34.2 \qquad (۲۲)$$

$$W_q = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} = \frac{17.03}{18.78\,(18.78 - 17.03)} = 31.09 \qquad (۲۳)$$

افزایش آهنگ سرویس‌دهی نیازمند ارائه رویکردهای اساسی در سیستم خواهد بود که با توجه به ماهیت سیستم رویکردهای زیر را می‌توان به‌عنوان راهکار در جهت بهبود به‌کار گرفت:

- افزایش محوطه برای خط انتظار شکل‌گرفته

یکی از عواملی که موجب طولانی شدن زمان انتظار سبدهای حمل نی می‌گردد، تصادف و واژگونی تراکتورها در محل یارد کارخانه است که با وجود کار کردن خط تولید کارخانه موجب مسدود شدن مسیر و معطل ماندن تراکتورها می‌گردد. به‌طوری‌که در سال زراعی مورد بررسی ۲۲ تصادف و واژگونی تراکتور حمل نی اتفاق افتاد. از این‌رو، با افزایش محوطه در محل یارد کارخانه می‌توان از ایجاد حادثه و تشکیل صف انتظار در این محل جلوگیری کرد.

- استفاده از اجزای پشتیبان

قابلیت اطمینان کل سیستم ترکیبی از قابلیت اطمینان تک تک اجزا آن است. دو راهکار عمده به‌منظور افزایش قابلیت اطمینان سیستم وجود دارد. راهکار اول، بالا بردن قابلیت اطمینان اجزاء سیستم و دیگری استفاده از اجزاء پشتیبان در کنار اجزاء اصلی سیستم به‌صورت موازی است. به‌علت محدودیت های اقتصادی و فنی، برای افزایش اطمینان سیستم، راهکار دوم یعنی استفاده از اجزاء پشتیبان در کنار اجزاء اصلی بسیار متداول است (Eslami-Baladeh *et al.*, 2014). بنابراین در این واحد نیز با کاربرد اجزای پشتیبان خصوصاً در بخش آسیاب و نقاله ورودی می‌توان از توقفات طولانی جلوگیری به‌عمل آورد.

- کاربرد نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه به‌جای تعمیرات اصلاحی

در تعمیرات اصلاحی[1]، تعمیرات پس از شکستگی یا وقوع آشکار یک خرابی انجام می‌شود. در صورتی‌که در نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه[2]، نگهداری جهت جلوگیری از وقوع شکستگی قطعات اجرا می‌شود. این روش، برنامه‌های نگهداری بر پایه زمان[3] را جهت تعیین قطعات تعویضی اعمال می‌کند که شامل برنامه روانکاری، بررسی‌ها و تنظیم‌های روزانه می‌باشد (Afsharnia *et al.*, 2012;

1- Corrective Maintenance
2- Preventive Maintenance
3- Time-Based Maintenance

(Afsharnia *et al.*, 2014) که این روش نگهداری و تعمیرات را هم می‌توان در کارخانه شکر و هم در مورد تراکتورهای حمل نی به‌کار برد تا درصد توقف کارخانه و خرابی تراکتورها کاهش یابد. نظر به اینکه در شرایط مساعد برداشت، ۷۰/۶ درصد توقفات مربوط به خرابی کارخانه است، با اعمال نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه و کاهش توقفات کارخانه می‌توان آهنگ سرویس‌دهی را افزایش داد. کاهش خرابی تراکتورهای در صف نیز احتمال بسته شدن مسیر در محل تحویل نی به کارخانه شکر توسط تراکتورها را کاهش می‌دهد. علاوه بر این، کاهش زمان توقف موجب می‌شود تا از ظرفیت پنهان[۴] موجود کارخانه استفاده شود. تشخیص ظرفیت پنهان بهبودهایی را ایجاد می‌کند که به طور مستقیم در ایجاد سود مورد نظر تأثیر می‌گذارد و به‌طور کلی به‌کارگیری این ظرفیت ده برابر کم‌هزینه‌تر از ایجاد ظرفیت جدید می‌باشد (Hansen, 2001).

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، خط انتظار ایجاد شده در محل ورودی کارخانه شکر با متوسط ۳۱/۳۶ سبد حمل نی در صف به‌طور میانگین ۲/۰۷ ساعت انتظار در صف را می‌طلبد که نظر به اثرات منفی زمان تأخیر بین برداشت و آسیاب نی بر کمیت و کیفیت نیشکر و دیگر هزینه‌های ناشی از آن شامل هزینه فرصت از دست رفته اپراتورها در اثر ماندن در صف، تصادف و واژگونی تراکتور حامل سبدهای حمل نی در اثر شتاب و عجله برای برگشت سریع‌تر به محل تحویل و سپری کردن زمان کمتر در صف انتظار و هزینه شخصی اپراتورها می‌توان هزینه‌های صف را تا حدودی به‌واسطه افزایش آهنگ سرویس‌دهی بهبود بخشید. طبق محاسبات انجام شده، با افزایش ۷/۳ درصدی آهنگ سرویس‌دهی نسبت به قبل، متوسط زمان انتظار در صف و سیستم به‌ترتیب ۷۴/۹ و ۷۳/۲ درصد کاهش را نشان داد. افزایش آهنگ سرویس‌دهی با افزایش محوطه برای خط انتظار شکل‌گرفته، استفاده از تجهیزات پشتیبان و اعمال نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه در کارخانه شکر و تراکتورهای حمل نی و استفاده از ظرفیت پنهان کارخانه محقق خواهد شد. با توجه به اینکه خرابی کارخانه شکر به‌عنوان علت اصلی تشکیل صف شناخته شد، نسبت به دیگر رویکردها، اعمال نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه در کارخانه شکر دارای اولویت است.

قدردانی

این مقاله مستخرج از سمینار دوره دکتری مهندسی مکانیزاسیون کشاورزی در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان می‌باشد.

مراجع

Afsharnia, F., Asoodar, M. A. and Abdeshahi, A. 2012. Investigation effect of maintenance policies on different systems failure rate of MF399 tractor. Adv. Maint. Eng. J. 2, 40-49. (in Persian)

Afsharnia, F., Asoodar, M. A., Abdeshahi, A. and Marzban, A. 2014. Technical and economical comparison of different maintenance conditions for MF399 tractor in southwest of Iran. Agric. Eng. Int. CIGR J. 16(4): 43-50.

1- Hidden Factory

Anon. 2016. Statistical book of imports. Islamic Republic of Iran Customs Administration (IRICA). Tehran, Iran. (in Persian)

Arifin, M. Z., Probowati, B. D. and Hastuti, S. 2015. Applications of Queuing theory in the tobacco supply. Agric. Agr. Sci. Procedia. 3, 255-261.

Arslan. G., Kivrak, S., Talat-Birgonul, M., and Dikmen, I. 2008. Improving sub-contractor selection process in construction projects: Web-based sub-contractor evaluation system (WEBSES). Automat. Constr. 17(4): 480-488.

Bobbio, A. 2000. Birth Death Processes and Queueing systems. Anro Accademico.

Bunday, B. D. 1996. An introduction to Queueing Theory. Arnold, London.

Bustani, H. 2005. Fundamental Operation Research. PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

Cruz, F. R. B., Duarte, A. R. and Van Woensel, T. 2008. Buffer allocation in general single-server Queuing networks. Comput. Operat. Res. 35, 3581-3598.

David, R. 2005. Optimizing time to overcome queue service solid at fast food restaurant (case study in Mc.Donald's Restaurant, Depok Mall Branch). Ph. D. Thesis. IPB University, Bogor, Indonesia.

Eslami-Baladeh, A. A., Seyed-Esfahani, M. M., Farsi, M. A. and Mahmoudi, M. 2014. A random-based model for redundancy allocation with choice of redundancy strategies. 10th International Industrial Engineering Conference. Jan. 27-28. Tehran, Iran. (in Persian)

Hansen, R. C. 2001. Overall equipment effectiveness: A Powerful Production/ Maintenance Tool for Increased Profits. 1st Ed. Industrial Press Inc.

Iravani, M. R. 2013. Queuing Systems. Queuing Models. Vol. 2. Iran University of Science and Technology Press. Tehran. (in Persian)

Ivo, A. and Resing, J. 2001. Queuing Theory. Eindhoven University of Technology, Netherlands.

Kleinrock, L. 1975. Queuing Systems. Vol. I: Theory. Wiley, New York.

Lamsal, K. 2014. Sugarcane harvest logistics. Ph. D. Thesis. The University of Iowa.

Levin, R. I. 2002. Quantitative Decision Making. Rajawali Press. Jakarta.

Little, J. D. 1961. A proof of the queuing formula. Opns. Res. 9, 383-387.

Minkevicius, S. 2009. On extreme values in open queuing networks. Mathemat. Comput. Model. 50, 1058-1066.

Newell, G. F. 1971. Applications of Queuing Theory. Chapman and Hall, London.

Noroozi, S., Asoodar, M. A., Marzban, A. and Moradi-Telavat M. R. 2015. Sensitivity comparison of the sugarcane mill delay in Iran. Green sugar cane is more sensitive or burned. Elixir Agric. 85, 34378-34385.

Ross, S. M. A. 1986. First Course in Probability. Macmillan Pub. Co, Inc.

Sayed, G. and El-Kareem, L. 1989. Quality of cane juice, III; changes between cutting and milling of sugarcane. The Egypt Sugar and Distillation Co. Sugarcane Department Research Bull.

Agricultural Mechanization and Systems Research/Vol.20/No.72/Spring & Summer 2019/P:109-122

Analysis of Sugarcane Stems Transportation Process from Farm to Factory using Queuing Theory

F. Afsharnia* and A. Marzban

* Corresponding Author: Ph. D. Student., Agricultural Machinery Engineering Department, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Ahvaz, Iran. Email: afsharniaf@yahoo.com
Received: 26 July 2017, Accepted: 5 December 2017

Abstract

Different reasons can be listed to explain long delays in milling of the harvested sugarcane in sugarcane agroindustry units: factory's downtime, failures of tractors in waiting line, accident due to crowd of tractors in yard, and shift change that creates quite long queues. To understand the dimensions of this problem, queuing theory was used in the basis of (1) to obtain a supply of sugarcane queuing system (2) to obtain a proper queuing system in the supply of sugarcane (3) to obtain a minimal cost to the queuing system in the supply of sugarcane. The research was carried out in an agroindustrial sugarcane in Khuzestan province. The required data related to arrival and service times of tractors were collected in 2016. Data analysis were performed according to the queuing models in the agroindustry unit. Based on preliminary observations, queuing system of agroindustry unit was a single channel model with one server, so this study was carried out by M/M/1 model. The results showed that average waiting time of queuing system with a single channel in servicing was 2 hours and 6 minutes, so in 60% of cases, the queue length will be longer than what servicing can respond. Calculations indicated that the costs could be minimized by increasing service levels up to 7.3%. The long queue in the queuing system can be improved by increasing service levels including: following preventive maintenance rather than corrective maintenance, using hidden factory, using spare parts, and expanding area for waiting line, accordingly.

Keywords: Service Level, Sugarcane, Waiting Line