

ตัวแบบพยากรณ์ปริมาณการส่งออกน้ำตาลด้วยวิธีการทางสถิติ

Forecasting Model of Sugar Export Quantity via the Use of Statistical Methods

วรารงคณา เรียนสุทธิ

Warangkha Riansut

สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง

Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung Campus

Corresponding author; E-mail: warang27@gmail.com

Received: 28 April 2021 /Revised: 04 June 2021 /Accepted: 21 June 2021

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างตัวแบบพยากรณ์ปริมาณการส่งออกน้ำตาลด้วยวิธีการทางสถิติ 7 วิธี ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่าย วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ โดยใช้ปริมาณการส่งออกน้ำตาลเฉลี่ยรายเดือนจากเว็บไซต์ของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ตั้งแต่เดือนมกราคม 2554 ถึงเดือนพฤศจิกายน 2563 วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม SPSS ผลการศึกษาพบว่า วิธีที่มีความแม่นยำมากที่สุด คือ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ ($RMSE = 15,350,934$) มีตัวแบบพยากรณ์เป็น $\hat{Y}_{t+m} = 605,885,263.89082 - 70,164,400.52826 \left[(m-1) + \frac{1}{0.51816} \right]$ โดยตัวแบบพยากรณ์นี้สามารถนำไปใช้ในการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกน้ำตาลในอนาคตได้ เมื่อ $m = 1$ แทนเดือนกรกฎาคม 2563

คำสำคัญ : ปริมาณการส่งออกน้ำตาล บ็อกซ์-เจนกินส์ การทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลัง รากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE)

Abstract

The objective of this study is to construct the appropriate forecasting model for the export quantity of sugar via the use of seven statistical methods, namely, Box-Jenkins method, Holt's exponential smoothing method, Brown's exponential smoothing method, damped trend exponential smoothing method, simple seasonal exponential smoothing method, Winters' additive exponential smoothing method, and Winters' multiplicative exponential smoothing method. This research used the average monthly sugar export quantity from the website of the Office of Agricultural Economics during January 2011 to November 2020. Data were analyzed using the SPSS program. The results indicated



that the most accurate method was Brown's exponential smoothing method (RMSE = 15,350,934). The forecasting model was $\hat{Y}_{t+m} = 605,885,263.89082 - 70,164,400.52826 \left[(m-1) + \frac{1}{0.51816} \right]$. This model can be used to forecast the future sugar export quantity where $m = 1$ represents July 2020.

Keywords: Export Quantity of Sugar, Box-Jenkins, Exponential Smoothing, Root Mean Square Error (RMSE)

บทนำ

น้ำตาล คือ ผลึกซูโครสที่มีอยู่ในพืชต่าง ๆ เช่น อ้อย หัวบีท มะพร้าว และตาล แต่ที่นิยมนำมาทำเป็นอุตสาหกรรม คือ น้ำตาลทรายที่ทำมาจากอ้อย การผลิตน้ำตาลจากอ้อยจะใช้การหีบนำอ้อยออกมา จากนั้นนำน้ำอ้อยนั้นไปทำให้สะอาด เคี้ยวจนงวด เพื่อให้ตกผลึกซูโครส แล้วจึงแยกเอาออกจากส่วนที่เป็นของเหลวมาเป็นน้ำตาลที่ใช้บริโภค¹ จากการสำรวจพื้นที่ปลูกอ้อย พบว่า มีปริมาณเพิ่มขึ้นทุกภาคของประเทศไทย² เนื่องจากมีการสนับสนุนให้ปลูกอ้อยกันมาก เพราะสภาพภูมิอากาศในประเทศไทยเหมาะสมแก่การปลูกอ้อย จึงทำให้มีปริมาณอ้อยเข้าสู่โรงงานมากขึ้น ส่งผลให้ผลผลิตน้ำตาลทรายเพิ่มขึ้น ประเทศไทยจึงมีรายได้จากการส่งออกน้ำตาลทรายไปจำหน่ายยังต่างประเทศ ในขณะที่ตลาดโลกยังมีความต้องการน้ำตาลทรายในปริมาณที่เพิ่มขึ้นโดยตลอด³ การรักษาศักยภาพในการส่งออกน้ำตาลทรายจะเป็นการเพิ่มรายได้ให้กับประเทศได้เป็นอย่างดี ซึ่งการวางแผนการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพโดยการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกน้ำตาลในอนาคตเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อหน่วยงานของภาครัฐและผู้ที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย รวมทั้งกลุ่มบริษัทอ้อยและน้ำตาลทรายของไทย ดังนั้นการพยากรณ์จึงเป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยให้ผู้ที่เกี่ยวข้องได้นำข้อมูลมาใช้

ตัดสินใจสำหรับสถานการณ์ต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคต โดยถ้าค่าพยากรณ์มีความคลาดเคลื่อนสูง จะส่งผลกระทบต่อหลาย ๆ ฝ่าย เช่น ส่งผลให้ภาครัฐวางนโยบายการเพาะปลูกในปีนั้น ๆ ผิดพลาด อาจก่อให้เกิดภาวะผลผลิตล้นตลาดหรือขาดตลาดได้⁴ ด้วยเหตุผลดังกล่าว จึงเป็นประเด็นน่าสนใจที่ควรมีการศึกษาการพยากรณ์ข้อมูลในอนาคต โดยการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยจะให้ความสนใจกับการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกน้ำตาล จึงเริ่มต้นที่การทบทวนวรรณกรรมพบว่า ธวัชชัย เทพเปี่ยม และน้อมจิต กิตติโชติพาณิชย์³ ได้ศึกษาเปรียบเทียบตัวแบบพยากรณ์ปริมาณการส่งออกน้ำตาลทรายดิบของประเทศไทยโดยวิธีอนุกรมเวลา (วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์ วิธีแยกส่วนประกอบอนุกรมเวลา) และวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุ ผลการศึกษาพบว่า วิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุมีความเหมาะสมมากกว่า โดยตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณการส่งออกน้ำตาลทรายดิบของประเทศไทย คือ ดัชนีการส่งออกน้ำตาลทรายดิบ ปริมาณการส่งออกน้ำตาลทราย ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยทั่วประเทศ มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงพหุเท่ากับ 0.78 ค่า MSE เท่ากับ 5.86×10^{15} และเปรมา จันทบุตร⁵ ได้ศึกษาการ



พยากรณ์ราคาส่งออกน้ำตาล โดยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ ผลการศึกษาพบว่า ตัวแบบ MA(1) MA(17) SMA(12) มีความเหมาะสมมากที่สุดที่จะเป็นตัวแทนของราคาส่งออกน้ำตาลดิบ และตัวแบบ AR(30) MA(30) มีความเหมาะสมที่จะเป็นตัวแทนของราคาน้ำตาลทรายขาว ตัวแบบทั้ง 2 ตัวแบบนี้แสดงให้เห็นว่าทิศทางของอนุกรมเวลาระหว่างข้อมูลที่แท้จริงและข้อมูลราคาที่ประมาณขึ้นมีทิศทางการขึ้นลงไปในทางเดียวกัน จึงทำให้ราคาพยากรณ์ที่สามารถที่จะช่วยในการตัดสินใจในการประกอบการของผู้ผลิตหรือผู้ที่เกี่ยวข้องในอุตสาหกรรมนี้ได้

สำหรับการศึกษาคั้งนี้ ผู้วิจัยมีความสนใจศึกษาวิธีการสร้างตัวแบบพยากรณ์ปริมาณการส่งออกน้ำตาลด้วยวิธีการทางสถิติทั้งหมด 7 วิธี ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของไฮลด์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแตรม วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่าย วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ จากนั้นคัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่มีความแม่นยำมากที่สุด 1 ตัวแบบ โดยใช้เกณฑ์รากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) ที่ต่ำที่สุด เพื่อให้ได้ตัวแบบพยากรณ์สำหรับใช้ในการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกน้ำตาลในอนาคตต่อไป

วิธีดำเนินงานวิจัย

สร้างตัวแบบพยากรณ์ปริมาณการส่งออกน้ำตาล (กิโลกรัม) โดยใช้ข้อมูลค่าเฉลี่ยต่อเดือนจากเว็บไซต์ของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร⁶ ตั้งแต่

เดือนมกราคม 2554 ถึงเดือนพฤศจิกายน 2563 จำนวน 119 เดือน ผู้วิจัยได้แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 คือ ข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม 2554 ถึงเดือนมิถุนายน 2563 จำนวน 114 เดือน สำหรับการสร้างตัวแบบพยากรณ์ ชุดที่ 2 ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2563 ถึงเดือนพฤศจิกายน 2563 จำนวน 5 เดือน สำหรับการเปรียบเทียบความแม่นยำของตัวแบบพยากรณ์ด้วยเกณฑ์รากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด

ตรวจสอบการเคลื่อนไหวจากแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาลของอนุกรมเวลาปริมาณการส่งออกน้ำตาลชุดที่ 1 ดังนี้ ถ้าอนุกรมเวลามีการแจกแจงปกติ (ตรวจสอบการแจกแจงปกติด้วยการทดสอบชาปิโร-วิลค์: Shapiro-Wilk Test เนื่องจากข้อมูลในแต่ละกลุ่มที่จะตรวจสอบมีจำนวนไม่เกิน 50 ค่า) และมีความแปรปรวนเท่ากัน (ตรวจสอบความแปรปรวนเท่ากันด้วยการทดสอบของเลวีเน่ภายใต้การใช้มัธยฐาน: Levene's Test Based on Median) จะใช้สถิติอิงพารามิเตอร์ (Parametric Statistics) คือ การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way Analysis of Variance: ANOVA) แต่ถ้าอนุกรมเวลาไม่มีการแจกแจงปกติหรือมีความแปรปรวนไม่เท่ากัน จะใช้สถิติไม่อิงพารามิเตอร์ (Nonparametric Statistics) คือ การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวโดยลำดับที่ของครัสคัล-วอลล์ลิส (Kruskal-Wallis's One-Way Analysis of Variance by Rank) ถ้าผลการตรวจสอบพบว่า อนุกรมเวลาไม่เฉพาะการเคลื่อนไหวจากแนวโน้มวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสม ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ ที่มีตัวแบบ Autoregressive Integrated Moving Average: ARIMA(p, d, q) วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของไฮลด์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มี

แนวโน้มแบบแตรม อนุกรมเวลามีเฉพาะอิทธิพลของฤดูกาล วิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสม ได้แก่ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่าย และอนุกรมเวลามีทั้งการเคลื่อนไหวจากแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาล วิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสม ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ที่มีตัวแบบ Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average: SARIMA(p, d, q)(P, D, Q)_s วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ^{7, 8} จากผลการตรวจสอบการเคลื่อนไหวจากแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาลในผลการวิจัยแสดงว่า ปริมาณการส่งออกน้ำตาลมีการเคลื่อนไหวจากแนวโน้มและมีอิทธิพลของฤดูกาล

อย่างไรก็ตาม การศึกษาครั้งนี้พิจารณาวิธีการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีการพยากรณ์ทางสถิติที่มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาทุกรูปแบบ ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของไฮลด์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแตรม วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่าย วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ เพื่อให้ครอบคลุมตัวแบบพยากรณ์ที่ดีที่สุด⁹ ตัวแบบพยากรณ์ทั้ง 7 วิธีดังกล่าว แสดงรายละเอียดใน (Table 1)

Table 1. Forecasting Model

No.	Forecasting Methods	Forecasting Model	Time Series Characteristics
1	Box-Jenkins ¹⁰	SARIMA(p, d, q)(P, D, Q) _s : $\hat{\phi}_p(B)\hat{\Phi}_p(B^s)(1-B)^d(1-B^s)^D\hat{Y}_t = \hat{\delta} + \hat{\theta}_q(B)\hat{\Theta}_q(B^s)e_t$	Trend and Seasonal
2	Holt ⁸	$\hat{Y}_{t+m} = a_t + b_t(m) \text{ where } a_t = \alpha Y_t + (1-\alpha)(a_{t-1} + b_{t-1}),$ $b_t = \gamma(a_t - a_{t-1}) + (1-\gamma)b_{t-1}$	Trend
3	Brown ⁷	$\hat{Y}_{t+m} = a_t + b_t \left[(m-1) + \frac{1}{\alpha} \right] \text{ where } a_t = \alpha Y_t + (1-\alpha)a_{t-1},$ $b_t = \alpha(a_t - a_{t-1}) + (1-\alpha)b_{t-1}$	Trend
4	Damped ⁸	$\hat{Y}_{t+m} = a_t + b_t \sum_{i=1}^m \phi^i \text{ where } a_t = \alpha Y_t + (1-\alpha)(a_{t-1} + \phi b_{t-1}),$ $b_t = \gamma(a_t - a_{t-1}) + (1-\gamma)\phi b_{t-1}$	Trend
5	Simple Seasonal ⁷	$\hat{Y}_t = a_t + \hat{S}_t \text{ where } a_t = \alpha(Y_t - \hat{S}_{t-s}) + (1-\alpha)a_{t-1},$ $\hat{S}_t = \delta(Y_t - a_t) + (1-\delta)\hat{S}_{t-s}$	Seasonal
6	Winters' Additive ⁷	$\hat{Y}_{t+m} = (a_t + b_t m) + \hat{S}_t \text{ where } a_t = \alpha(Y_t - \hat{S}_{t-s}) + (1-\alpha)(a_{t-1} + b_{t-1}),$ $b_t = \gamma(a_t - a_{t-1}) + (1-\gamma)b_{t-1}, \hat{S}_t = \delta(Y_t - a_t) + (1-\delta)\hat{S}_{t-s}$	Trend and Seasonal

Table 1. Forecasting Model (Continued)

No.	Forecasting Methods	Forecasting Model	Time Series Characteristics
7	Winters' Multiplicative ⁷	$\hat{Y}_{t+m} = (a_t + b_t m) \hat{S}_t$ <p>where $a_t = \alpha \frac{Y_t}{\hat{S}_{t-s}} + (1-\alpha)(a_{t-1} + b_{t-1})$,</p> $b_t = \gamma(a_t - a_{t-1}) + (1-\gamma)b_{t-1}, \hat{S}_t = \delta \frac{Y_t}{a_t} + (1-\delta)\hat{S}_{t-s}$	Trend and Seasonal

สัญลักษณ์ต่าง ๆ ของ Table 1 อธิบายได้ดังนี้

\hat{Y}_t และ \hat{Y}_{t+m} แทน ค่าพยากรณ์ ณ เวลา t และเวลา t + m ตามลำดับ โดยที่ m แทน จำนวนช่วงเวลาที่ต้องการพยากรณ์ไปข้างหน้า

$\delta = \mu \hat{\phi}_p(B) \hat{\phi}_p(B^s)$ แทน ค่าคงตัว (Constant) โดยที่ μ แทน ค่าเฉลี่ยของอนุกรมเวลาที่คงที่ (Stationary)

$\hat{\phi}_p(B) = 1 - \hat{\phi}_1 B - \hat{\phi}_2 B^2 - \dots - \hat{\phi}_p B^p$ แทน ตัวดำเนินการสหสัมพันธ์ในตัวอันดับที่ p กรณีไม่มีฤดูกาล (Non-Seasonal Autoregressive Operator of Order p: AR(p))

$\hat{\phi}_p(B^s) = 1 - \hat{\phi}_1 B^s - \hat{\phi}_2 B^{2s} - \dots - \hat{\phi}_p B^{ps}$ แทน ตัวดำเนินการสหสัมพันธ์ในตัวอันดับที่ P กรณีมีฤดูกาล (Seasonal Autoregressive Operator of Order P: SAR(P))

$\hat{\theta}_q(B) = 1 - \hat{\theta}_1 B - \hat{\theta}_2 B^2 - \dots - \hat{\theta}_q B^q$ แทน ตัวดำเนินการเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับที่ q กรณีไม่มีฤดูกาล (Non-Seasonal Moving Average Operator of Order q: MA(q))

$\hat{\theta}_Q(B^s) = 1 - \hat{\theta}_1 B^s - \hat{\theta}_2 B^{2s} - \dots - \hat{\theta}_Q B^{Qs}$ แทน ตัวดำเนินการเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับที่ Q กรณีมีฤดูกาล (Seasonal Moving Average Operator of Order Q: SMA(Q))

t แทน ช่วงเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n_t โดยที่ n_t แทน จำนวนข้อมูลในอนุกรมเวลาชุดที่ 1 ($n_t = 114$)

s แทน จำนวนฤดูกาล ซึ่งอนุกรมเวลาปริมาณการส่งออกน้ำตาลเป็นข้อมูลรายเดือน ดังนั้น s = 12

d และ D แทน ลำดับที่ของการหาผลต่างและผลต่างฤดูกาล ตามลำดับ

B แทน ตัวดำเนินการถอยหลัง (Backward Operator) โดยที่ $B^s Y_t = Y_{t-s}$

a_t และ b_t แทน ค่าประมาณระยะตัดแกน Y และความชันของแนวโน้ม ณ เวลา t ตามลำดับ

α, γ, ϕ และ δ แทน ค่าคงตัวการทำให้เรียบ โดยที่ $0 < \alpha < 1, 0 < \gamma < 1, 0 < \phi < 1$ และ $0 < \delta < 1$

พิจารณาคัดเลือกวิธีที่จะนำมาพยากรณ์ด้วย เกณฑ์ RMSE ที่คำนวณจากข้อมูลชุดที่ 1 คือ ข้อมูล ตั้งแต่เดือนมกราคม 2554 ถึงเดือนมิถุนายน 2563 จำนวน 114 เดือน ($n = 114$) โดยค่า RMSE

ที่คำนวณได้ไม่ควรมีค่าสูงมากเกินไป ค่า RMSE หาได้จากสูตรต่อไปนี้⁷

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i^2}$$

เมื่อ $e_t = Y_t - \hat{Y}_t$ แทน ค่าคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ณ เวลา t

Y_t และ \hat{Y}_t แทน อนุกรมเวลาและค่าพยากรณ์ ณ เวลา t ตามลำดับ

ทำการตรวจสอบข้อสมมุติ (Assumption) ของ ตัวแบบพยากรณ์ คือ อนุกรมเวลาของค่าคลาดเคลื่อน จากการพยากรณ์มีการแจกแจงปกติ ตรวจสอบโดยใช้ การทดสอบคอลโมโกรอฟ-สมิร์นอฟ (Kolmogorov-Smirnov Test: KS Test) มีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกัน ตรวจสอบโดยใช้การทดสอบรันส์ (Runs Test) มี ค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ ตรวจสอบโดยใช้การทดสอบที (t-Test) และมีความแปรปรวนเท่ากันทุกช่วงเวลา ตรวจสอบโดยใช้การทดสอบของเลวีนาภายใต้การ ใช้มัธยฐาน หากพบว่าข้อสมมุติข้อใดข้อหนึ่งไม่เป็น จริงจะสรุปว่าตัวแบบพยากรณ์ไม่เหมาะสม และไม่สมควรนำไปใช้ในการพยากรณ์ต่อไป

ทำการเปรียบเทียบความแม่นยำของตัวแบบ พยากรณ์ โดยการเปรียบเทียบปริมาณการส่งออก น้ำตาลของข้อมูลชุดที่ 2 ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2563 ถึงเดือนพฤศจิกายน 2563 จำนวน 5 เดือน ($n = 5$) กับ ค่า พยากรณ์ เพื่อ คำนวณ ค่า RMSE โดยตัวแบบพยากรณ์ที่ให้ค่า RMSE ต่ำที่สุด จัดเป็น ตัวแบบที่มีความแม่นยำมากที่สุด เนื่องจากให้ค่า พยากรณ์ที่มีความแตกต่างกับข้อมูลจริงน้อยที่สุด

ผลการศึกษา

จากการพิจารณาลักษณะการเคลื่อนไหวของ อนุกรมเวลาปริมาณการส่งออกน้ำตาลชุดที่ 1 ตั้งแต่ เดือนมกราคม 2554 ถึงเดือนมิถุนายน 2563 จำนวน 114 เดือน ดัง (Figure 1) พบว่า ปริมาณการส่งออก น้ำตาลมีการเคลื่อนไหวจากแนวโน้มทั้งในทิศทาง ลดลงและเพิ่มขึ้น กล่าวคือ ในช่วงเดือนมกราคม 2554 ถึงเดือนธันวาคม 2556 แนวโน้มเป็นไปในลักษณะ

ลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($t = -1.4182$, $p\text{-value} = 0.1652$) หลังจากนั้นแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมี นัยสำคัญ ที่ระดับ 0.05 ($t = 3.6211$, $p\text{-value} = 0.0005$) อีกทั้งยังมีความผันผวนของปริมาณการ ส่งออกน้ำตาลในแต่ละเดือน และจากการทดสอบ สมมุติฐานเพื่อตรวจสอบการเคลื่อนไหวจากแนวโน้ม และอิทธิพลของฤดูกาล พบว่า อนุกรมเวลาปริมาณ การส่งออกน้ำตาลในแต่ละปีมีการแจกแจงปกติ แต่มีความแปรปรวนไม่เท่ากันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นจึงใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว โดยลำดับที่ของคริสต์ศตวรรษ-วอลลิสในการตรวจสอบการ เคลื่อนไหวจากแนวโน้ม พบว่า อนุกรมเวลามีค่า มัธยฐานในแต่ละปีแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($\chi^2 = 26.262$, $p\text{-value} = 0.001$) นั่นคือ อนุกรมเวลา มีการเคลื่อนไหวจากแนวโน้ม และอนุกรมเวลาปริมาณ การส่งออกน้ำตาลในแต่ละเดือนไม่มีการแจกแจงปกติ แต่มีความแปรปรวนเท่ากันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นจึงใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว โดยลำดับที่ของคริสต์ศตวรรษ-วอลลิสในการตรวจสอบ อิทธิพลของฤดูกาล พบว่า อนุกรมเวลามีค่ามัธยฐาน ในแต่ละเดือนแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($\chi^2 = 42.071$, $p\text{-value} < 0.0001$) นั่นคือ อนุกรม เวลาที่มีอิทธิพลของฤดูกาล เนื่องจากอนุกรมเวลา ปริมาณการส่งออกน้ำตาลมีการเคลื่อนไหวจาก แนวโน้มและมีอิทธิพลของฤดูกาล ดังนั้นวิธีการ พยากรณ์ที่มีความเหมาะสม คือวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ที่มี ตัวแบบ SARIMA(p, d, q)(P, D, Q)_s วิธีการทำให้เรียบ ด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก และวิธีการทำให้ เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาค่า RMSE ของข้อมูลชุดที่ 1 ดัง (Table 2) พบว่า วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลัง

ที่มีฤดูกาลอย่างง่าย ซึ่งเหมาะสมกับอนุกรมเวลาที่มีเพียงอิทธิพลของฤดูกาลเท่านั้น มีค่า RMSE ต่ำที่สุดรองลงมาคือ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก ซึ่งเหมาะสมกับอนุกรมเวลามีทั้งการ

เคลื่อนไหวจากแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาล ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จะพิจารณาวิธีการสร้างตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมกับอนุกรมเวลาทุกรูปแบบ เพื่อให้ครอบคลุมตัวแบบพยากรณ์ที่ดีที่สุด

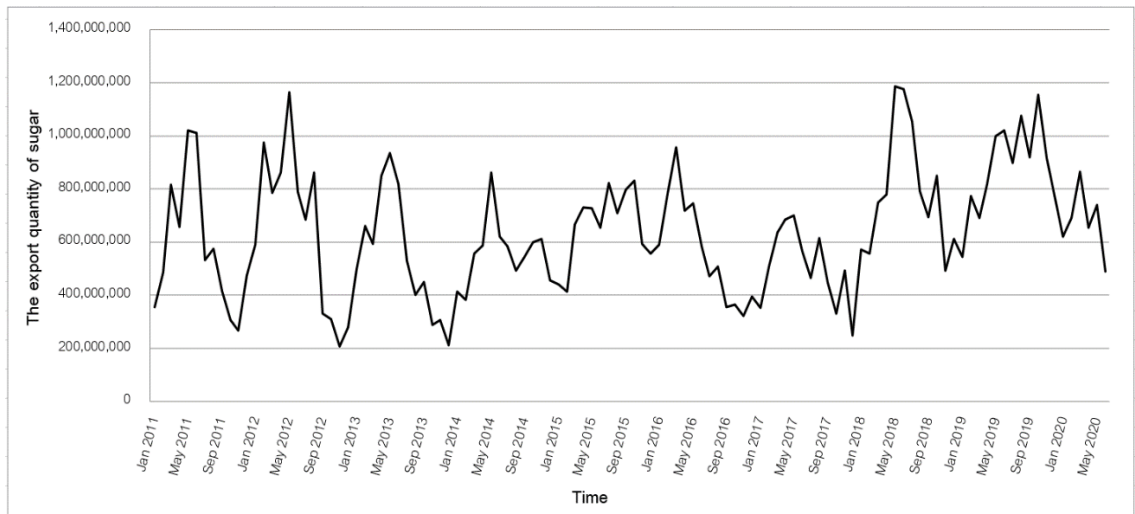


Figure 1. Run plot for the export quantity of sugar during January 2011 to June 2020

Table 2. RMSE of the first dataset

Forecasting Methods	Box-Jenkins	Holt	Brown	Damped	Simple Seasonal	Winters' Additive	Winters' Multiplicative
RMSE	171,359,388	174,809,776	193,836,405	173,946,228	138,313,683	138,467,961	175,113,859

จากการตรวจสอบที่พบว่า อนุกรมเวลาปริมาณการส่งออกน้ำตาลมีการเคลื่อนไหวจากแนวโน้มและมีอิทธิพลของฤดูกาล ดังนั้นผู้วิจัยจึงแปลงข้อมูลด้วยการหาผลต่างลำดับที่ 1 ($d = 1$) และผลต่างฤดูกาลลำดับที่ 1 ($D = 1$) เพื่อสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ ได้กราฟ Autocorrelation Function (ACF) และกราฟ Partial Autocorrelation Function (PACF) ของอนุกรมเวลาที่แปลงข้อมูลแล้ว แสดงดัง

(Figure 2)(a) และ (b) ตามลำดับ ซึ่งพบว่า อนุกรมเวลามีลักษณะคงที่ เพราะค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวจากกราฟ ACF ดัง (Figure 2)(a) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวบางส่วนจากกราฟ PACF ดัง (Figure 2)(b) ตกอยู่ภายในขอบเขตความเชื่อมั่นที่กำหนด ($\pm 2/\sqrt{n_1}$) ยกเว้นเฉพาะ Lag ที่ 1 และกลุ่มของ Lag ฤดูกาล Lag ที่ 11 – 13 ของกราฟ ACF ดัง (Figure 2)(a) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวเกิน

ขอบเขต จึงกำหนดตัวแบบพยากรณ์ที่เป็นไปได้เริ่มต้น
มีค่า $q = 1$, $Q = 1$ และ Lag ที่ 1 และกลุ่มของ Lag
ฤดูกาล Lag ที่ 10 – 12 และ 24 ของกราฟ PACF
ดัง (Figure 2)(b) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
ในตัวบางส่วนเกินขอบเขต จึงกำหนดตัวแบบพยากรณ์
ที่เป็นไปได้เริ่มต้น มีค่า $p = 1$, $P = 2$ ดังนั้นตัวแบบ

พยากรณ์เริ่มต้น คือ ตัวแบบ SARIMA(1, 1, 1)(2, 1, 1)₁₂
จากการคัดเลือกตัวแบบให้เหลือเฉพาะพารามิเตอร์ที่มี
นัยสำคัญที่ระดับ 0.05 พบว่า ตัวแบบพยากรณ์ที่
เหมาะสม คือตัวแบบ SARIMA(1, 1, 0)(1, 1, 0)₁₂ ไม่มี
พจน์ค่าคงตัวซึ่งสามารถเขียนเป็นตัวแบบของวิธีบ็อกซ์-
เจนกินส์ได้ดังนี้

$$(1 - \phi_1 B)(1 - \Phi_1 B^{12})(1 - B)(1 - B^{12})Y_t = \varepsilon_t$$

$$(1 - \Phi_1 B^{12} - \phi_1 B + \phi_1 \Phi_1 B^{13})(1 - B^{12} - B + B^{13})Y_t = \varepsilon_t$$

$$(1 - B^{12} - B + B^{13} - \Phi_1 B^{12} + \Phi_1 B^{24} + \Phi_1 B^{13} - \Phi_1 B^{25} - \phi_1 B + \phi_1 B^{13} + \phi_1 B^2 - \phi_1 B^{14} + \phi_1 \Phi_1 B^{13} - \phi_1 \Phi_1 B^{25} - \phi_1 \Phi_1 B^{14} + \phi_1 \Phi_1 B^{26})Y_t = \varepsilon_t$$

$$Y_t = (1 + \phi_1)Y_{t-1} - \phi_1 Y_{t-2} + (1 + \Phi_1)Y_{t-12} - (1 + \phi_1)(1 + \Phi_1)Y_{t-13} + \phi_1(1 + \Phi_1)Y_{t-14} - \Phi_1 Y_{t-24} + (1 + \phi_1)\Phi_1 Y_{t-25} - \phi_1 \Phi_1 Y_{t-26} + \varepsilon_t$$

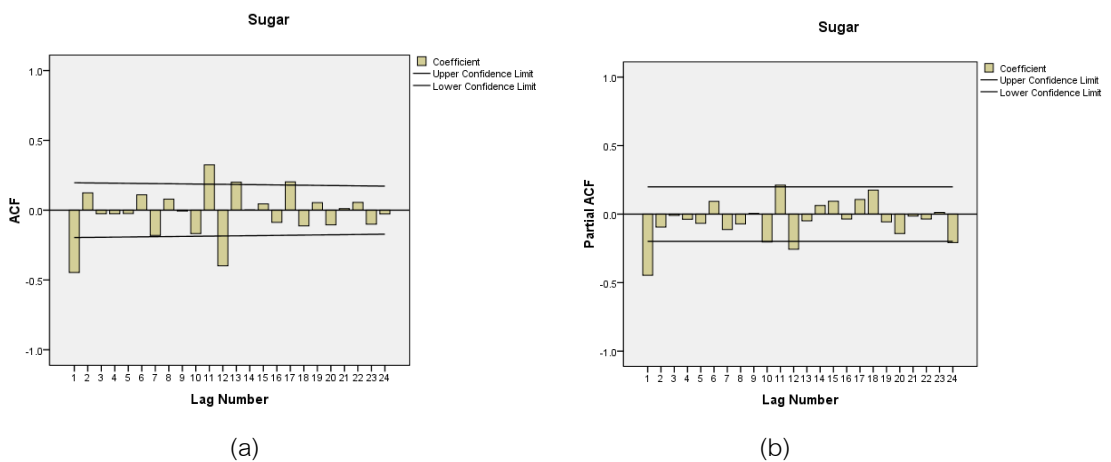


Figure 2. ACF and PACF of the first difference, $d = 1$, and seasonal difference, $D = 1$,
of the export quantity of sugar

จากการแทนค่าประมาณพารามิเตอร์ จะได้
ตัวแบบพยากรณ์ของวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการทำให้
เรียงด้วยเลขชี้กำลังของโฮสต์ วิธีการทำให้เรียงด้วย
เลขชี้กำลังของบราวน์ วิธีการทำให้เรียงด้วยเลขชี้กำลัง
ที่มีแนวโน้มแบบแฉก วิธีการทำให้เรียงด้วยเลขชี้กำลัง
ที่มีฤดูกาลอย่างง่าย วิธีการทำให้เรียงด้วยเลขชี้กำลัง

ของวินเทอร์แบบบวก และวิธีการทำให้เรียงด้วยเลขชี้
กำลังของวินเทอร์แบบคูณ แสดงดัง (Table 3) และ
ค่าดัชนีฤดูกาลจากวิธีการทำให้เรียงด้วยเลขชี้กำลังที่มี
ฤดูกาลอย่างง่าย วิธีการทำให้เรียงด้วยเลขชี้กำลังของ
วินเทอร์แบบบวก และวิธีการทำให้เรียงด้วย
เลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ แสดงดัง (Table 4)

ซึ่งพบว่า วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่ายและวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก แสดงว่า ปริมาณการส่งออกน้ำตาลมีค่าสูงในช่วงเดือนมีนาคมถึงสิงหาคม เนื่องจากดัชนีฤดูกาลมีค่ามากกว่า 0 และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ แสดงว่า ปริมาณการส่งออกน้ำตาลมีค่าสูงในช่วงเดือนพฤษภาคม เนื่องจากดัชนีฤดูกาลมีค่ามากกว่า 1 ผลการตรวจสอบข้อสมมุติของตัวแบบพยากรณ์ แสดงดัง (Table 5) ซึ่งพบว่า ตัวแบบพยากรณ์ที่สร้างขึ้นทั้ง 7 วิธี มีข้อสมมุติเป็นจริงทุกข้อที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 กล่าวคือ อนุกรมเวลาของค่าตลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์มีการแจกแจงปกติ เคลื่อนไหวเป็นอิสระกัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ และความแปรปรวนเท่ากันทุกช่วงเวลา เมื่อใช้ตัวแบบพยากรณ์ที่สร้างขึ้นใน Table 3

สำหรับการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกน้ำตาลชุดที่ 2 ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2563 ถึงเดือนพฤศจิกายน 2563 จากนั้นเปรียบเทียบค่าพยากรณ์กับค่าจริงโดยการคำนวณ ค่า RMSE ได้ผล แสดง ดัง (Table 6) ผลการเปรียบเทียบพบว่า ตัวแบบพยากรณ์ของวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์มีความแม่นยำมากที่สุดในการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกน้ำตาล เนื่องจากมีค่า RMSE ต่ำที่สุด (RMSE = 15,350,934) หรือมีความผิดพลาดในการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกน้ำตาล 15,350,934 กิโลกรัม และตัวแบบพยากรณ์ที่มีความแม่นยำรองลงมา คือ ตัวแบบพยากรณ์ของวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่าย (RMSE = 46,673,979) หรือมีความผิดพลาดในการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกน้ำตาล 46,673,979 กิโลกรัม

Table 3. Results of the forecasting model

No.	Forecasting Methods	Forecasting Model
1	Box-Jenkins	$\hat{Y}_t = 0.62787Y_{t-1} + 0.37213Y_{t-2} + 0.59623Y_{t-12} - 0.37435Y_{t-13} - 0.22188Y_{t-14} + 0.40377Y_{t-24} - 0.25352Y_{t-25} - 0.15025Y_{t-26}$ <p>where Y_{t-j} represents the time series at time $t-j$ and</p>
2	Holt	$\hat{Y}_{t+m} = 537,736,069.79048 + 1,750,030.02259(m)$ <p>where $m = 1$ represents July 2020</p>
3	Brown	$\hat{Y}_{t+m} = 605,885,263.89082 - 70,164,400.52826 \left[(m-1) + \frac{1}{0.51816} \right]$ <p>where $m = 1$ represents July 2020</p>
4	Damped	$\hat{Y}_{t+m} = 577,558,273.77689 - 146,630,727.33857 \sum_{i=1}^m (0.35416)^i$ <p>where $m = 1$ represents July 2020</p>
5	Simple Seasonal	$\hat{Y}_t = 404,242,976.91642 + \hat{S}_t$ <p>where \hat{S}_t is shown in Table 4</p>
6	Winters' Additive	$\hat{Y}_{t+m} = (404,611,577.12843 + 1,686,582.96135m) + \hat{S}_t$ <p>where $m = 1$ represents July 2020 and \hat{S}_t is shown in Table 4</p>
7	Winters' Multiplicative	$\hat{Y}_{t+m} = (615,832,285.61302 + 1,603,628.31699m)\hat{S}_t$ <p>where $m = 1$ represents July 2020 and \hat{S}_t is shown in Table 4</p>



Table 4. Seasonal Index from simple seasonal exponential smoothing method, Winters' additive exponential smoothing method, and Winters' multiplicative exponential smoothing method

Month	\hat{S}_t from Simple Seasonal	\hat{S}_t from Winters' Additive	\hat{S}_t from Winters' multiplicative
JAN	-142,043,798	-133,748,838	0.47020
FEB	-16,660,646	-10,097,872	0.62000
MAR	91,430,440	96,261,114	0.78804
APR	94,237,520	97,336,271	0.80192
MAY	267,751,922	269,119,316	1.03066
JUN	133,450,497	133,088,409	0.88130
JUL	31,102,651	39,392,554	0.85713
AUG	29,989,262	36,550,489	0.83671
SEP	-89,518,756	-84,688,642	0.66799
OCT	-80,170,150	-77,071,885	0.67417
NOV	-172,116,457	-170,750,272	0.50915
DEC	-195,026,768	-195392764.4	0.44648

Table 5. The results of checking the assumptions of the forecasting models

No.	Forecasting Methods	KS test	p-value	Runs test	p-value	t-test	p-value	Levene statistic	p-value
1	Box-Jenkins	0.584	0.885	-0.299	0.765	-0.660	0.510	0.181	0.998
2	Holt	0.538	0.935	0.188	0.851	-0.036	0.971	0.343	0.973
3	Brown	0.517	0.952	0.188	0.851	-0.328	0.744	0.527	0.880
4	Damped	0.565	0.907	-0.188	0.851	0.058	0.954	0.373	0.963
5	Simple Seasonal	0.483	0.974	0.564	0.572	-0.108	0.914	0.375	0.963
6	Winters' additive	0.481	0.975	0.564	0.572	-0.286	0.775	0.375	0.963
7	Winters' multiplicative	0.534	0.938	-0.564	0.572	-0.592	0.555	0.417	0.945

Table 6. RMSE of the second dataset

Forecasting Methods	Box-Jenkins	Holt	Brown	Damped	Simple Seasonal	Winters' Additive	Winters' Multiplicative
RMSE	115,753,377	228,950,072	15,350,934	190,538,112	46,673,979	50,306,261	112,145,638

อภิปรายผล

จากผลการตรวจสอบแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาลของอนุกรมเวลาปริมาณการส่งออกน้ำตาลชนิดที่ 1 ที่พบว่า อนุกรมเวลาชนิดนี้มีการเคลื่อนไหวจากแนวโน้มและมีอิทธิพลของฤดูกาล ดังนั้นวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมควรจะเป็นวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ที่มีตัวแบบ SARIMA(p, d, q)(P, D, Q)_s วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ^{7,8} ไม่สอดคล้องกับผลการศึกษาค้นคว้าที่พบว่า วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ให้ตัวแบบพยากรณ์ที่มีความแม่นยำมากที่สุด ดังนั้นจึงควรศึกษาวิธีการพยากรณ์ที่หลากหลายเพื่อให้ครอบคลุมตัวแบบพยากรณ์ที่ดีที่สุด⁹ อีกทั้งการศึกษาค้นคว้านี้ยังให้ผลการศึกษาไม่สอดคล้องกับธวัชชัย เทพเปี่ยม และน้อมจิต กิตติโชติพานิชย์³ ที่พบว่า การพยากรณ์ปริมาณการส่งออกน้ำตาลทรายดิบของประเทศไทยโดยใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุมีความเหมาะสมมากกว่าวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของไฮลด์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์ และวิธีแยกส่วนประกอบอนุกรมเวลา อาจเนื่องมาจากการศึกษาของธวัชชัย เทพเปี่ยม และน้อมจิต กิตติโชติพานิชย์³ ไม่ได้ศึกษาวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ อย่างไรก็ตามตัวแบบพยากรณ์จากวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุที่เสนอโดยธวัชชัย เทพเปี่ยม และน้อมจิต กิตติโชติพานิชย์³ มีค่า MSE เท่ากับ 5.86×10^{15} หรือ RMSE เท่ากับ 242,074,369 กิโลกรัม ซึ่งสูงกว่าตัวแบบพยากรณ์จากวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ที่เสนอในการศึกษาค้นคว้านี้ ซึ่งมีค่า RMSE เพียง 15,350,934 กิโลกรัม

การศึกษาค้นคว้านี้ได้ใช้เกณฑ์ RMSE ในการเปรียบเทียบความแม่นยำของตัวแบบพยากรณ์ที่สร้างขึ้นทั้ง 7 วิธี สำหรับเกณฑ์การเปรียบเทียบความแม่นยำนั้นยังคงมีเกณฑ์อื่น ๆ อีก เช่น เกณฑ์ร้อยละค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) ซึ่งการใช้เกณฑ์การเปรียบเทียบความแม่นยำแตกต่างกัน อาจส่งผลให้การคัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่ดีที่สุดเหมือนหรือแตกต่างกันได้ โดยผลการใช้เกณฑ์ RMSE ในการศึกษาค้นคว้าพบว่า วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์มีความแม่นยำมากที่สุดในการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกน้ำตาล อย่างไรก็ตาม ค่าพยากรณ์ของวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์มีความแตกต่างจากข้อมูลจริงอยู่บ้าง อาจเนื่องมาจากการศึกษาค้นคว้าได้พิจารณาเพียงปัจจัยเวลาเท่านั้นในการสร้างตัวแบบพยากรณ์ ซึ่งปริมาณการส่งออกน้ำตาลมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ และการเปลี่ยนแปลงอาจเกิดจากปัจจัยอื่น ๆ นอกเหนือจากปัจจัยเวลา ดังนั้นเมื่อมีปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณการส่งออกน้ำตาลหรือมีข้อมูลที่เป็นปัจจุบันมากขึ้น ผู้วิจัยควรนำมาปรับปรุงตัวแบบเพื่อให้ได้ตัวแบบพยากรณ์ที่มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น สำหรับใช้ในการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกน้ำตาลในอนาคตต่อไป

สรุป

การศึกษาค้นคว้าได้นำเสนอวิธีการสร้างและคัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมกับอนุกรมเวลาปริมาณการส่งออกน้ำตาลด้วยวิธีการทางสถิติ 7 วิธี ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของไฮลด์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มี

แนวโน้มแบบแตรม วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่าย วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ ผลการศึกษพบว่า วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์มีความแม่นยำมากที่สุด (RMSE = 15,350,934) ซึ่งมีตัวแบบพยากรณ์คือ

$$\hat{Y}_{t+m} = 605,885,263.89082 - 70,164,400.52826 \left[(m-1) + \frac{1}{0.51816} \right]$$

และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่ายมีความแม่นยำรองลงมา (RMSE = 46,673,979) มีตัวแบบพยากรณ์คือ

$$\hat{Y}_t = 404,242,976.91642 + \hat{S}_t$$

เอกสารอ้างอิง

1. สถาพร กวิตานนท์. อุตสาหกรรมน้ำตาลทรายในประเทศไทย. [อินเทอร์เน็ต]. 2547 เข้าถึงได้จาก: <https://www.lib.ku.ac.th/KUCONF/KC1507004.pdf>.
2. มูลนิธิเกษตรกรรมยั่งยืนแห่งประเทศไทย. รายงานเรื่องอ้อย. [อินเทอร์เน็ต]. 2564 เข้าถึงได้จาก: <http://www.aecth.org/upload/13823/kVLYMFsUd8.pdf>.
3. ธวัชชัย เทพเปี่ยม, น้อมจิต กิตติโชติพาณิชย์. เปรียบเทียบตัวแบบพยากรณ์ปริมาณการส่งออกน้ำตาลทรายดิบของประเทศไทยโดยวิธีอนุกรมเวลาและวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุ. วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง 2558;24(2):77-92
4. นรวัฒน์ เหลืองทอง, นันทชัย กานตานั้นทะ. การเลือกตัวแบบพยากรณ์ผลผลิตการเกษตรที่เหมาะสม. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 2559;24(3):370-81.
5. เปรมมา จันทบุตร. การพยากรณ์ราคาส่งออกน้ำตาลทรายโดยวิธีอาร์มา [ปริญญามหาบัณฑิต]. เชียงใหม่:มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; 2547.
6. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. ปริมาณการส่งออกน้ำตาล. [อินเทอร์เน็ต]. 2564. เข้าถึงได้จาก http://impexp.oae.go.th/service/export.php?S_YEAR=2554&E_YEAR=2564&PRODUCT_GROUP=5254&PRODUCT_ID=&wf_search=&WF_SEARCH=Y#export.
7. สมเกียรติ เกตุเอี่ยม. เทคนิคการพยากรณ์. พิมพ์ครั้งที่ 2. สงขลา: มหาวิทยาลัยทักษิณ; 2548.
8. มุกดา แม้นมินทร์. อนุกรมเวลาและการพยากรณ์. กรุงเทพฯ: โฟร์พรีนติ้ง; 2549.
9. วรางคณา เรียนสุทธิ. การเปรียบเทียบตัวแบบพยากรณ์ราคาสัมเขี้ยวหวานโดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลัง. Thai Journal of Science and Technology 2561;7(5):460-70.
10. Box GEP, Jenkins GM, Reinsel GC. Time Series Analysis: Forecasting and Control. 3rd ed. New Jersey: Prentice Hall; 1994.