

การประยุกต์ใช้เทคนิคการพยากรณ์ยอดขายทุเรียนทอดกรอบด้วยวิธีอนุกรมเวลา

บริษัทกรณีศึกษา ตำบลคอลอตันหยง อำเภอหนองจิก จังหวัดปัตตานี

Application of Time Series Forecasting Techniques for Crispy Fried Durian Sales: A Case Study of a Company in Kolotan Yong Subdistrict, Nong Chik District, Pattani Province

กัณฑ์ธมน สุขกระจ่าง¹, อรสา แนนไส, ธนะรัตน์ รัตนกุล, อาหะมัด โตแปเราะ,

อิรฟาน หะหมะนิ และ อี้ควาน โดแนราเซ

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

kantamon.su@skru.ac.th¹

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์และประยุกต์ใช้เทคนิคการพยากรณ์ยอดขายผลิตภัณฑ์ทุเรียนทอดกรอบของบริษัทกรณีศึกษาในตำบลคอลอตันหยง อำเภอหนองจิก จังหวัดปัตตานี โดยใช้วิธีการวิเคราะห์อนุกรมเวลา ได้แก่ การหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย (Simple Moving Average) การหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนัก (Weighted Moving Average) และการปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล (Exponential Smoothing) พร้อมทั้งประเมินความแม่นยำของแบบจำลองด้วยค่าความคลาดเคลื่อน ได้แก่ MAD, MSE และ MAPE รวมถึงการพยากรณ์แนวโน้มล่วงหน้าด้วยเครื่องมือ Forecast Sheet

ผลการศึกษาพบว่า วิธีการพยากรณ์แบบปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลที่กำหนดค่า $\alpha = 0.5$ ให้ค่าความคลาดเคลื่อน (MAD, MSE และ MAPE) ต่ำที่สุด แสดงให้เห็นว่ามีความแม่นยำในการพยากรณ์สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น ๆ ดังนั้น ผลการศึกษานี้จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการพยากรณ์ยอดขายสำหรับการวางแผนการผลิตสินค้าในอนาคต รวมถึงสามารถต่อยอดไปใช้กับผลิตภัณฑ์ประเภทอื่นได้ นอกจากนี้ผลการวิจัยยังเป็นแนวทางในการผลิต การบริหารสินค้าคงคลัง และสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับผู้ประกอบการ SMEs ได้อย่างเหมาะสม

คำสำคัญ: วิธีอนุกรมเวลา, ทุเรียนทอดกรอบ

Abstract

This study aims to analyze and apply forecasting techniques for sales of crispy fried durian products from a case study company located in Kolotan Yong Subdistrict, Nong Chik District, Pattani Province. Time series analysis methods were employed, including Simple Moving Average, Weighted Moving Average, and Exponential Smoothing. The accuracy of the forecasting models was evaluated using error measures ได้แก่ Mean Absolute Deviation (MAD), Mean Squared Error (MSE), and Mean Absolute Percentage Error (MAPE). In addition, future trends were forecasted using the Forecast Sheet tool.

The results indicate that the Exponential Smoothing method with a smoothing constant of $\alpha = 0.5$ provides the lowest forecasting errors (MAD, MSE, and MAPE), demonstrating the highest level of accuracy compared to other methods. Therefore, the findings of this study can be applied as a guideline for sales forecasting in production planning and can be further extended to other types of products effectively.

บทนำ

ทุเรียนทอดกรอบเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความต้องการสูง และมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล และผู้บริโภคมีความต้องการที่สินค้าหลากหลาย ดังนั้นการพยากรณ์ยอดขายช่วยให้ผู้ผลิตและผู้จัดจำหน่ายสามารถวางแผนการผลิตและการจัดการสินค้าคงคลังได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนและเพิ่มผลกำไร ในระยะยาวการใช้เทคนิคการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลา เช่น ARIMA และการปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียล ได้รับการพิสูจน์แล้วว่ามีความแม่นยำสูงในการคาดการณ์ยอดขายในอุตสาหกรรมอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผลิตภัณฑ์ที่มีความต้องการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล เช่น ทุเรียนทอดกรอบ ทุเรียนกวน เป็นต้น

การวิเคราะห์ข้อมูลยอดขายในอดีตสามารถช่วยให้ผู้ผลิตเข้าใจแนวโน้มและรูปแบบการบริโภค ของลูกค้า ซึ่งจะนำไปสู่การตัดสินใจที่ดีขึ้นในการผลิตและการตลาด นอกจากนี้ การพยากรณ์ยอดขาย ยังช่วยในการจัดการความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับการผลิตและการจัดจำหน่าย โดยการคาดการณ์ความต้องการในอนาคตสามารถช่วยให้ผู้ผลิตหลีกเลี่ยงปัญหาสินค้าคงคลังเกินหรือขาดแคลนได้ (Vishwanath, A., Basheeruddin, M., & Saveetha, D., 2024) การใช้วิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมจึงเป็นเครื่องมือที่มีคุณค่าในการเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินธุรกิจ ในอุตสาหกรรมอาหาร และเครื่องดื่ม โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีความต้องการสูงเช่นทุเรียนทอดกรอบ การพยากรณ์ที่แม่นยำจะช่วยให้ผู้ผลิตสามารถตอบสนองต่อความต้องการของตลาดได้อย่างทันทั่วถึงและมีประสิทธิภาพต่อไปได้

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาและประยุกต์ใช้เทคนิคการพยากรณ์ยอดขายทุเรียนทอดกรอบด้วยวิธีอนุกรมเวลา ได้แก่ วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย, วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนัก และการปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียล ศึกษาค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ด้วยวิธี MAD MSE และ MAPE
2. เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ด้วยวิธี MAD, MSE และ MAPE เพื่อคัดเลือกวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุด
3. เพื่อพยากรณ์ยอดขายในอนาคตโดยใช้เครื่องมือ Forecast Sheet ในการสนับสนุนการตัดสินใจ

ขอบเขตของการวิจัย แบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

1. ขอบเขตด้านกลุ่มเป้าหมาย คือ ผู้จำหน่ายเป็นผู้ให้ข้อมูลยอดขาย
2. ขอบเขตด้านเนื้อหา คือ ศึกษาแนวทางการประยุกต์ใช้เทคนิคการพยากรณ์ยอดขายทุเรียนทอดกรอบด้วยวิธีอนุกรมเวลา โดยใช้ข้อมูลยอดขายรายเดือนระหว่างเดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ. 2566 ถึงเดือน ธันวาคม พ.ศ. 2568 รวมจำนวน 36 เดือน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. การวางแผนการผลิตและการจัดจำหน่าย เพื่อให้ผู้ประกอบการสามารถวางแผนการผลิตและการจัดจำหน่ายทุเรียนทอดกรอบและยี่ห้ออื่น ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยคำนึงถึงยอดขายที่คาดการณ์ไว้ ซึ่งจะช่วยให้สามารถลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มกำไรได้
2. การส่งเสริมการขาย เพื่อให้ผู้ประกอบการสามารถวางแผนการส่งเสริมการขายได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยคำนึงถึงแนวโน้มยอดขายที่คาดการณ์ไว้

แนวคิดทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิธีการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลา (Time Series Method) เป็นวิธีการที่ใช้พยากรณ์ยอดขายในอนาคต โดยคาดว่าจะมีลักษณะเช่นเดียวกับยอดขายในปัจจุบันหรืออนาคต ยอดขายหรืออุปสงค์ในความเป็นจริงได้รับอิทธิพลจากแนวโน้ม (Trend) ฤดูกาล (Seasonal) วัฏจักร (Cycle) และเหตุการณ์ผิดปกติ (Irregular Variation)

การพยากรณ์โดยใช้อนุกรมเวลา เป็นการศึกษาความเคลื่อนไหวของข้อมูลตามช่วงระยะเวลาในอดีตว่ามีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลอย่างไรตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน (พิภพ สถิตินาถ, 2556) โดยมีช่วงเวลาห่างกันในการเก็บข้อมูล เช่น การเก็บข้อมูลทุกเดือน ทุกไตรมาส หรือทุก ๆ 3 ปี เป็นต้น เทคนิคการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลานี้มีสมมติฐานว่าความต้องการสินค้ามีการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป ดังนั้น ตัวแปรหรือปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อยอดขายหรืออุปสงค์ใน

ความเป็นจริงได้รับอิทธิพลจากแนวโน้ม (Trend) ฤดูกาล (Seasonal) วัฏจักร (Cycle) และเหตุการณ์ผิดปกติ (Irregular Variation) ดังนี้

แนวโน้ม ความต้องการสินค้าจะมีลักษณะขึ้นหรือลงอย่างค่อยเป็นค่อยไป ส่วนมากจะมีอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงของจำนวนประชากร และรายได้ เป็นต้น

ฤดูกาล ความต้องการของสินค้า อาจเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล เทศกาล และสภาพภูมิอากาศซึ่งส่งผลต่อรูปแบบยอดขายในแต่ละช่วงเวลา ดังนั้น รูปแบบการเปลี่ยนแปลงจะคล้ายกันในทุก ๆ ปี วัฏจักร ความต้องการของสินค้าและบริการที่มีลักษณะเพิ่มขึ้นหรือลดลงคล้ายคลึงในช่วงระยะเวลามากกว่า 1 ปี ซึ่งมีผลกระทบมาจากปัจจัยทางด้านเทคโนโลยี การแข่งขัน การเมือง และเศรษฐกิจ เป็นต้น เหตุการณ์ผิดปกติ เป็นสิ่งที่เกิดขึ้นเหนือความคาดหมาย สามารถทำให้ผู้บริโภคเกิดการเปลี่ยนแปลงความต้องการในสินค้าและบริการได้ เช่น การเกิดภัยพิบัติ การเกิดโรคระบาด สงคราม การประท้วง เป็นต้น หากพบเหตุการณ์ผิดปกติในช่วงเวลาในการพยากรณ์ ให้ตัดช่วงเวลานั้นทิ้งไปก่อน

เทคนิคการพยากรณ์โดยใช้อนุกรมเวลา มีดังนี้ (พิภพ สถิตินาถ, 2556)

1. การพยากรณ์อย่างง่าย (Naïve Forecast) เป็นการพยากรณ์ว่ายอดขายในอนาคตจะเท่ากับยอดขายปัจจุบัน เช่น เดือนมกราคมขายได้ 35 หีบ เดือนกุมภาพันธ์จะควรขายได้ 35 หีบเช่นกัน ถ้าเดือนกุมภาพันธ์ขายได้จริง 42 หีบ ก็จะพยากรณ์เดือนมีนาคมว่าขายได้ 42 หีบเช่นกัน

การพยากรณ์อย่างง่ายอาจแสดงเป็นแนวโน้มของอุปสงค์ ดังนี้ ถ้าเดือนมกราคมขายได้ 108 หีบ เดือนกุมภาพันธ์ขายได้ 120 หีบ จะพยากรณ์เดือนมีนาคมว่าขายได้ $120 + (120 - 108)$ เท่ากับ 132 หีบ ถ้าเดือนมีนาคมขายได้จริง 127 หีบ เดือนเมษายนจะมียอดขายพยากรณ์ $127 + (127 - 120) = 134$ หีบ และใช้พยากรณ์ฤดูกาลว่าถ้าปีที่แล้วในช่วงเวลานี้ขายได้เท่าไร ปีนี้ก็ควรจะขายได้เท่านั้น วิธีนี้ง่ายและมีค่าใช้จ่ายต่ำ แต่ใช้ได้กรณีที่อิทธิพลต่างๆที่มีต่อยอดขายส่งผลอย่างสม่ำเสมอเท่านั้น แต่ถ้ามีเหตุการณ์ผิดปกติเกิดขึ้นจะเกิดความคลาดเคลื่อนสูง

2. การพยากรณ์วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average) เป็นวิธีการที่เหมาะสมกรณียอดขายที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นหรือลงอย่างรวดเร็ว หรือมีลักษณะของข้อมูลที่ไม่มีอิทธิพลของแนวโน้มหรือมีเล็กน้อย คำนวณได้โดยใช้จำนวนข้อมูล n ค่ามาเฉลี่ย เพื่อเป็นค่าพยากรณ์ในค่าต่อไปค่าพยากรณ์ของวิธีนี้ ดังสมการ

$$F_t = \frac{\sum \text{ยอดขายในระยะเวลา } n \text{ ครั้ง}}{n}$$

กำหนด F_t = ค่าพยากรณ์ความต้องการสินค้า ณ ช่วงเวลา t

n = จำนวนข้อมูลที่จะหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (จำนวนเต็มตั้งแต่ 2 ขึ้นไป)

*** ค่า n จะเปลี่ยนไปตามจำนวนการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่

การพยากรณ์แบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ที่ต้องรอเก็บข้อมูลอย่างน้อย 3 ช่วงเวลา ดังนั้นค่าพยากรณ์ที่ได้ค่าแรกคือของช่วงที่ 4 เช่น ถ้าเริ่มเก็บข้อมูลยอดขายเดือนมกราคม ในเดือนกุมภาพันธ์และ มีนาคมก็ยังไม่สามารถพยากรณ์ได้ จะเริ่มพยากรณ์ได้เมื่อสิ้นเดือนมีนาคม โดยคำนวณค่าพยากรณ์ของเดือนเมษายนจากค่าเฉลี่ยของยอดขายจริง 3 เดือนแรก เมื่อสิ้นเดือนเมษายนจึงจะทราบยอดขายจริงของเดือนเมษายนและใช้ค่านี้นำมาพยากรณ์เดือนพฤษภาคม โดยตัดยอดขายจริงของเดือนมกราคมที่อยู่ไกลที่สุดออกไป เอายอดขายจริงของเดือนเมษายนเข้าแทนที่ แล้วคำนวณค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ซึ่งเป็นค่าพยากรณ์ของเดือนพฤษภาคมต่อไป

จำนวนข้อมูลที่ใช้ อาจเป็นจำนวนที่หาค่าเฉลี่ยได้ ถ้ายอดขายมีลักษณะค่อนข้างคงที่ (Stability) ก็ควรใช้ข้อมูลจำนวนมากหาค่าเฉลี่ยจึงจะได้ค่าพยากรณ์ที่ใกล้เคียงค่าจริงมากกว่า แต่ถ้ายอดขายมีความเปลี่ยนแปลงในช่วงสั้นๆ (Responsiveness) จะควรใช้ข้อมูลจำนวนน้อยหาค่าเฉลี่ยจึงจะได้ค่าพยากรณ์ที่ใกล้เคียงค่าจริงมากกว่า และถ้าหาค่าเฉลี่ย 12 เดือนจะขจัดอิทธิพลของฤดูกาลออกไปได้

อย่างไรก็ดี ข้อมูลที่อยู่ในช่วงไกลเวลาที่ต้องการพยากรณ์มักจะมีอิทธิพลกับค่าพยากรณ์มากกว่าข้อมูลที่อยู่ไกลออกไป จึงมีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted Moving Average) ดังนี้

$$\text{ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก} = \frac{W_{t-1}A_{t-1} + W_{t-2}A_{t-2} + \dots + W_{t-n}A_{t-n}}{\sum W}$$

น้ำหนักของช่วงเวลาที่ใกล้ค่าพยากรณ์จะมากกว่าน้ำหนักของช่วงเวลาที่ไกล

3. การปรับเรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล (Exponential Smoothing) เป็นการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนักที่จัดค่าพยากรณ์ออกมาในรูปการใช้สมการคำนวณ ซึ่งจะใช้ค่าข้อมูลเริ่มต้นค่าเดียวและถ่วงน้ำหนักโดยใช้สัมประสิทธิ์เชิงเรขาคณิต (α) ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1.00

$$\begin{aligned} \text{ค่าเฉลี่ยเอ็กซ์โปเนนเชียล (F}_t\text{)} &= F_{t-1} + \alpha (A_{t-1} - F_{t-1}) \quad \text{หรือ} \\ &= \alpha A_{t-1} + (1 - \alpha)F_{t-1} \end{aligned}$$

โดยที่ F_{t-1} เป็นค่าพยากรณ์ในช่วงเวลาก่อนการพยากรณ์ 1 ช่วง
 A_{t-1} เป็นค่าจริงในช่วงเวลาก่อนการพยากรณ์ 1 ช่วง

ความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์

ความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ (Forecast Errors) หมายถึง ความแตกต่างระหว่างค่าที่เกิดขึ้นจริงกับค่าที่ได้จากการพยากรณ์ การวัดค่าความคลาดเคลื่อนจะใช้สัมประสิทธิ์ต่าง ๆ หรือจำนวนข้อมูลต่าง ๆ โดยพิจารณาค่าที่ใกล้เคียงกับค่าพยากรณ์มากที่สุด ค่าความคลาดเคลื่อนที่น้อย

ที่สุด ย่อมเป็นค่าที่เหมาะสม ที่จะใช้พยากรณ์ให้แม่นยำ ดังนั้นหากต้องการหาค่าความแม่นยำของวิธีการพยากรณ์แต่ละวิธีสามารถเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ได้โดยสามารถคำนวณค่าเบี่ยงเบนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Deviation, MAD) ค่าผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error, MSE) และเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percent Error, MAPE) ดังนี้ (รัชย์ชนก จันทร์หอม, 2562)

ค่าเบี่ยงเบนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAD)

$$MAD = \frac{\sum |ค่าจริง - ค่าพยากรณ์|}{n}$$

**ค่า MAD ยิ่งน้อย ค่าพยากรณ์ยิ่งแม่นยำ

ค่าผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (MSE)

$$MSE = \frac{\sum (ค่าจริง - ค่าพยากรณ์)^2}{n}$$

**ค่า MSE ยิ่งน้อย ค่าพยากรณ์ยิ่งแม่นยำ

เปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE)

$$MAPE = \frac{\sum (ค่าจริง - ค่าพยากรณ์ * 100) / ค่าจริง}{n}$$

**ค่า MAPE ยิ่งน้อย ค่าพยากรณ์ยิ่งแม่นยำ

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พัศดาว คำขอดใจ (2566) วิจัยเรื่อง การพยากรณ์ยอดขายรถยนต์ใหม่รายเดือนของประเทศไทย ด้วยแบบจำลอง ทศอนุกรมเวลาและข้อมูล Google Trend งานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อหาแบบจำลองอนุกรม เวลาและตัวแปรอธิบายที่เหมาะสม สำหรับการพยากรณ์ยอดขายรถยนต์ใหม่รายเดือนของประเทศไทย ด้วยแบบจำลอง Autoregressive Integrated Moving Average with Explanatory Variable (ARIMAX) และ Vector Autoregressive Model (VAR) ในการพยากรณ์ตัวแปรภายนอกที่ใช้ช่วย พยากรณ์ได้แก่ ตัวแปรทาง เศรษฐกิจ ตัวแปรทางการเงิน และดัชนีการค้นหาคำที่เป็นข้อชี้ห้รถยนต์และ คำที่เกี่ยวข้องกับ กิจกรรมการซื้อรถยนต์ใหม่จากเว็บไซต์ Google Trend ซึ่งทั้งหมดถูกนำมาลดจำนวนตัว แปรด้วยวิธี Principle Component Analysis ในการสร้างเป็นดัชนีตัวแปรกลุ่ม ได้แก่ กลุ่มตัวแปรทาง เศรษฐกิจ (E1) กลุ่มตัวแปรทางการเงิน (F1) และกลุ่มตัวแปร Google Trend ยี่ห้อรถยนต์ (G1) และกลุ่ม ตัว แปร Google Trend คำที่เกี่ยวกับการซื้อรถยนต์ (G2) แล้วจึงนำมาสร้างแบบจำลองอนุกรมเวลาที่ เหมาะสม จากนั้นได้ทำการเปรียบเทียบค่าความแม่นยำด้วยวิธีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ เฉลี่ย (MAPE) และค่าร้อยละรากที่สอง

ของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSPE) เพื่อพิจารณาว่าตัว แบบพยากรณ์ใดที่ให้ค่าพยากรณ์แม่นยำที่สุด

ชั้นัษนก จันทรหอม (2562) ทำการศึกษาเรื่องการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลา เพื่อกำหนดการสั่งซื้อที่ประหยัดที่สุด ของโรงงานผลิตยางชิลิโคนแห่งหนึ่ง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อ ศึกษารูปแบบการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลา (Time Series Forecasting) ของวัสดุคงคลังประเภทวัสดุสิ้นเปลือง (Consumptions) และเสนอแนวทางการจัดการวัสดุคงคลัง ด้วยวิธีการสั่งซื้อที่ประหยัดที่สุด (Economic Order Quantity) และสินค้าที่ปลอดภัย (Safety Stock) ที่เหมาะสม การศึกษาเริ่มต้นจากการรวบรวมข้อมูลยอดขายสินค้า K ระหว่างปี2017-2019 โดยการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ฝ่ายการตลาดจำนวน 3 ท่าน ศึกษาจากเอกสารยอดขาย และสังเกตรูปแบบการขายสินค้า เพื่อนำข้อมูลวัสดุที่ใช้ในการผลิตมาจำแนกตามหลัก ABC Analysis จากผลการวิเคราะห์ผู้วิจัยเลือกศึกษาวัสดุกลุ่ม A โดยสร้างรูปแบบการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลา รวมถึงศึกษาปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด สุดท้ายเป็นการและศึกษาหาปริมาณวัสดุขั้นต่ำ เพื่อนำผลที่ได้จากการพยากรณ์สินค้าขาย มาคำนวณหาสินค้าที่ปลอดภัย และวัสดุที่ต้องใช้ในการผลิตสินค้าที่เหมาะสมจากผลการศึกษา พบว่า การพยากรณ์แบบอนุกรมเวลาแบบการปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลที่ $\alpha = 0.1$ ได้ผลการพยากรณ์ที่แม่นยำและเกิดความผิดพลาดน้อยที่สุด โดย ค่า $MAD = 55,745.43$ และค่า $MAPE = 17.83\%$ และการใช้ปริมาณสินค้าที่ปลอดภัย (Safety Stock) และปริมาณ สั่งซื้อที่ประหยัดที่สุด (Economic Order Quantity) ทำให้สามารถลดต้นทุนวัตถุดิบคงคลังได้

ขั้นตอนการพยากรณ์

1. ศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการพยากรณ์
2. ศึกษาแนวทางการดำเนินงานและกำหนดขอบเขตการแก้ปัญหา
3. การศึกษาเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ตัวแบบในการพยากรณ์ในขั้นตอนการดำเนินงานครั้งนี้ จะเน้นและให้ความสำคัญกับการวิเคราะห์รูปแบบการพยากรณ์ที่ให้ความผิดพลาด น้อยที่สุด เพื่อเป็นข้อมูลในการตัดสินใจในการใช้ตัวแบบใดในการพยากรณ์ที่มีค่าความแม่นยำมากที่สุด ซึ่งการดำเนินงานครั้งนี้มี ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับทฤษฎีต่างๆ ด้วยวิธีการพยากรณ์อย่างง่าย การหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ 3 เดือน และการปรับเรียบแบบเอ็กโปเนนเชียล) พิกพ ผลิตการณ์, 2549)

4. การวิเคราะห์ข้อมูลและแปรผล โดยวิธีวิเคราะห์อนุกรมเวลา

4.1 การพยากรณ์อย่างง่าย

4.2 การหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ 3 เดือน

4.3 การปรับเรียบแบบเอ็กโปเนนเชียล

5. หาค่าความแม่นยำของการพยากรณ์แต่ละวิธี ด้วยวิธี MAD MSE และ MAPE

6. การพยากรณ์ล่วงหน้าด้วยวิธีการ Forecast Sheet

จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่า เทคนิคการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลาได้รับความนิยมในการพยากรณ์ยอดขายสินค้า และการวางแผนสินค้าคงคลังโดยเฉพาะวิธีการปรับเรียบเอ็กโปแนนเชียล ซึ่งสามารถลดค่าความคลาดเคลื่อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม รูปแบบข้อมูลและลักษณะผลิตภัณฑ์อาจส่งผลกระทบต่อความเหมาะสมของวิธีการพยากรณ์ที่เลือกใช้

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล การพยากรณ์ยอดขายทุเรียนทอดกรอบด้วยวิธีอนุกรมเวลา

ส่วนที่ 1 การพยากรณ์ยอดขายด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย การหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนัก และการปรับเรียบแบบเอ็กโปแนนเชียล ($\alpha = 0.1$ และ $\alpha = 0.5$) ปี พ.ศ. 2566-2568

ตารางที่ 1 ข้อมูลการพยากรณ์ยอดขายทุเรียนทอดกรอบด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย การหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนัก และการปรับเรียบแบบเอ็กโปแนนเชียล ปี พ.ศ. 2566

เดือน	ขายจริง (ร้อยละ)	ค่าพยากรณ์ ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ อย่างง่าย	ค่าพยากรณ์ ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ แบบถ่วงน้ำหนัก	แบบเอ็กโปแนนเชียล	
				$\alpha=0.1$	$\alpha=0.5$
มกราคม	425			425.00	425.00
กุมภาพันธ์	308			425.00	425.00
มีนาคม	500.5			413.30	366.50
เมษายน	325	411.17	424.14	422.02	433.50
พฤษภาคม	460.8	377.83	380.03	412.32	379.25
มิถุนายน	209.9	428.77	422.74	417.17	420.03
กรกฎาคม	350	331.90	312.26	396.44	314.96
สิงหาคม	480	340.23	322.60	391.80	332.48
กันยายน	541	346.63	391.18	400.62	406.24
ตุลาคม	670.5	457.00	488.40	414.65	473.62
พฤศจิกายน	505	563.83	<u>595.38</u>	440.24	<u>572.06</u>
ธันวาคม	325.2	<u>572.17</u>	565.74	<u>446.72</u>	538.53

จากตารางที่ 1 พบว่า ข้อมูลการพยากรณ์ยอดขายทุเรียนทอดกรอบ พ.ศ. 2566 ด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย เดือนที่มียอดขายมากที่สุดคือ เดือนธันวาคม เท่ากับ 572.17 ร้อยบาท วิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนัก เดือนที่มียอดขายมากที่สุดคือ เดือนพฤศจิกายน เท่ากับ 595.38 ร้อยบาท และวิธีการปรับเรียบแบบเอ็กโปแนนเชียลที่ $\alpha=0.1$ เดือนที่มียอดขายมากที่สุดคือ

เดือนธันวาคม เท่ากับ 446.72 ร้อยบาท วิธีการปรับเรียบแบบเอ็กโปแนนเชียลที่ $\alpha=0.5$ เดือนที่มียอดขายมากที่สุดคือ เดือนพฤศจิกายน เท่ากับ 572.06 ร้อยบาท

จากผลการพยากรณ์ พบว่า ยอดขายมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงปลาย โดยเฉพาะไตรมาสที่ 4 ซึ่งอาจสะท้อนลักษณะความต้องการของฤดูกาลของผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 2 ข้อมูลการพยากรณ์ยอดขายทุเรียนทอดกรอบด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย การหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนัก และการปรับเรียบแบบเอ็กโปแนนเชียล ปี พ.ศ. 2567

เดือน	ขายจริง (ร้อยละ)	ค่าพยากรณ์ ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ อย่างง่าย	ค่าพยากรณ์ ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ แบบถ่วงน้ำหนัก	แบบเอ็กโปแนนเชียล	
				$\alpha=0.1$	$\alpha=0.5$
มกราคม	604	500.23	443.24	434.56	431.87
กุมภาพันธ์	500.6	478.07	495.17	451.51	517.93
มีนาคม	541	476.60	504.90	456.42	509.27
เมษายน	490	548.53	538.38	464.87	525.13
พฤษภาคม	520	510.53	508.63	467.39	507.57
มิถุนายน	309	517.00	513.67	472.65	513.78
กรกฎาคม	394	439.67	409.40	456.28	411.39
สิงหาคม	405	407.67	387.37	450.06	402.70
กันยายน	652	369.33	385.05	445.55	403.85
ตุลาคม	780.5	483.67	526.63	466.19	527.92
พฤศจิกายน	660	612.50	674.26	497.63	654.21
ธันวาคม	750.9	<u>697.50</u>	<u>698.41</u>	<u>513.86</u>	<u>657.11</u>

จากตารางที่ 2 พบว่า ข้อมูลการพยากรณ์ยอดขายทุเรียนทอดกรอบปี พ.ศ. 2567 ด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย เดือนที่มียอดขายมากที่สุดคือ เดือนธันวาคมเท่ากับ 697.50 ร้อยบาท วิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนัก เดือนที่มียอดขายมากที่สุดคือ เดือนธันวาคมเท่ากับ 698.41 ร้อยบาทและวิธีการปรับเรียบแบบเอ็กโปแนนเชียลที่ $\alpha=0.1$ เดือนที่มียอดขายมากที่สุดคือ เดือนธันวาคม เท่ากับ 513.86 ร้อยบาท วิธีการปรับเรียบแบบเอ็กโปแนนเชียลที่ $\alpha=0.5$ เดือนที่มียอดขายมากที่สุดคือ เดือนธันวาคม เท่ากับ 657.11 ร้อยบาท

ตารางที่ 3 ข้อมูลการพยากรณ์ยอดขายทุเรียนทอดกรอบด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย การหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนัก และการปรับเรียบแบบเอ็กโปเนนเชียล ปี พ.ศ. 2568

เดือน	ขายจริง (ร้อยละ)	ค่าพยากรณ์ ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ อย่างง่าย	ค่าพยากรณ์ ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ แบบถ่วงน้ำหนัก	แบบเอ็กโปเนนเชียล	
				$\alpha=0.1$	$\alpha=0.5$
มกราคม	797	730.47	725.94	537.57	704.00
กุมภาพันธ์	690.4	735.97	758.50	563.51	750.50
มีนาคม	653	746.10	735.86	576.20	720.45
เมษายน	594	713.47	689.82	583.88	686.73
พฤษภาคม	678	645.80	629.86	584.89	640.36
มิถุนายน	508	641.67	646.03	594.20	659.18
กรกฎาคม	500.9	593.33	578.72	585.58	583.59
สิงหาคม	566	562.30	533.35	577.11	542.25
กันยายน	702	524.97	534.66	576.00	554.12
ตุลาคม	990	589.63	622.93	588.60	628.06
พฤศจิกายน	714	752.67	<u>822.88</u>	628.74	<u>809.03</u>
ธันวาคม	614.95	<u>802.00</u>	803.04	<u>637.27</u>	761.52

จากตารางที่ 3 พบว่า ข้อมูลการพยากรณ์ยอดขายทุเรียนทอดกรอบปี พ.ศ. 2568 ด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย ที่มากที่สุดคือเดือนธันวาคมเท่ากับ 802.00 ร้อยบาท การหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนัก ที่มากที่สุดคือเดือนพฤศจิกายนเท่ากับ 822.88 ร้อยบาท และการปรับเรียบแบบเอ็กโปเนนเชียลที่ $\alpha = 0.1$ มากที่สุดคือเดือนธันวาคมเท่ากับ 637.27 ร้อยบาท การปรับเรียบแบบเอ็กโปเนนเชียลที่ $\alpha = 0.5$ มากที่สุดคือเดือนพฤศจิกายนเท่ากับ 809.03 ร้อยบาท

ส่วนที่ 2 เปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ด้วยวิธี MAD, MSE และ MAPE เพื่อคัดเลือกวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุด

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ด้วยวิธี MAD, MSE และ MAPE ปี พ.ศ. 2566-2568

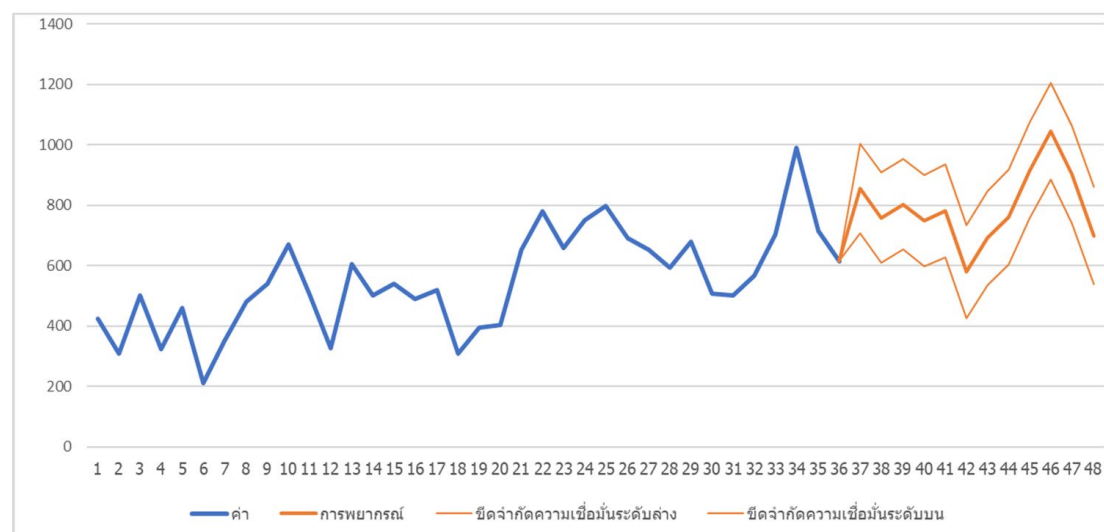
ค่าความคลาด เคลื่อน	ค่าพยากรณ์ ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ อย่างง่าย	ค่าพยากรณ์ ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ แบบถ่วงน้ำหนัก	แบบเอ็กโปเนนเชียล	
			$\alpha=0.1$	$\alpha=0.5$
MAD	116.51	114.66	120.84	111.41
MSE	22,797.64	20,740.60	22,456.17	19,239.31
MAPE	23.09	22.82	23.01	22.55

จากตารางที่ 4 พบว่า การพยากรณ์ด้วยวิธีการปรับเรียบแบบเอ็กโปเนนเชียลที่ $\alpha=0.5$ ให้ค่าความคลาดเคลื่อนด้วยวิธี MAD MSE และ MAPE น้อยที่สุด แสดงว่าการพยากรณ์ด้วยแบบเอ็กโปเนนเชียลที่ $\alpha=0.5$ มีค่าความแม่นยำมากที่สุด

ผลการวิเคราะห์ยังแสดงให้เห็นว่าข้อมูลยอดขายมีความผันผวนค่อนข้างสูง ซึ่งส่งผลให้วิธีการพยากรณ์ที่ให้น้ำหนักกับข้อมูลล่าสุด เช่น วิธีการปรับเรียบเอ็กโปเนนเชียล สามารถสนองต่อแนวโน้มยอดขายได้ดีกว่าวิธีอื่น

ส่วนที่ 3 การพยากรณ์ล่วงหน้าด้วยวิธีการ Forecast Sheet

กราฟที่ 1 พยากรณ์ยอดขายในอนาคตโดยใช้เครื่องมือ Forecast Sheet 12 เดือน



กราฟที่ 1 กราฟมีแนวโน้มและพยากรณ์ค่าในอนาคต โดยข้อมูลถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนหลักอย่างชัดเจน ส่วนแรกคือ ข้อมูลจริง (Actual Data) ในช่วงลำดับที่ 1 ถึง 36 (เส้นสีน้ำเงิน) ซึ่งมีลักษณะความผันผวนค่อนข้างสูงแต่มีทิศทางขยายตัวขึ้นในภาพรวม (Upward Trend)

แนวโน้มดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่า ผู้ประกอบการควรเตรียมความพร้อมด้านการวางแผนการผลิต และการบริหารสินค้าคงคลังให้สอดคล้องกับความผันผวนของยอดขายในอนาคต เพื่อลดความเสี่ยงจากการผลิตไม่เพียงพอ หรือสินค้าคงคลังส่วนเกิน

สำหรับส่วนที่สองคือ การพยากรณ์โดยคาดว่าในอนาคตข้อมูลจะยังคงมีความผันผวนต่อเนื่องและมีโอกาสขยับตัวขึ้นไปทำจุดสูงสุดใหม่ที่สูงกว่าอดีต ความน่าเชื่อถือของการพยากรณ์ได้แสดงผ่าน ช่วงความเชื่อมั่น ในเส้นสีส้มบางทั้งขอบบนและขอบล่าง ช่วงความเชื่อมั่นสะท้อนระดับความไม่แน่นอนของการพยากรณ์ ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในอนาคต เพื่อให้ผู้วิจัยสามารถนำไปใช้ประเมินความเสี่ยงและวางแผนเชิงกลยุทธ์ได้อย่างแม่นยำยิ่งขึ้น

การอภิปรายผล

จากผลการศึกษาการวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมเวลาเพื่อพยากรณ์ยอดขายทุเรียนทอดกรอบพบว่าข้อมูลยอดขายมีความผันผวนสูงแต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะช่วงปลายปี (ตุลาคม) ซึ่งสะท้อนลักษณะ (ธันวาคม-ฤดูหนาว) seasonality) ที่ชัดเจน สอดคล้องกับแนวคิดของการวิเคราะห์อนุกรมเวลาที่ระบุว่าข้อมูลยอดขายสินค้าอุปโภคบริโภคมักมีรูปแบบทั้งแนวโน้ม (trend) และฤดูกาลร่วมกัน

ผลการเปรียบเทียบวิธีพยากรณ์ทั้ง 4 วิธี พบว่า วิธีการปรับเรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล (Exponential Smoothing) ที่ค่า $\alpha = 0.5$ ให้ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด (MAD, MSE, MAPE) แสดงให้เห็นว่าโมเดลที่ให้น้ำหนักกับข้อมูลล่าสุดมากกว่าจะสามารถตอบสนองต่อความผันผวนของยอดขายได้ดีกว่า ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ Holt (2004) ที่อธิบายว่าการปรับเรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลเหมาะกับข้อมูลที่มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ในส่วนการพยากรณ์ล่วงหน้าพบว่า แนวโน้มยอดขายยังคงเพิ่มขึ้น และลดลงเป็นช่วงๆ แสดงถึงความไม่แน่นอนของข้อมูลในอนาคต ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ Box & Jenkins (1976) ที่ชี้ให้เห็นว่าการพยากรณ์ระยะยาวจะมีความไม่แน่นอนสูงขึ้นตามระยะเวลา ซึ่งอาจวิเคราะห์ได้ว่าการที่ยอดขายมีความผันผวน ทำให้การใช้ข้อมูลในอดีตเพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอ จำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยภายนอก เช่น พฤติกรรมผู้บริโภค เศรษฐกิจ และฤดูกาล ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Fildes et al. (2008) ที่เน้นว่าการพยากรณ์ที่มีประสิทธิภาพควรผสมผสานข้อมูลเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพร่วมกัน

ผลการศึกษา สามารถใช้เป็นแนวทางในการสนับสนุนการตัดสินใจด้านการผลิต การบริหารสินค้าคงคลัง และการวางแผนการตลาดผู้ประกอบการ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่มียอดขายผันผวนตามฤดูกาล

บทสรุป

การประยุกต์ใช้เทคนิคการพยากรณ์ยอดขายทุเรียนทอดกรอบด้วยวิธีอนุกรมเวลา บริษัท ภูมิศึกษา ตำบลคลองตันหยง อำเภอหนองจิก จังหวัดปัตตานี มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการประยุกต์ใช้เทคนิคการพยากรณ์ยอดขายทุเรียนทอดกรอบ โดยวิธีวิเคราะห์อนุกรมเวลา (การหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย การหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนัก และการปรับเรียบแบบเอ็กซ์

โปแนนเซียล) ศึกษาค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ด้วยวิธี MAD MSE และ MAPE และการพยากรณ์ล่วงหน้าด้วยวิธีการ Forecast Sheet ผลการศึกษาพบว่า การพยากรณ์ยอดขาย ด้วยวิธีเปรียบเทียบอีกโปแนนเซียลที่ $\alpha=0.5$ ให้ค่าความคลาดเคลื่อนด้วยวิธี MAD MSE และ MAPE น้อยที่สุด แสดงว่าการพยากรณ์ด้วยแบบอีกโปแนนเซียลที่ $\alpha=0.5$ มีค่าความแม่นยำมากที่สุด ซึ่งผลการศึกษาครั้งนี้สามารถนำไปเป็นแนวทางในการพยากรณ์ยอดขายหรือพยากรณ์ต้นทุนขายในการผลิตสินค้าอื่นๆ ได้ เช่น การพยากรณ์ยอดขายสินค้า (หัสยา วงศ์วัน, 2568) การพยากรณ์ยอดขายคอนกรีตผสมเสร็จ (กมลพรรณ แจ่มแจ้ง และเชดต์ เลิศวิวัฒนพงษ์, 2565)

ผลการวิจัยสะท้อนให้เห็นว่า เทคนิคการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลาสามารถช่วยสนับสนุนการตัดสินใจเชิงธุรกิจของผู้ประกอบการ SMEs ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะการวางแผนการผลิต และการบริหารสินค้าคงคลังที่มีภาวะที่ยอดขายมีความผันผวน

บรรณานุกรม

- กมลพรรณ แจ่มแจ้ง, และเชดต์ เลิศวิวัฒนพงษ์. (2565). การพยากรณ์ยอดขายคอนกรีตผสมเสร็จกรณีศึกษา: ห้างหุ้นส่วนจำกัด ส.ทรัพย์เจริญ คอนกรีต. *วารสารเศรษฐศาสตร์และนโยบายสาธารณะ*, 13(26), 45–59.
- ทัศนาว ค่ายอดใจ. (2566). การพยากรณ์ยอดขายรถยนต์ใหม่รายเดือนของประเทศไทยด้วยแบบจำลองอนุกรมเวลาและข้อมูล Google Trend (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ธัญชนก จันทร์หอม. (2562). การพยากรณ์แบบอนุกรมเวลาเพื่อกำหนดการสั่งซื้อที่ประหยัดที่สุดของโรงงานผลิตยางซีลโคนแห่งหนึ่ง (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). มหาวิทยาลัยศิลปากร, กรุงเทพฯ.
- พิภพ สถิตาภรณ์. (2556). *การวางแผนและควบคุมการผลิต*. กรุงเทพฯ: บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน).
- หัสยา วงศ์วัน. (2568). การพยากรณ์ยอดขายสินค้าโดยใช้วิธีการทางสถิติ กรณีศึกษา หมูยอป่าปี อำเภอมือง จังหวัดลำปาง. *วารสารบริหารธุรกิจเทคโนโลยีมหานคร*, 22(2), 115–134.
- Box, G. E., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C., & Ljung, G. M. (2015). *Time series analysis: Forecasting and control* (5th ed.). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Fildes, R., Goodwin, P., Lawrence, M., & Nikolopoulos, K. (2009). Effective forecasting and judgmental adjustments: An empirical evaluation and strategies for improvement in supply-chain planning. *International Journal of Forecasting*, 25(1), 3–23.
- Holt, C. C. (2004). Forecasting seasonals and trends by exponentially weighted moving averages. *International Journal of Forecasting*, 20(1), 5–10.

Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2018). *Forecasting: Principles and practice* (2nd ed.). Melbourne, Australia: OTexts.

Vishwanath, A., Basheeruddin, M., & Saveetha, D. (2024). Forecasting sales data using time series models and LSTM model. In *2024 Second International Conference on Advances in Information Technology (ICAIT)*.

Wheelwright, S., Makridakis, S., & Hyndman, R. J. (1998). *Forecasting: Methods and applications* (3rd ed.). New York, NY: John Wiley & Sons.