

การอบแห้งหญ้าปักกิ่งด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด Murdannia Lorifomis Drying Using Infrared-vacuum Technique

ศักดิ์ชัย จงจำ และ อำไพศักดิ์ ทีบุญญา

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการอบแห้งหญ้าปักกิ่งด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด และหาสมการการอบแห้งชั้นบางที่เหมาะสมสำหรับทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้งหญ้าปักกิ่ง โดยทำการทดลองอบแห้งภายใต้เงื่อนไขที่ ความดันสัมบูรณ์ 5, 10 และ 15 กิโลปาสคาล และอุณหภูมิอบแห้ง 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งมีพารามิเตอร์ที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการศึกษา ได้แก่ อัตราส่วนความชื้น อัตราการอบแห้ง และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ผลจากการศึกษาพบว่า เมื่อลดความดันสัมบูรณ์และเพิ่มอุณหภูมิอบแห้ง จะทำให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งลดลง นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์สมการอบแห้งชั้นบาง พบว่า สมการของ Modified Henderson and Pabis สามารถทำนายผลการอบแห้งหญ้าปักกิ่งด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดได้ดีที่สุด โดยให้ค่า R^2 (0.99377) มากที่สุด และ RMSE (0.02422) น้อยที่สุด

คำสำคัญ : การอบแห้งสมุนไพร การอบแห้งสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด สมการอบแห้งชั้นบาง อัตราการอบแห้ง

Abstract

The objectives of this research were to study Murdannia lorifomis drying using infrared-vacuum technique and to find out the appropriate thin layer equation for predicting the drying kinetic of Murdannia lorifomis. To achieve these purposes, experiments were conducted on the following conditions: absolute pressures in drying chamber of 5, 10, 15 kPa and drying temperatures of 40, 50, 60°C. In this work, effects of drying conditions on moisture ratio, drying rate and specific energy consumption were investigated. From experimental results, it was revealed that increment of drying temperature or decrement of absolute pressure in drying chamber result in high drying rate and low specific energy consumption. Furthermore, it was found that the suitable thin layer equation to predict the drying kinetic of Murdannia lorifomis providing the highest coefficient of determination (R^2 , 0.99377) and the lowest root mean square error (RMSE, 0.02422) is Modified Henderson and Pabis equation.

Keywords: Drying rate, Herb drying, Infrared-vacuum drying, Thin layer equation

1. บทนำ

สมุนไพร ถูกใช้เป็นยารักษาโรคมาตั้งแต่สมัยโบราณ ซึ่งถือว่าเป็นมรดกทางภูมิปัญญาที่ทรงคุณค่ายิ่งของไทย หญ้าปักกิ่ง (Murdannia lorifomis) เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวที่อยู่ในวงศ์ Commelinaceae ในประเทศจีน พบว่ามีการใช้หญ้าปักกิ่งรักษาอาการเกี่ยวกับโรคในระบบทางเดินหายใจ (นันทวัน, 2539) ในประเทศไทย ผู้ป่วยมะเร็งได้ใช้น้ำคั้นจากหญ้าปักกิ่งมาดื่ม เพื่อรักษาและบรรเทาอาการ

ของโรค บางรายใช้หญ้าปักกิ่งรักษาโรคร่วมกับยาแพทย์แผนปัจจุบัน เพื่อช่วยลดผลข้างเคียง ผู้ป่วยมะเร็งที่ได้ใช้หญ้าปักกิ่งรักษาตนเองได้แก่ ผู้ป่วยมะเร็งปอด มะเร็งกระเพาะอาหาร มะเร็งมดลูก มะเร็งปากมดลูก มะเร็งโพรงจมูก มะเร็งตับ มะเร็งเต้านม มะเร็งม้าม มะเร็งลำไส้ใหญ่ มะเร็งกระเพาะปัสสาวะ มะเร็งต่อมไทรอยด์ มะเร็งกระดูก เนื้ออกในสมอง และมะเร็งเม็ดเลือดขาว (วีณา, 2542) ปัจจุบัน หญ้าปักกิ่งถูกนำมาแปรรูปเพื่อจุดประสงค์ทาง

การค้ำ โดยถูกนำมาแปรสภาพด้วยกระบวนการที่เหมาะสมเพื่อให้ง่ายต่อการเก็บรักษาและการใช้ประโยชน์ในรูปของแคปซูลหรือยาขงสมุนไพร

การอบแห้งเป็นกระบวนการลดความชื้นเพื่อแปรสภาพยาสมุนไพรที่มีความสำคัญ ซึ่งเทคโนโลยีการอบแห้งมีหลากหลาย ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้งาน โดยคำนึงถึงลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ ระยะเวลาการอบแห้ง คุณภาพของผลิตภัณฑ์ และพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งซึ่งถือว่ามีค่าสำคัญ เนื่องจากเป็นตัวแปรสำคัญด้านต้นทุนการผลิต การอบแห้งด้วยสุญญากาศเป็นกระบวนการลดความชื้นในขณะอบแห้ง เพื่อช่วยให้น้ำในเนื้อผลิตภัณฑ์เกิดการระเหยที่อุณหภูมิต่ำ ช่วยลดพลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง (Jaya and Das, 2003) อย่างไรก็ตาม การอบแห้งด้วยสุญญากาศถึงแม้ว่าในผลิตภัณฑ์จะสามารถระเหยที่อุณหภูมิต่ำ แต่ในทางปฏิบัติเพื่อลดระยะเวลาการอบแห้งก็ยังจำเป็นต้องใช้แหล่งผลิตความร้อนเช่นเดิม

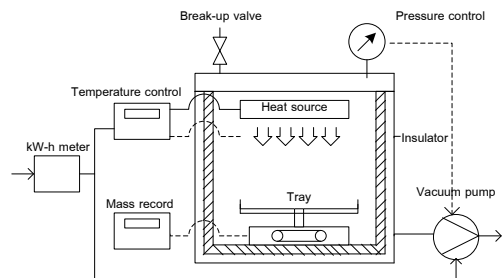
การนำรังสีอินฟราเรดมาเป็นแหล่งผลิตความร้อนให้กับเครื่องอบแห้งกำลังเป็นที่นิยม เนื่องจากรังสีอินฟราเรดสามารถแผ่ทะลุเข้าไปในเนื้อวัสดุ ส่งผลให้โมเลกุลของน้ำในเนื้อวัสดุสั่นและเกิดความร้อน ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่ผิว ทำให้ผิวภายนอกวัสดุอบแห้งไม่เหี่ยวแห้ง และยังคงสมบัติของผลิตภัณฑ์ไว้ใกล้เคียงกับวัตถุดิบที่นำมาอบแห้ง (Glouannec et al, 2002; Nourhene et al, 2009) นอกจากนี้ รังสีอินฟราเรดยังสามารถให้ความร้อนได้อย่างรวดเร็ว มีการกระจายของรังสีความร้อนอย่างสม่ำเสมอ ติดตั้งง่าย ประหยัดพลังงาน และลดระยะเวลาในการอบแห้ง (Vogt, 2007; Chua and Chou, 2003) จากข้อได้เปรียบดังกล่าว จึงมีแนวคิดที่จะนำรังสีอินฟราเรดมาเป็นแหล่งให้ความร้อนในการอบแห้งร่วมกับสุญญากาศ เพื่อศึกษาพฤติกรรมการอบแห้ง ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ และหาสมการอบแห้งชั้นบางที่เหมาะสม สำหรับทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้งหมัญ้ากั้ง

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 อุปกรณ์การทดลอง

ภาพที่ 1 แสดงรายละเอียดชุดทดลอง ซึ่งประกอบด้วย ห้องอบแห้งทรงกระบอก ขนาดระดับห้องปฏิบัติการ เส้นผ่านศูนย์กลาง 32 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร อุปกรณ์ให้ความร้อนแก่ระบบติดตั้งอยู่บน

ของห้องอบแห้งโดยใช้หลอดรังสีอินฟราเรด (Infrapara, รุ่น D1-500 ขนาด 500 วัตต์) ใช้หัววัดอุณหภูมิ ชนิด K และอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ (HANYOUNG รุ่น DF4) ในการควบคุมอุณหภูมิอบแห้ง ภาควางผลิตภัณฑ์อยู่ด้านล่างของห้องอบแห้ง ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ให้ความร้อนและภาคว่างกับ 15 เซนติเมตร ซึ่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์ขณะอบแห้งโดยใช้โหลดเซลล์ (TRANSCCELL รุ่น FAD-5) พร้อมชุดบันทึกข้อมูล ทำภาวะสุญญากาศในห้องอบแห้งด้วยปั๊มสุญญากาศ (VACVA, double stage pump, 150 ลิตร/นาที ขนาด 550 วัตต์) โดยใช้อุปกรณ์วัดและควบคุมความดัน (COPAL ELECTRONICS รุ่น PG-30) วัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าโดยใช้กิโลวัตต์เออร์ มิเตอร์ (Mitsubishi Electric ความละเอียด 0.01 kWh)



ภาพที่ 1 ชุดทดลอง

2.2 วิธีการทดลอง

ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ศึกษาในงานวิจัยนี้คือ หมัญ้ากั้ง (Murdannia loriformis) โดยนำส่วนใบของหมัญ้ากั้ง มาล้างด้วยน้ำสะอาด ตัดให้ได้ขนาดความยาว 1 เซนติเมตร ทำการอบแห้งที่ความชื้นเริ่มต้นประมาณ 1200 % d.b. อบจนกระทั่งน้ำหนักของหมัญ้ากั้งคงที่ โดยมีเงื่อนไขในการอบแห้งคือ ความชื้นสัมบูรณ์ 5, 10 และ 15 กิโลปาสกาล อุณหภูมิอบแห้งที่ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส และกำหนดระยะห่างระหว่างแหล่งความร้อนถึงผลิตภัณฑ์เท่ากับ 15 เซนติเมตร ทำการบันทึกข้อมูลน้ำหนัก และอุณหภูมิอบแห้งทุกๆ 1 นาที โดยใช้ Data logger

2.3 การวิเคราะห์ผล

การวิเคราะห์ผลการทดลองในงานวิจัยนี้ ทำการวิเคราะห์ผลในช่วงความชื้นเริ่มต้นประมาณ 1200% d.b. จนกระทั่งความชื้นสุดท้ายเหลือประมาณ 10 % d.b. โดยความชื้น (Moisture content, MC) ของผลิตภัณฑ์คำนวณจากสมการที่ (1)

$$MC = \frac{W_t - W_d}{W_d} \times 100\%$$

(1)

เมื่อ W_t คือ น้ำหนักแห้งที่เวลาที่ใด ๆ, g W_d คือ น้ำหนักแห้งของแห้งที่เวลาที่ใด ๆ, g

การศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งของแห้งที่แห้งกึ่ง ศึกษาในรูปของอัตราส่วนความชื้น (Moisture ratio, MR) โดยคำนวณจากสมการที่ (2)

$$MR = \frac{M_t - M_{eq}}{M_{in} - M_{eq}}$$

(2)

เมื่อ M_{in} คือ ความชื้นเริ่มต้น, % d.b. M_t คือ ความชื้นที่เวลาที่ใด ๆ, % d.b. M_{eq} คือ ความชื้นสมดุล, % d.b.

การคำนวณค่าอัตราส่วนความชื้นในงานวิจัยนี้ เป็นการคำนวณค่าโดยประมาณ คือ ไม่คิดค่าความชื้นสมดุล โดยตั้งสมมติฐานว่า ความชื้นสมดุลมีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับค่าความชื้นเริ่มต้น

ในส่วนของการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบอบแห้ง ได้กำหนดพารามิเตอร์เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการศึกษาเปรียบเทียบดังนี้

1) อัตราการอบแห้ง (Drying rate, DR) คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นต่อหน่วยเวลา ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (3) (Kar and Gupta, 2003)

$$DR = \frac{M_0 - M_T}{T}$$

(3)

ตารางที่ 1 รูปแบบสมการการอบแห้งชั้นบาง

No.	Model equation	Name of model	References
1	$MR = \exp(-kt)$	Newton	Lui, 1997
2	$MR = \exp(-kt^y)$	Page	Sharma and Prasad, 2001
3	$MR = \exp(-(kt)^y)$	Modified Page I	Diamante and Munro, 1993
4	$MR = a \exp(-kt)$	Henderson and Pabis	Doymaz, 2004
5	$MR = 1 + at + bt^2$	Wang and Singh	Ozdemir and Devres, 1999
6	$MR = a \exp(-kt) + c$	Logarithmic	Togrul and Pehlivan, 2002
7	$MR = a \exp(-k_1t) + b \exp(-k_2t)$	Two term	Rahman and Perera, 1998
8	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$	Two term exponential	Sharaf-Elden et al, 1980

เมื่อ M_0 คือ ปริมาณความชื้นเริ่มต้น, g water/g dry solid
 M_T คือ ปริมาณความชื้นที่เวลา T, g water/g dry solid
 T คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง, min

2) ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption, SEC) คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง ต่อปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุอบแห้ง สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4)

$$SEC = \frac{E_{Infrared} + E_{Vacuum}}{M_w}$$

(4)

เมื่อ $E_{Infrared}$ คือ พลังงานที่ใช้กับหลอดอินฟราเรด, kWh E_{Vacuum} คือ พลังงานที่ใช้กับปั๊มสุญญากาศ, kWh M_w คือ ปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากเนื้อวัสดุ, kg

การวิเคราะห์หาสมการอบแห้งชั้นบางที่เหมาะสมของแห้งกึ่งทำได้โดยนำค่าความชื้นจากการทดลองมาเปรียบเทียบกับสมการการอบแห้งชั้นบางที่ใช้สำหรับทำนายค่าความชื้น ซึ่งอยู่ในรูปสมการการอบแห้งแบบกึ่งทฤษฎี (Semi-Theoretical Drying Equation) โดยเป็นรูปแบบของผลเฉลยอย่างง่าย รูปแบบสมการพื้นฐานที่ใช้ทำนายการอบแห้งชั้นบางมีรายละเอียดดังแสดงไว้ในตารางที่ 1 ซึ่งการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของสมการการอบแห้งชั้นบาง ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ความถดถอยแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear regression)

ตารางที่ 1 รูปแบบสมการการอบแห้งชั้นบาง

No.	Model equation	Name of model	References
9	$MR = a \exp(-kt) + b \exp(-gt) + c \exp(-ht)$	Modified Henderson and Pabis	Karathanos, 1999
10	$MR = a \exp(-kt) + bt$	Midilli	Midilli et al, 2002
11	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$	Approximation of diffusion	Yaldiz et al, 2001
12	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-gt)$	Verma et al.	Verma et al, 1985

สำหรับดัชนีบ่งชี้ความสามารถในการทำนายของสมการ ได้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination, R^2) และค่า Root mean square error (RMSE) เป็นดัชนีบ่งชี้ โดย RMSE มีความสัมพันธ์ดังสมการที่ (5)

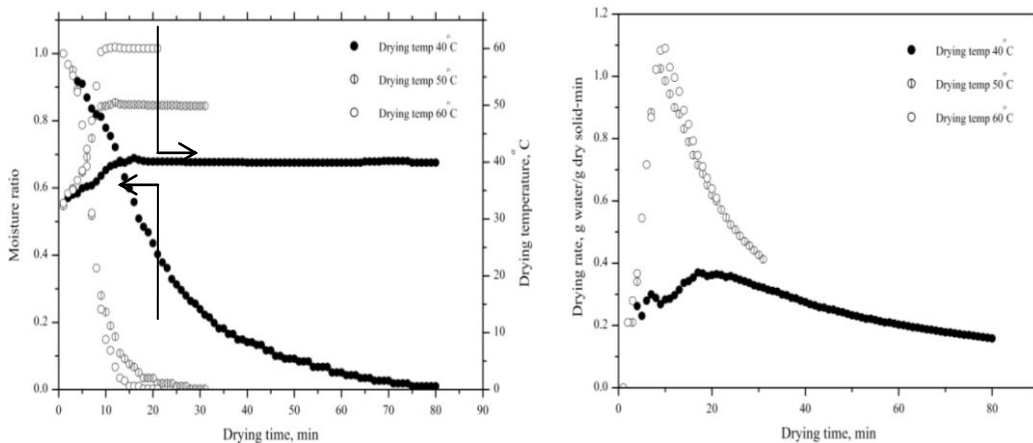
$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (MR_{Prediction, i} - MR_{Experiment, i})^2}{N} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

เมื่อ N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

3. ผลและวิจารณ์

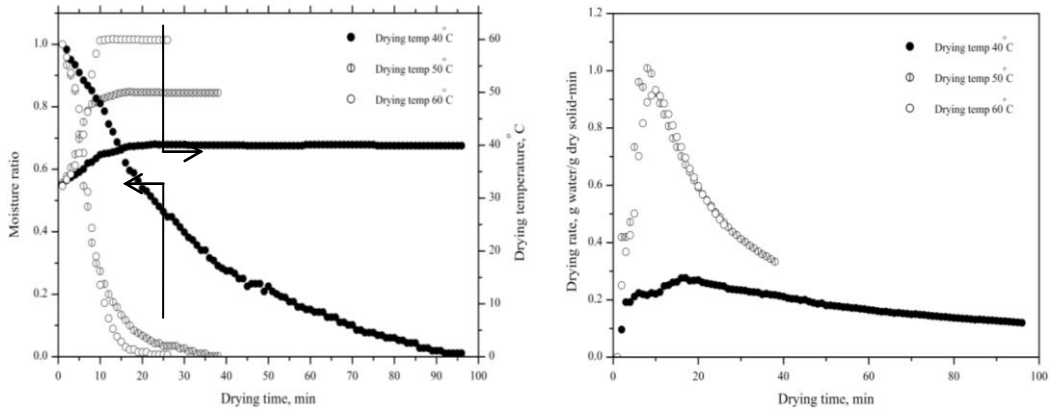
3.1 อิทธิพลของอุณหภูมิ

ภาพที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและอัตราการอบแห้งกับเวลา ในการอบแห้งหญา

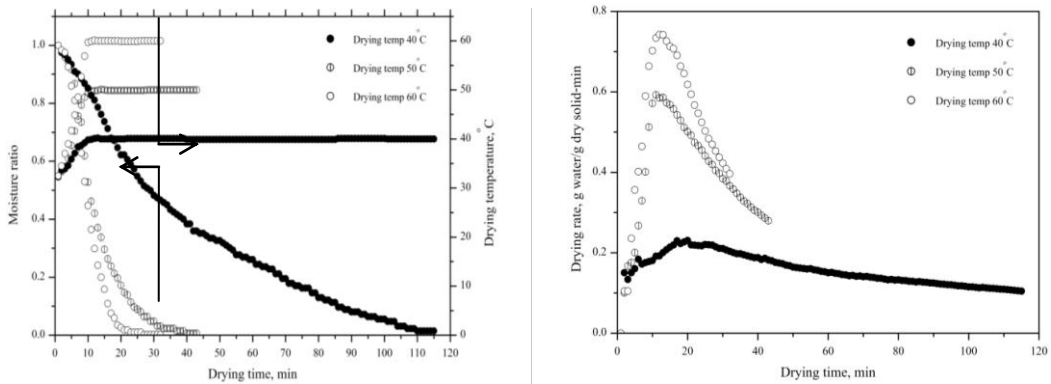


ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและอัตราการอบแห้งกับเวลา ที่ความดันสัมบูรณ์ 5 กิโลปาสกาล

บักกึ่งที่ความดันสัมบูรณ์คงที่เท่ากับ 5 กิโลปาสกาล และทำการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขอุณหภูมิอบแห้ง จากการทดลองพบว่า อัตราส่วนความชื้นจะลดลงตามระยะเวลาอบแห้ง โดยในช่วง 10 นาทีแรกของการอบแห้ง ความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากเป็นช่วงที่ผลิตภัณฑ์ยังมีความชื้นสูง ดังนั้นจึงเกิดการถ่ายเทความชื้นจากเนื้อผลิตภัณฑ์สู่ห้องอบแห้งอย่างรวดเร็ว และถูกดูดออกจากห้องอบแห้งโดยปั๊มสุญญากาศ หลังจากนั้นความชื้นจะค่อยๆ ลดลง จนคงที่ในที่สุด และจากการทดลองยังพบว่า ที่อุณหภูมิ 60°C มีความชื้นลดลงเร็วที่สุด ส่งผลให้ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิ 50°C และ 40°C พบว่าการลดลงของความชื้นเริ่มมีความแตกต่างกันอย่างชัด หลังจากผ่านช่วง 10 นาทีแรกของการอบแห้ง ซึ่งจากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า ที่อุณหภูมิอบแห้ง 60°C มีอัตราการอบแห้งสูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50°C และ 40°C โดยเฉลี่ยประมาณ 6 และ 36 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและอัตราการอบแห้งกับเวลา ที่ความดันสัมบูรณ์ 10 กิโลปาสกาล



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและอัตราการอบแห้งกับเวลา ที่ความดันสัมบูรณ์ 15 กิโลปาสกาล

ภาพที่ 3-4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและอัตราการอบแห้งกับเวลา ในการอบแห้งหญาปากกิ้งที่ความดันสัมบูรณ์คงที่เท่ากับ 10 กิโลปาสกาล และ 15 กิโลปาสกาล ตามลำดับ โดยทำการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขอุณหภูมิอบแห้ง จากผลการทดลองพบว่า การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนความชื้นและอัตราการอบแห้งมีแนวโน้มเหมือนกันกับการอบแห้งหญาปากกิ้งที่ความดัน 5 กิโลปาสกาล กล่าวคือ ที่อุณหภูมิ 60°C ความชื้นจะลดลงเร็วที่สุด ส่งผลให้ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งน้อยที่สุด และให้อัตราการอบแห้งสูงที่สุดด้วย

จากผลการทดลองข้างต้นสรุปได้ว่า อุณหภูมิอบแห้งมีผลต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้งหญาปากกิ้ง โดยที่ภาวะความดันเดียวกัน อัตราการอบแห้งจะเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิอบแห้ง

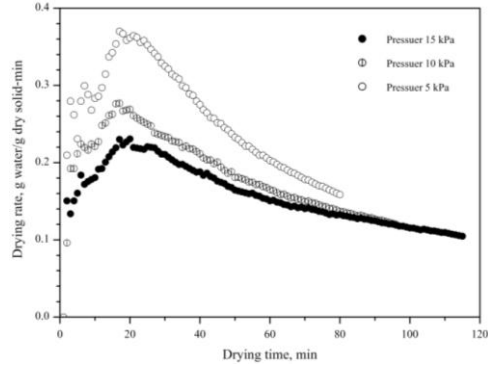
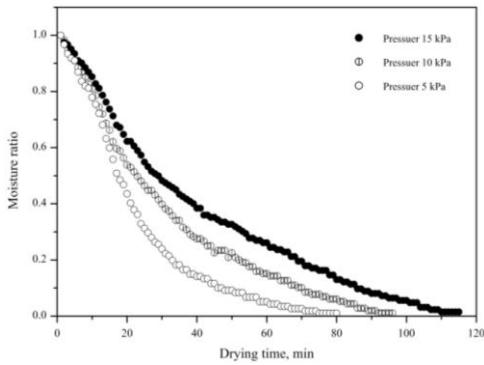
3.2 อิทธิพลของความดันสูญญากาศ

ภาพที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและอัตราการอบแห้งกับเวลา ในการอบแห้งหญาปากกิ้งที่อุณหภูมิอบแห้งเท่ากับ 40 องศาเซลเซียส โดยทำการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขภาวะความดันสัมบูรณ์ ผลการทดลองพบว่า อัตราส่วนความชื้นจะลดลงตามระยะเวลาอบแห้ง กล่าวคือ ที่เงื่อนไขความดันสัมบูรณ์ 5 กิโลปาสกาล มีความชันของเส้นกราฟมากที่สุด นั่นคืออัตราส่วนความชื้นลดลงเร็วที่สุด ในขณะที่ความดันสัมบูรณ์ 15 กิโลปาสกาล อัตราส่วนความชื้นลดลงช้าที่สุด ซึ่งเป็นผลมาจากภาวะความดันสูญญากาศ มีอิทธิพลต่อจุดเดือดของน้ำ โดยน้ำที่ความดันสัมบูรณ์ 5, 10 และ 15 กิโลปาสกาล มีจุดเดือดที่ 32.88, 45.81 และ 53.97 °C ตามลำดับ

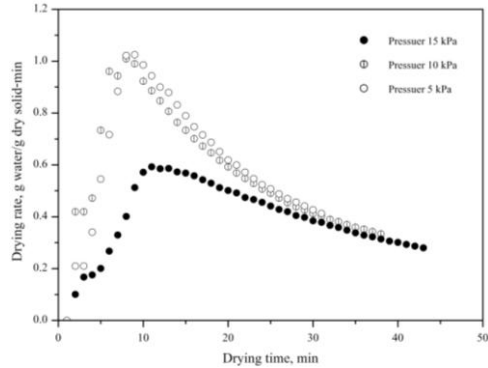
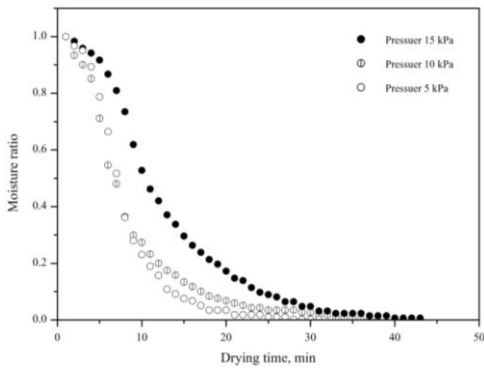
เมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของความดันสูญญากาศที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง พบว่า ที่ภาวะความดันสัมบูรณ์ 5

กิโลปาสคาล มีอัตราการอบแห้งมากที่สุดเมื่อเทียบกับที่
ภาวะความดัน 10 และ 15 กิโลปาสคาล โดยทั้ง 3 เงื่อนไข

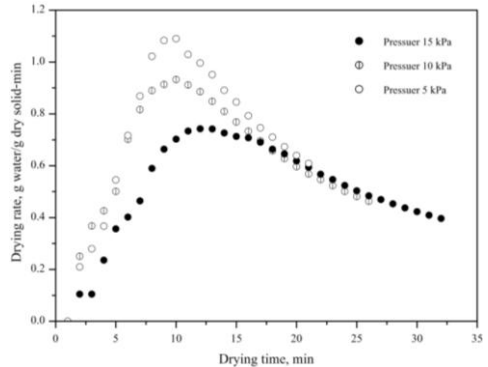
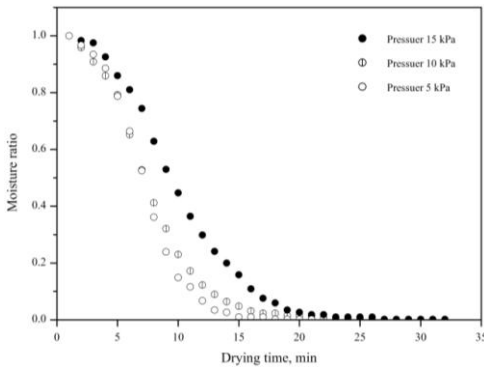
มีอัตราการอบแห้งสูงสุดหลังจากเริ่มอบแห้งผ่านไป 20
นาที และค่อยๆ ลดลง โดยไม่พบช่วงอัตราการอบแห้งคงที่



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและอัตราการอบแห้งกับเวลา ที่อุณหภูมิอบแห้ง 40 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและอัตราการอบแห้งกับเวลา ที่อุณหภูมิอบแห้ง 50 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและอัตราการอบแห้งกับเวลา ที่อุณหภูมิอบแห้ง 60 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 6-7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน
ความชื้นและอัตราการอบแห้งกับเวลา ที่อุณหภูมิอบแห้ง
50 และ 60°C ตามลำดับ จากภาพพบว่า การเปลี่ยนแปลง

ของอัตราส่วนความชื้นและอัตราการอบแห้ง มีแนวโน้ม
ลักษณะเช่นเดียวกันกับการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40°C แต่มี
อัตราการอบแห้งสูงสุดหลังจากเริ่มต้นอบแห้งประมาณ 5

นาที่ หลังจากนั้นจะลดลง โดยไม่พบช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ เมื่อเปรียบเทียบเวลาการอบแห้งแล้ว พบว่า การอบแห้งที่ความดันสัมบูรณ์ 5 กิโลปาสคาลใช้เวลาน้อยกว่าการอบแห้งที่ความดันสัมบูรณ์ 10 และ 15 กิโลปาสคาล ซึ่งผลจากการทดลองข้างต้นสรุปได้ว่า ความดันสัมบูรณ์การอบแห้งมีอิทธิพลต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้งหญาปักกิ่ง โดยที่อุณหภูมิเดียวกัน อัตราการอบแห้งจะเพิ่มขึ้นเมื่อลดความดันสัมบูรณ์

3.3 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

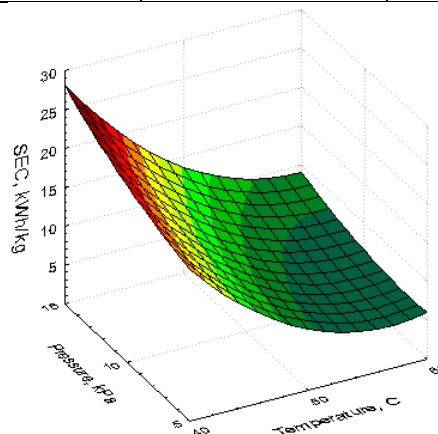
ตารางที่ 2 แสดงความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งหญาปักกิ่งด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด จากข้อมูลพบว่า ที่เงื่อนไขความดันเดียวกัน ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิอบแห้ง โดยการเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งช่วยเพิ่ม

ความสามารถในการระเหยของน้ำในผลิตภัณฑ์ให้มากขึ้น ส่งผลให้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยลง ทำให้ใช้พลังงานในส่วนของปั๊มสุญญากาศน้อยลง และเมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิอบแห้งเดียวกันยังพบอีกว่า ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งที่ความดัน 15 กิโลปาสคาล มีค่ามากที่สุด และที่ความดัน 5 กิโลปาสคาล มีค่าน้อยที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากที่ภาวะความดันต่ำ น้ำในผลิตภัณฑ์สามารถระเหยได้ที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้ใช้เวลาอบแห้งน้อยลง ซึ่งสรุปได้ว่า การเปลี่ยนภาวะความดันสุญญากาศและอุณหภูมิอบแห้ง ส่งผลต่อความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ โดยความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะจะลดลง เมื่อลดภาวะความดันสัมบูรณ์ หรือเพิ่มอุณหภูมิอบแห้ง

ตารางที่ 2 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งหญาปักกิ่งด้วยสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรด

Drying condition		Extracted water (kg)	Drying time (min)	Energy consumption (kWh)	SEC (kWh/kg)
Pressure _{Abs.} (kPa)	Temp. (°C)				
5	40	0.0279	80	0.55	19.71
	50	0.0281	31	0.23	8.18
	60	0.0281	21	0.16	5.69
10	40	0.0277	96	0.61	22.05
	50	0.0279	38	0.29	10.39
	60	0.0277	26	0.18	6.51
15	40	0.0277	115	0.80	28.91
	50	0.0277	43	0.35	12.65
	60	0.0279	32	0.26	9.32

ภาพที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิอบแห้งและความดันสัมบูรณ์ ที่มีผลต่อความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งหญาปักกิ่ง



ภาพที่ 8 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ความดันสัมบูรณ์และอุณหภูมิอบแห้งต่างๆ

3.4 สมการออบแห้งชั้นบาง

ในการวิเคราะห์หาสมการออบแห้งชั้นบางที่เหมาะสมสำหรับหญ้าปักกิ่ง สามารถดำเนินการโดยนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบกับค่าพารามิเตอร์ของสมการออบแห้งชั้นบางที่สรุปไว้ในตารางที่ 1 ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของอุณหภูมิอบแห้ง และภาวะความสูญญากาศสามารถกำหนดให้ a, b, c, g, h, k, k₁, k₂, n, และ y เป็นค่าคงที่ของสมการออบแห้งชั้นบาง (K) ซึ่งมีรูปแบบสมการค่าคงที่ดังสมการที่ (6)

$$K = x_0 + x_1T + x_2P + x_3TP \quad (6)$$

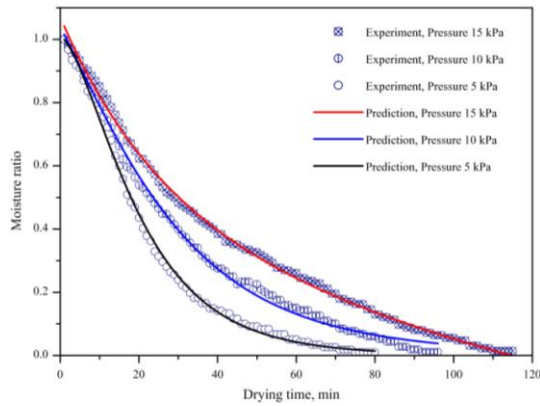
เมื่อ K คือ a, b, c, g, h, k, k₁, k₂, n, และ y
 T คือ อุณหภูมิอบแห้ง
 P คือ ความดันสัมบูรณ์
 x_i คือ ค่าคงที่ของสมการที่ (6)

ตารางที่ 3 แสดงค่าคงที่ของสมการออบแห้งชั้นบาง R² และ RMSE จากการวิเคราะห์สมการทั้ง 12 สมการพบว่า สมการ Modified Henderson and Pabis สามารถทำนายผลการอบแห้งหญ้าปักกิ่งด้วยสูญญากาศร่วมกับอินฟราเรดได้ดีที่สุด โดยให้ค่า R² (0.99377) มากที่สุด และค่า RMSE (0.02422) น้อยที่สุด

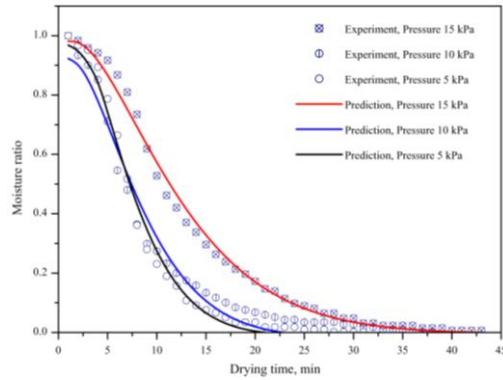
ภาพที่ 9-11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาของการอบแห้งหญ้าปักกิ่งด้วยสูญญากาศร่วมกับอินฟราเรด โดยเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองกับผลการทำนายตามรูปแบบสมการ Modified Henderson and Pabis ที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60°C ตามลำดับ ซึ่งจากกราฟจะสังเกตเห็นว่า ผลที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนายด้วยสมการมีความสอดคล้องกันเป็นอย่างดี

ตารางที่ 3 ค่าคงที่ของสมการออบแห้งชั้นบาง

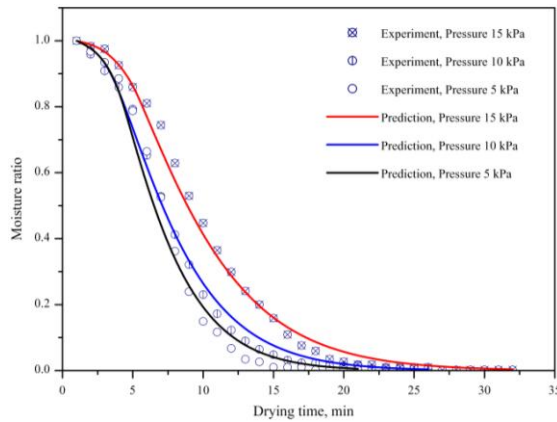
Model	Parameter	x ₀	x ₁	x ₂	x ₃	R ²	RMSE
Newton	k	-0.231833	0.007092	0.005462	-0.000183	0.92733	0.08272
Page	k	0.048405	-0.000805	-0.000036	0.000004	0.99055	0.02982
	y	-3.169761	0.113759	0.108240	-0.003226		
Modified Page 1	k	-0.006976	0.000189	0.000344	-0.000009	0.93531	0.07805
	y	137.248082	-2.008757	11.162308	-0.115423		
Henderson and Pabis	a	0.299067	0.021314	0.002513	-0.000220	0.96243	0.05947
	k	-0.362850	0.010522	0.010184	-0.000309		
Wang and Singh	a	0.113555	-0.003776	-0.002388	0.000091	0.91511	0.08940
	b	-0.003704	0.000101	0.000146	-0.000004		
Logarithmic	a	0.417257	0.018902	0.004186	-0.000202	0.96881	0.05419
	k	-0.385997	0.010743	0.013446	-0.000376		
	c	-0.331715	0.005871	0.009913	-0.000256		
Two term	a	-235.103256	3.322311	13.074030	-0.190005	0.98035	0.04301
	b	235.519369	-3.305267	-13.073610	0.189869		
	k ₁	-235.103256	3.322311	13.074030	-0.190005		
	K ₂	0.023090	0.001680	-0.003498	-0.000004		
Two term exponential	a	0.687710	0.030597	-0.045245	0.000635	0.97551	0.04802
	k	-0.464795	0.013470	0.011853	-0.000370		
Modified Henderson and Pabis	a	-560.121320	14.080363	11.621706	-0.294572	0.99377	0.02422
	b	369.058110	-9.299762	-16.340262	0.414304		
	c	192.975266	-4.803914	4.693947	-0.118966		
	g	-0.437545	0.014880	0.002697	-0.000261		
	h	-0.684405	0.018909	0.009886	-0.000374		
	k	-0.528377	0.016292	0.002488	-0.000253		
Midilli	a	0.205149	0.019303	0.010947	-0.000387	0.98142	0.04183
	b	0.005827	-0.000126	-0.000262	0.000006		
	k	-0.251828	0.006455	0.012324	-0.000313		
	n	2.926548	-0.030363	-0.093918	0.001941		
Approximation of diffusion	a	-3.128917	0.006276	-1.661523	0.024512	0.96205	0.05977
	b	-0.314285	0.029216	0.055404	-0.001194		
	k	0.242399	-0.003365	-0.013417	0.000215		
Verma et al.	a	-68.591402	1.069877	2.723347	-0.048649	0.96198	0.05983
	g	0.271223	-0.003731	-0.021532	0.000358		
	k	0.312931	-0.004631	-0.023790	0.000404		



ภาพที่ 9 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ของอัตราส่วนความชื้นกับเวลา ระหว่างผลการทดลองกับผลการทำนายตามรูปแบบสมการ Modified Henderson and Pabis ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 10 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ของอัตราส่วนความชื้นกับเวลา ระหว่างผลการทดลองกับผลการทำนายตามรูปแบบสมการ Modified Henderson and Pabis ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 11 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ของอัตราส่วนความชื้นกับเวลา ระหว่างผลการทดลองกับผลการทำนายตามรูปแบบสมการ Modified Henderson and Pabis ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

4. สรุป

งานวิจัยนี้ ได้ศึกษาการอบแห้งเห็ดอัญชันด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด ผลการศึกษาพบว่า อุณหภูมิอบแห้งและภาวะความดันสุญญากาศมีผลต่อ จลนพลศาสตร์การอบแห้งเห็ดอัญชัน และความชื้นเปลี่ยนแปลงพลังงานจำเพาะ โดยเมื่อลดความดันสมบูรณ์หรือเพิ่มอุณหภูมิอบแห้ง จะทำให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความชื้นเปลี่ยนแปลงพลังงานจำเพาะของการอบแห้งลดลง นอกจากนี้ ผลจากการศึกษา ยังพบว่า สมการของ Modified Henderson and Pabis สามารถทำนาย จลนพลศาสตร์การอบแห้งเห็ดอัญชันด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดได้ดีที่สุด โดยให้ค่า R^2 (0.99377) มากที่สุด และค่า RMSE (0.02422) น้อยที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยอุบลราชธานีที่สนับสนุนทุนในการวิจัย

บรรณานุกรม

न्हันวัน บุญประภัสร์. 2539. **สมุนไพรไม้พื้นบ้าน**.

กรุงเทพฯ : ประชาชน .

วีณา จิระฉริยากุล. 2542. "สารต้านมะเร็งจากเห็ดอัญชัน".

จุลสารข้อมูลสมุนไพร ปีที่ 16 ฉบับที่ 3 หน้า 10-13.

Chua, K. J. and Chou, S. K. 2003. "Low-cost drying methods for developing countries", **Trends in Food Science & Technology**. 14. 519-528.

Diamante, L.M. and Munro, P.A. 1993. "Mathematical modeling of the thin layer solar drying of sweet potato slices", **Solar Energy**. 51. 271-276.

Doymaz, I. 2004. "Convective air drying characteristic of thin layer carrot", **Journal of Food Engineering**. 61. 359-364.

Glouannec, P., Lecharpentier, D. and Noel, H. 2002. "Experimental survey on the combination of radiating infrared and microwave sources for the drying of porous material", **Applied Thermal Engineering**. 22. 1689-1703.

Jaya, S. and Das, H. 2003. "A vacuum drying model for mango pulp", **Drying Technology**. 21 (7). 1215-1234.

Kar, A. and Gupta, D. K. 2003. "Air drying of osmosed button mushroom" **Journal of Food Science and Technology**. 40 (1). 23-27.

Karathanos, V.T. 1999. "Determination of water content of dried fruits by drying kinetics", **Journal of Food Engineering**. 39. 337-344.

Lui, Q. and Bakker-Arkema, F.W. 1997. "Stochastic modeling of grain drying, part 2; model development", **Journal of Agricultural Research**. 66. 275-280.

Midilli, A., Kucuk, H. and Yapar, Z. 2002. "A new model for single-layer drying", **Drying Technology**. 20 (7). 1503-1513.

Nourhene, B., Neila, B., Imen B. S., and Nabil, K. 2009. "Comparison on the total phenol contents and the color of fresh and infrared dried olive leaves" **Industrial Crops and Products**. 29. 412-419.

Ozdemir, M. and Devres, Y.O. 1999 "The thin layer drying characteristics of hazelnuts during roasting", **Journal of Food Engineering**. 42. 225-233.

Rahman, M.S. and Perera, C.O. 1998. "Desorption isotherm and heat pump drying kinetics of peas", **Food Research International**. 30. 485-491.

Sharma, G.P. and Prasad, S. 2001. "Drying of garlic cloves by microwave-hot air combination", **Journal of Food Engineering**. 50. 99-105.

Sharaf-Elden, Y.I., Blaisdell, J.L. and Hamdy, M.Y. 1980. "A model for ear corn drying", **Transactions of American Society of Agricultural Engineers**. 5. pp. 1261-1265.

Togrul, I.T. and Pehlivan, D. 2002. "Mathematical modeling of soar drying of apricots in thin layers", **Journal of Food Engineering**. 55. 209-216.

- Verma, L.R., Bucklin, R.A., Endan, J.B. and Wratten, F.T. 1985. "Drying effects of drying air parameters on rice drying models", **Transactions of American Society of Agricultural Engineers. 85.** 296-301.
- Vogt M. 2007. "**Infrared drying lowers energy costs and drying times**", **Plastics, Additives and Compounding. 9.** 58-61.
- Yaldiz, O., Erketing, C., and Uzum, H.I. 2001. "Mathematical modeling of thin layer solar drying of sultana grapes", **Energy. 26.** 457-564.