

**การเปรียบเทียบการกระจายอุณหภูมิของสารละลายไฮโดรโปนิคส์ของรางปลูกที่มีขนาด
แตกต่างกัน โดยใช้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ**

**A comparison of the temperature distribution of the Hydroponic nutrient
with different length using computational fluid dynamics**

พลเทพ เวงสูงเนิน^{1*}, จาริณี จงปลื้มปิติ¹, ธวัชชัย จารุงศรีวิทยา², ทยาวิรี หนูบุญ¹ และ ประเมศวร์ สุทธิประภา¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร ²สาขาวิชาวิศวกรรมการทำมาหากินและการปรับอากาศ
คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา นครราชสีมา

*E-mail: ponthe.pve@muti.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะศึกษาเปรียบเทียบการกระจายอุณหภูมิของสารละลายที่ใช้ในการปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์ที่มีขนาดความยาวของรางปลูกที่แตกต่างกันโดยใช้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณช่วยในการทำนายการศึกษากำหนดให้หน้าตัดของรางและตำแหน่งของรูเจาะในการปลูกพืชมีค่าคงที่ อัตราการไหลของสารละลายเท่ากับ 100 L/hr. ผลการศึกษาการกระจายอุณหภูมิของสารละลายที่มีระดับความลึกที่ 5 mm ถึง 25 mm แสดงให้เห็นว่าที่ความลึกมากกว่าจะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าที่ผิว และการศึกษาายังแสดงให้เห็นว่าความยาวของรางปลูกพืชในช่วงที่ศึกษาส่งผลต่อการกระจายอุณหภูมิของสารละลายเพียงเล็กน้อย ในการเปลี่ยนแปลงความยาวของรางปลูกให้มีค่าเท่ากับ 6 m 8 m 12 m 16 m และ 20 m แล้วอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นเมื่อความยาวมากกว่า 4 m ขึ้นไป โดยช่วงของอุณหภูมิจะอยู่ระหว่าง 25.00 ถึง 25.76 °C ซึ่งช่วงที่มีอุณหภูมิต่ำและส่งผลดีต่อพืช

คำสำคัญ: ไฮโดรโปนิคส์, พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ, ปัจจัยการปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์

Abstract

This paper aimed to compare temperature distribution of hydroponic nutrient solution of various gutter lengths using Computational Fluid Dynamic prediction. In this study, a pipe cross section and drill holes positions were consistent and flow rate of solution was 100 L/hr. The result shown that, in the depth between 5 mm to 25 mm, the temperature at the deeper solution was higher than the surface. It also shown that the different lengths of gutter in this study slightly affected the solution temperature distribution. The different lengths of gutter in this study were 6 m, 8 m, 12 m, 16 m and 20 m and the temperature increased after the length was greater than 4 m. The nutrient solution temperature was between 25.00 and 25.76 °C which was low temperature and suitable for plants.

Keywords: Hydroponic, Computational Fluid Dynamic, Hydroponic curvature factor.

1. บทนำ

การปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ (Hydroponics) เป็นการปลูกผักโดยใช้สารละลายแทนการใช้ดินเป็นวัสดุปลูก ซึ่งเป็นหนึ่งในการระบบการปลูกพืชไร้ดิน (soilless culture) [1, 2, 3] การปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์มีหลากหลายระบบการปลูก เช่น [3] Nutrient Film Technique (NFT) คือ การปลูกพืชแบบให้สารละลายไหลผ่านรากพืช โดยมีระดับน้ำที่ไหลเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ มีหลายงานวิจัยที่ศึกษาโดยการปลูกพืชด้วยวิธีนี้ เช่น ในปี 2013 Sylwester Smolen, Iwona Kowalska และ Włodzimierz Sady ได้ทำการศึกษาการเกี่ยวกับการเพิ่มสารอาหารเข้าไปในผักกาดที่ปลูกด้วยเทคนิค NFT ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสามารถเพิ่มปริมาณไอโอดีนและซีลีเนียมให้แก่ผักกาดหอมได้ [4] หรือจะเป็นการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำเอาระบบ NTF ไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียของ Nathalie Vaillant และคณะ [5] การปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ยังมีระบบที่น่าสนใจก็คือระบบ Aeroponics ซึ่งเป็นระบบการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ที่ปลูกโดยให้รากพืชสัมผัสอากาศโดยตรง และจะให้น้ำโดยการพ่นฝอยตามระยะเวลาที่กำหนด ในปี 2014 Suman Chandra และคณะ [4] ได้ทำการประเมินผล การปลูกพืชกินใบและสมุนไพรด้วยระบบ Aeroponic ซึ่งได้ผลผลิตมากกว่าการปลูกด้วยดิน ผลงานวิจัยเกี่ยวกับการปลูกพืชด้วยระบบนี้ยังมีในมันฝรั่งซึ่งคณะนักวิจัยชาวโปแลนด์ Andrzej Komosa, Tomasz Kleiber และ Bartosz Markiewicz ได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบของสูตรของสารละลายที่ใช้ในการปลูกมันฝรั่งด้วยระบบ Aeroponic เปรียบเทียบกับการปลูกบนฉนวน ผลคือมีบางสูตรที่ให้ผลผลิตเท่ากันกับการปลูกปกติ และมีบางสูตรให้ผลที่มากกว่า [6] ระบบนี้เป็นระบบที่มีข้อดีคือใช้สารละลายน้อย แต่ข้อเสียคือจำเป็นต้องใช้พลังงานในการเดินระบบให้น้ำมากกว่าระบบอื่น ปัจจัยที่เกี่ยวข้องการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกด้วยวิธีการไฮโดรโปนิกส์ ได้แก่ อุณหภูมิและความชื้นของสิ่งแวดล้อม ปริมาณแสงอาทิตย์ ความเข้มข้นของสารละลาย ความเป็นกรดเป็นด่าง ค่านำไฟฟ้าของสารละลาย อุณหภูมิของสารละลาย เป็นต้น หากมีการควบคุมปัจจัยเหล่านี้ให้เหมาะสมจะทำให้ได้ผลผลิตตามที่ผู้ปลูกต้องการได้ โดยเฉพาะอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมและอุณหภูมิของสารละลายที่ส่งผลต่อ

ผลผลิตของพืชเป็นอย่างยิ่งเนื่องจากส่งผลต่อความสามารถในการกักเก็บค่าออกซิเจนที่อยู่ภายในสารละลาย [7, 8, 9] ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช

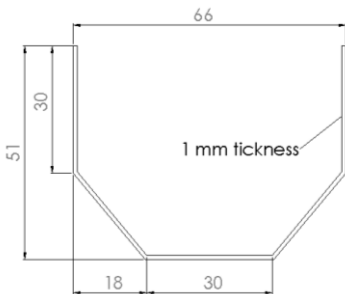
พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamic: CFD) เป็นระเบียบวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมทางธรรมชาติของของไหล เช่น อัตราการไหล ความดัน ความหนาแน่น อุณหภูมิ เป็นต้น [10, 11, 12] ในปัจจุบันได้มีการนำเอาระเบียบวิธีการนี้ไปใช้ในการหาค่าตอบของพฤติกรรมทางธรรมชาติต่างๆ ที่มีความยุ่งยากซับซ้อนในการหาค่าตอบ หรือในปัญหาที่ไม่สามารถสร้างแบบทดสอบได้ ส่วนมากในการวิเคราะห์ปัญหาทางด้านนี้จะใช้ระเบียบวิธีการไฟไนต์โวลุ่มในการหาค่าตอบ ตัวอย่างของงานวิจัยที่นำเอาหลักการนี้ไปใช้ เช่น ในปี 2015 Neetika Chauhan และคณะ ได้ทำการ [13] ศึกษาการกระจายตัวของธาตุโทรอนภายในห้องที่สนใจโดยใช้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณในการทำนายพฤติกรรมที่เกิดขึ้น ส่วนงานที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์การกระจายอุณหภูมิได้แก่ Matteo Cordoli และคณะ [14] ทำการพัฒนาแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณเพื่อใช้ในการทดสอบเปรียบเทียบการกระจายอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในกระบวนการเก็บรักษาของผลไม้ ซึ่งผลการศึกษานำเอาไปใช้ในการจัดการกระบวนการให้มีความเหมาะสมได้

ในบทความนี้มุ่งเน้นที่จะเปรียบเทียบการกระจายอุณหภูมิของสารละลายที่ใช้ในการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ของรางปลูกที่มีขนาดแตกต่างกัน โดยใช้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณในการวิเคราะห์ เนื่องจากอุณหภูมิของสารละลายถือว่าเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญ หากสามารถทำนายการกระจายอุณหภูมิได้อย่างแม่นยำก็จะสามารถควบคุมผลผลิตของพืชที่ปลูกได้ ซึ่งหากใช้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณในการหาค่าตอบก็จะสามารถสร้างแบบจำลองได้อย่างรวดเร็วและสามารถเปลี่ยนเงื่อนไขขอบเขตต่างๆ ตามความต้องการของผู้ออกแบบได้

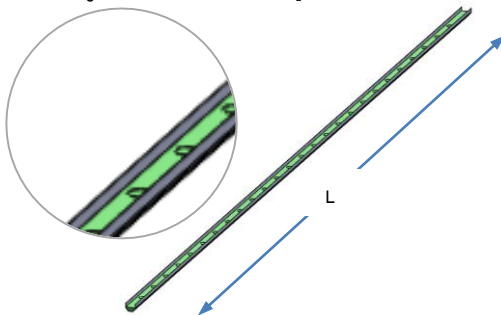
2. วัตถุประสงค์และวิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการศึกษาจะสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรมเขียนแบบ 3 มิติ จากนั้นจึงนำเอาแบบจำลองมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

ก่อนที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์ รูปที่ 1 แสดงให้เห็นขนาดหน้าตัดของรางปลุกที่ใช้ในการศึกษา ช่องว่างที่ใช้สำหรับปลุกพีชถูกเจาะรูให้มีขนาดเท่ากับ 2” ห่างกันทุกๆ 30 cm ดังแสดงในรูปที่ 2

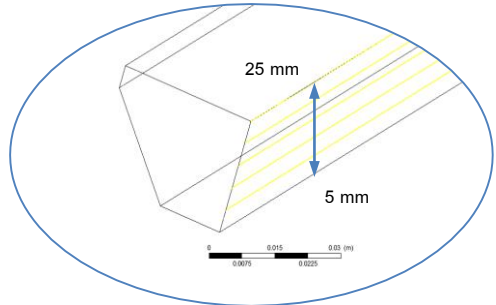


รูปที่ 1 ขนาดของรางปลุกที่ใช้ในการศึกษา



รูปที่ 2 ภาพขยายช่องของรางปลุกพีช

แบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณถูกสร้างโดยกำหนดให้สารละลาย มีระดับความลึกจากท้องรางปลุกเท่ากับ 25 mm ดังรูปที่ 3 การวิเคราะห์การกระจายอุณหภูมิแบ่งตามความยาวของรางได้เป็น 6, 8, 12, 16 และ 20 m โดยให้ตัวแปรเป็น L การวิเคราะห์ผลจะทำการศึกษาการกระจายอุณหภูมิของสารละลายที่มีระดับของฟิล์มเท่ากับ 25 mm โดยเก็บผลจากระดับด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน โดยแบ่งเป็น 5 ระดับ วัดจากระดับที่เหนือจากท้องรางขึ้นมา 5 mm จนถึง 25 mm

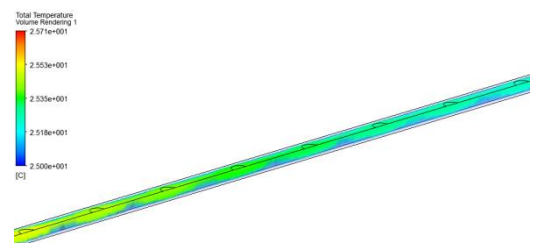


รูปที่ 3 เส้นอ้างอิงที่ใช้ในการเก็บข้อมูลอุณหภูมิ

ขอบเขตเงื่อนไขของการวิเคราะห์ถูกกำหนดให้เหมือนกับพื้นที่การทดสอบ คือให้มีอุณหภูมิของอากาศ T_α มีค่าเท่ากับ 25 °C ให้อัตราการไหลของสารละลายภายในรางปลุกมีค่าเท่ากับ 100 L/hr สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์สมมติให้ของไหลเป็นแบบอัดตัวไม่ได้ (Incompressible flow) ใช้แบบจำลองการไหลปั่นป่วนของ K-epsilon ($k-\epsilon$) ในการทำนายพฤติกรรมกรการไหลปั่นป่วนของสารละลาย เนื่องจากเป็นแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์พฤติกรรมกรการไหลของของไหลเบื้องต้น [12] การวิเคราะห์การถ่ายโอนความร้อนเป็นแบบสภาวะคงตัว ให้สมการในการวิเคราะห์เป็นไปตามกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์คืออัตราการเปลี่ยนแปลงพลังงานทั้งหมดของระบบมีค่าเท่ากับศูนย์ [15]

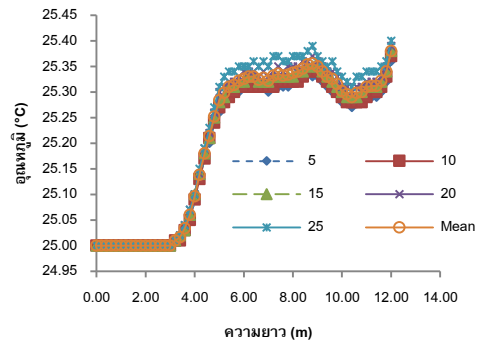
3. ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์การกระจายอุณหภูมิของสารละลายที่ไหลภายในรางปลุกพีชไฮโดรโพรนิคส์ด้วยวิธีการพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4 จะสังเกตเห็นว่าอุณหภูมิจะสูงที่ตำแหน่งด้านซ้ายและจะค่อย ๆ ต่ำลงที่ตำแหน่งด้านขวาหรือตำแหน่งจุดเริ่มต้นของสารละลายที่เข้าสู่รางปลุก

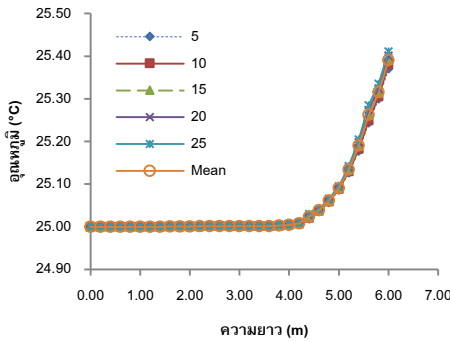


รูปที่ 4 แถบสีแสดงการกระจายอุณหภูมิของสารละลาย

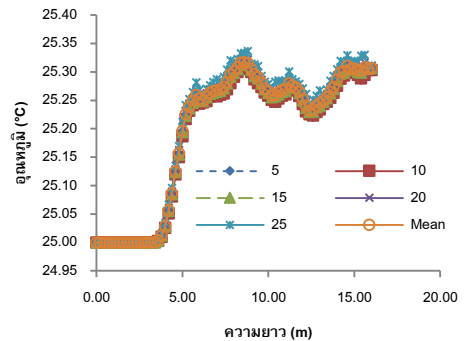
รูปที่ 5 ถึงรูปที่ 9 แสดงให้เห็นการกระจายอุณหภูมิของสารละลายในรางความยาว 6 m ถึง 20 m ตามลำดับ และในแต่ละกราฟยังแสดงให้เห็นถึงการกระจายอุณหภูมิของสารละลายในแต่ละระดับความลึกของสารละลาย โดยรูปที่ 5 แสดงการกระจายของอุณหภูมิของสารละลายตั้งแต่เริ่มต้นถึงสุดท้ายราง โดยแบ่งในแต่ละระดับความลึกตั้งแต่ 5 mm 10 mm 15 mm 20 mm 25 mm และค่าเฉลี่ย ซึ่งสารละลายมีอุณหภูมิสูงขึ้นที่ตำแหน่งของสารละลายมีค่าตั้งแต่ 4 m ขึ้นไป ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากสารละลายได้รับพลังงานความร้อนจากบรรยากาศภายนอกสะสมทำให้อุณหภูมิของสารละลายสูงขึ้น



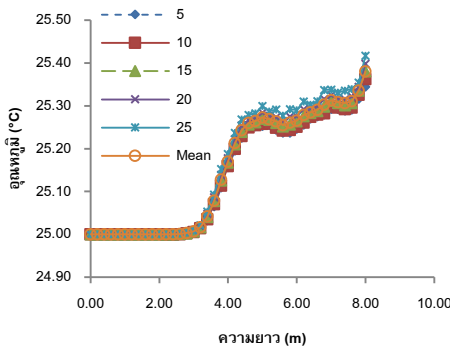
รูปที่ 7 การกระจายอุณหภูมิสารละลายในท่อความยาว 12 m



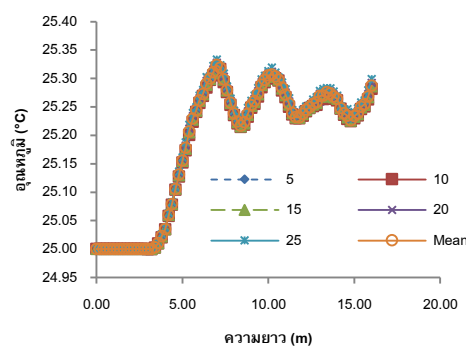
รูปที่ 5 การกระจายอุณหภูมิสารละลายในท่อความยาว 6 m



รูปที่ 8 การกระจายอุณหภูมิสารละลายในท่อความยาว 16 m



รูปที่ 6 การกระจายอุณหภูมิสารละลายในท่อความยาว 8 m



รูปที่ 9 การกระจายอุณหภูมิสารละลายในท่อความยาว 20 m

จากรูปที่ 5 ถึงรูปที่ 9 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิของสารละลายหากสังเกตที่ระดับความลึกที่แตกต่างกันแล้ว จะเห็นได้ว่าที่ระดับความลึกที่มากกว่าจะมีอุณหภูมิสูงกว่า

หากสังเกตตามความยาวของรางปลูกแล้ว อุณหภูมิจะสูงขึ้นเมื่อความยาวมีค่าตั้งแต่ 4 m เป็นต้นไป เนื่องจากสารละลายได้รับการถ่ายเทความร้อนจากบรรยากาศส่งผลให้อุณหภูมิสูงขึ้น

4. สรุปและเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะสร้างแบบจำลองเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบการกระจายอุณหภูมิของสารละลายไฮโดรโปนิคส์ของรางปลูกที่มีขนาดแตกต่างกัน โดยใช้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ผลของการศึกษาแสดงให้เห็นว่าความยาวของท่อส่งผลต่อการกระจายอุณหภูมิของสารละลาย เมื่ออัตราการไหลของสารละลายเท่ากับ 100 L/hr. อุณหภูมิของสารละลายเฉลี่ยในรางปลูกจะอยู่ในช่วงระหว่าง 25.00 °C ถึง 25.42 °C หากสังเกตการณ์การกระจายอุณหภูมิของสารละลายที่มีระดับความลึกที่ 5 mm ถึง 25 mm จะแสดงให้เห็นว่าที่ความลึกมากกว่าจะมีอุณหภูมิที่สูงกว่า ถ้าหากสังเกตการณ์การกระจายอุณหภูมิของสารละลายตามระยะความยาวของรางปลูกที่เปลี่ยนแปลงไปแล้วจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะเกิดขึ้นเมื่อความยาวของรางมีค่าตั้งแต่ 4 m เนื่องจากสารละลายได้รับการถ่ายเทพลังงานความร้อนจากบรรยากาศส่งผลให้อุณหภูมิสะสมมีค่าสูงขึ้น

ในการเก็บผลการกระจายอุณหภูมิของสารละลายในแต่ละความยาวยังแสดงให้เห็นว่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิในแต่ละระดับมีค่าเท่ากับ 2.6, 10.3, 12.6, 8.4, และ 4.5 ($\times 10^{-3}$) เมื่อความยาวเท่ากับ 6 m 8 m 12 m 16 m แล 20 m ตามลำดับ ซึ่งผลการศึกษานี้เป็นแนวทางในการนำเอาพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณมาใช้ในการวิเคราะห์การกระจายอุณหภูมิ ซึ่งหากทราบถึงแนวโน้มของอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งได้ก็จะสามารถควบคุมสภาวะแวดล้อมในการปลูกพืชได้และการศึกษานี้ยังนำไปสู่การวิเคราะห์ก่อนการสร้างรางปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์จริง เนื่องจากอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการปลูกพืชอย่างยิ่ง

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ที่ให้ความอนุเคราะห์งบประมาณในการดำเนินงานวิจัย และขอขอบพระคุณหน่วยวิจัยด้านการออกแบบเชิงกลภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่อนุเคราะห์ผลการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

6. บรรณานุกรม

- [1] R. Nicholls, **Beginning Hydroponics: Soilless Gardening : a Beginner's Guide to Growing Vegetables, House Plants, Flowers, and Herbs Without Soil**, United Stated of America: Running Press, 1990.
- [2] H. M. Resh, **Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower**, 6th ed., United Stated of America: Newconcept Press, Inc., 2004.
- [3] J. B. Jones, Jr., **Hydroponics: A Practical Guide for the Soilless Grower**, 2nd ed., United Stated of America: CRC Press, 2005.
- [4] S. Chandra, S. Khan, B. Avula, H. Lata, M. H. Yang, M. A. ElSohly and I. A. Khan, "Assessment of Total Phenolic and Flavonoid Content, Antioxidant Properties, and Yield of Aeroponically and Conventionally Grown Leafy Vegetables and Fruit Crops: A Comparative Study," **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, vol. 2014, 2014.

- [5] N. Vaillant , F. Monnet , H. Sallanon , A. Coudret and A. Hitmi , "Treatment of domestic wastewater by an hydroponic NFT system," **Chemosphere**, vol. 50, no. 1, pp. 121-129, 2002.
- [6] A. Komosa, T. Kleiber and . B. Markiewicz, "The effect of nutrient solutions on yield and macronutrient status of greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) grown in aeroponic and rockwool culture with or without recirculation of nutrient solution," **ACTA scientiarum polonorum-hortorum cultus**, vol. 13, no. 2, pp. 163-177, 2014.
- [7] M. Haghighi , R. Abolghasemi and J. A. T. da Silva , "Low and high temperature stress affect the growth characteristics of tomato in hydroponic culture with Se and nano-Se amendment," **Scientia Horticulturae**, vol. 178, pp. 231-240, 2014.
- [8] P. Nelson and C. Niedziela Jr. , "Effect of ancymidol in combination with temperature regime, calcium nitrate, and cultivar selection on calcium deficiency symptoms during hydroponic forcing of tulip," **Scientia Horticulturae**, vol. 74, no. 3, pp. 207-218, 1998.
- [9] E. Hopper, "Optimal nutrient reservoir parameters - understanding the heart of your hydroponic system," Maximum Yield, November 2013. [Online]. Available: <http://www.maximumyield.com/feature-s/articles/item/1008-optimal-nutrient-reservoir-parameters-understanding-the-heart-of-your-hydroponic-system>.
- [10] J. Blazek, **Computational Fluid Dynamics: Principles and Applications**, Oxford: Elsevier science Ltd., 2001.
- [11] T. Cebeci, J. P. Shao, F. Kafyeke and E. Laurendeau, **Computational Fluid Dynamics for Engineers**, California: Horizons Publishing Inc., 2005.
- [12] H. K. Versteeg and W. Malalasekera, **An Introduction to Computational Fluid Dynamics: THE FINITE VOLUME METHOD**, 2nd ed., Essex: Pearson Education Limited, 2007.
- [13] N. Chauhan , R. Chauhan , M. Joshi , T. Agarwal and B. Sapra , "Measurements and CFD modeling of indoor thoron distribution," **Atmospheric Environment**, vol. 105, pp. 7-13, 2015.
- [14] M. Cordioli , M. Rinaldi , G. Copelli , P. Casoli and D. Barbanti , "Computational fluid dynamics (CFD) modelling and experimental validation of thermal processing of canned fruit salad in glass jar," **Journal of Food Engineering**, vol. 150, pp. 62-69, 2015.
- [15] Y. A. Çengel and A. J. Ghajar, **Heat and Mass Transfer**, United States of America: McGraw-Hill Education, 2015.