การออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดสำหรับโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีฮาร์โมนีเสิร์ชโดยใช้ภาษาไพทอน

Optimal Design for Reinforced Concrete Frames by Harmony Search Algorithm Using Python

ภาวิชญ์ ชูอ่องสกุล[1] ภูชิต อุเทนรัตน์[2] และ ผศ. ดร. วัฒนชัย สมิทธากร[3]

[1,2,3] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จ.กรุงเทพฯ

บทคัดย่อ

โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นวัสดุผสมที่ใช้งานกันอย่างแพร่หลายในวงการก่อสร้าง เนื่องจากคอนกรีตเป็นวัสดุที่ทนทานและราคาถูก ขั้นตอนการออกแบบอาจใช้เวลานานและซับซ้อน รวมไปถึงการที่วิศวกรมักจะใช้ประสบการณ์และวิจารณญาณของตนเอง ส่งผลให้การออกแบบในปัจจุบันอาจไม่ใช่การออกแบบที่มีประสิทธิภาพและประหยัดที่สุด จุดประสงค์ของโครงงานนี้คือการสร้างโปรแกรมการออกแบบโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยมีการใช้ Harmony Search Algorithm (HSA) ซึ่งเป็นการค้นหาคำตอบแบบ meta-heuristic ได้รับแรงบันดาลใจมาจากกระบวนการของนักดนตรีในการหาการประสานเสียงที่ดีที่สุด มาช่วยในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด เพื่อให้ได้โครงสร้างที่มีราคาค่าวัสดุก่อสร้างและค่าแรงงานต่ำที่สุด จะใช้ภาษาไพทอนในการพัฒนาการออกแบบตามมาตรฐาน ACI 318M-08 เนื่องจากไพทอนเป็นภาษาที่ยืดหยุ่น กระชับ open-source และสามารถทำงานบนระบบปฏิบัติการได้หลากหลาย มี library มากมายที่มีประสิทธิภาพสูงและสามารถใช้งานได้ง่าย ช่วยให้การพัฒนาประสิทธิภาพและความสามารถของโปรแกรมเป็นไปได้ดียิ่งขึ้น

คำสำคัญ: การออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุด; โครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก; วิธีฮาร์โมนีเสิร์ช; ภาษาไพทอน

Abstract

Reinforced concrete structures are one of the most used composite materials in the civil engineering industry because of its durability and the low cost. The current process of structural design can be time-consuming and complex, and, in most cases, engineers tend to use their own experiences. This can result in inefficient and cost-ineffective designs. This project's objective is to create a program to design reinforced concrete frames. This program is optimized with Harmony Search Algorithm (HSA), a meta-heuristic algorithm inspired by the process of musicians improvising the best harmony, to find the most cost-effective structural design. Python language is used for structural design according to ACI 318M-08 code. Because Python is flexible and compact when compared to other languages, an open-source and compatible with many operating system. Python also has an efficient easy-to-use library system which can also help develop the structural design programs.

Keywords: Optimal Design; Reinforced Concrete Frames; Harmony Search Algorithm; Python Language

1. บทนำ

โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นวัสดุผสมที่ใช้งานกันอย่างแพร่หลายในวงการก่อสร้าง เนื่องจากคอนกรีตเป็นวัสดุที่ทนทาน มีราคาถูกเมื่อเทียบกับวัสดุอื่น สามารถขึ้นรูปให้เป็นรูปร่างที่หลากหลายได้ตามแบบหล่อและสามารถรับแรงอัดได้ดี แต่ไม่สามารถรับแรงดึงได้มากนัก เนื่องจากคอนกรีตมีความเปราะสูง จึงมีการนำเหล็กมาเสริมกำลังรับแรงดึง ในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเพื่อให้มีความประหยัด จะต้องมีการทดลองคำนวณหาขนาดหน้าตัดที่เหมาะสม โดยตรวจสอบค่าต่าง ๆ เช่น ความต้านทานต่อแรงเฉือน โมเมนต์ดัด การตรวจสอบการโก่งตัว ฯลฯ ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวอาจใช้เวลานานและซับซ้อน รวมไปถึงการที่วิศวกรมักจะใช้ประสบการณ์และวิจารณญาณของตนเอง ทำให้การออกแบบในปัจจุบันอาจไม่ใช่การออกแบบที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดและประหยัดที่สุด การหา

ค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ในทางคณิตศาสตร์นั้นคือการหาคำตอบที่อยู่ภายในเงื่อนไขที่กำหนด (Constraint functions) โดยที่คำตอบนั้นจะให้ค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ (Objective function) ที่ดีที่สุด มีวิธีต่าง ๆ มากมาย ตัวอย่างเช่น Simplex Method (George Dantzig, 1946) ซึ่งเป็นการแก้ปัญหาโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming) วิธี Particle Swarm Optimization (Eberhart and Kennedy, 1995) ใช้แนวคิดจากการหาอาหารของนกหรือปลา เป็นต้น โครงงานนี้เลือกใช้วิธี Harmony Search Algorithm (HSA) (Geem et al., 2001) มาช่วยในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก เนื่องจากในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตนั้น มีตัวแปรที่เกี่ยวข้องมาก เช่น ขนาดของโครงสร้าง กำลังอัดคอนกรีต ขนาดของเหล็กเสริม จำนวนของเหล็กเสริม ทำให้การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเป็นไปได้ยาก วิธี Harmony Search นั้นเป็นวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่ทำงานกับตัวแปรจำนวนมากได้ เนื่องจากมีพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในวิธีนี้ เช่น Harmony Memory Considering Rate (HMCR) หรือ Pitch Adjustment Rate (PAR) ทำให้การปรับค่าของวิธี Harmony Search มีความแม่นยำสูงและใช้เวลาน้อยในการลู่เข้าสู่คำตอบที่ดีที่สุด นอกจากนี้วิธีนี้ยังสามารถใช้กับตัวแปรทั้งแบบต่อเนื่องและแบบไม่ต่อเนื่องได้อีกด้วย

2. งานวิจัยในอดีตและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยในอดีต

การหาค่าเหมาะสมที่สุด (Optimization) เริ่มต้นจริง ๆ เมื่อ 300 ปีก่อนคริสต์ศักราช Euclid ได้ทำการทดลองหาค่าน้อยที่สุดระหว่างสองจุดบนเส้นตรง การหาค่าเหมาะสมที่สุดมีการพัฒนามามากมาย ตั้งแต่วิธีซิมเพล็กซ์ (Simplex Method) คือวิธีการที่อาศัยหลักการของเมทริกซ์เข้าช่วยในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด แต่เนื่องจากว่าวิธีนี้เป็นการแก้ปัญหาเชิงเส้น จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้กับโครงงานนี้ ในปี 2001 Zong Woo Geem ได้มีการพัฒนาวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่ชื่อ Harmony Search Algorithm (HSA) ซึ่งได้แรงบันดาลใจจากการที่นักดนตรีสามารถเล่นดนตรีโดยไม่มีการซ้อมมาก่อน โดยที่ตัวโน้ตที่เหมาะสมสำหรับเครื่องดนตรีนั้น ๆ สามารถเปรียบเทียบเป็นการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ข้อดีของวิธี Harmony Search คือสามารถใช้กับงานที่มีตัวแปรจำนวนมากได้และมีพารามิเตอร์มาช่วยการทำงาน ทำให้สามารถปรับค่าได้อย่างแม่นยำและใช้เวลาน้อยในการลู่เข้าสู่คำตอบที่ดีที่สุด Optimization of Reinforced Concrete Frames by HSA (Moacir Kripka, 2015) เป็นการออกแบบโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กให้มีประสิทธิภาพที่สุด เพื่อที่จะลดค่าใช้จ่ายของการก่อสร้าง โดยมีการคำนึงถึง ขนาดของหน้าตัด พื้นที่ของเหล็กเสริม กำลังของคอนกรีตในคานและเสา โดยมีการใช้มาตรฐาน ABNT NBR 6118 (2007) ของประเทศบราซิล Eco-Friendly Design of Reinforced Concrete Retaining Walls: Multi-objective Optimization with HSA (Aylin Ece Kayabekir, 2020) งานวิจัยนี้มีการคำนึงถึงเรื่องผลกระทบของการก่อสร้างที่มีต่อธรรมชาติ โดยเฉพาะปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกผลิตจากการก่อสร้างกำแพงกันดิน โดยจะมีความสูงและความกว้างของกำแพงดิน เป็นตัวแปรหลักเพื่อที่จะลดปริมาณของแรงที่เกิดจากกำแพง ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ปริมาณดินที่ต้องถมและราคา จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะเห็นได้ว่า Harmony Search Algorithm สามารถใช้ได้กับงานวิจัยได้อย่างหลากหลาย ซึ่งสามารถทำให้งานวิจัยนั้น ๆ มีประสิทธิภาพมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน ทำให้การใช้ HSA เป็นวิธีหลักในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการวิจัยนี้จะสามารถให้ค่าที่ดีที่สุดได้

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ Objective Function

ในโครงงานนี้ เรามีความต้องการที่จะทำให้ราคาค่าก่อสร้างมีค่าต่ำที่สุดโดยที่โครงสร้างยังมีความปลอดภัย ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ (Objective Function) จะพิจารณาโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่ประกอบไปด้วย คานและเสา โดยที่ราคารวมของวัสดุก่อสร้างจะมีสมการของฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

$$z = c_c V_c + c_s W_s + c_f A_f \quad (1)$$

2.2.2 ฟังก์ชั่นข้อจำกัด Constraint Function

ฟังก์ชั่นข้อจำกัด (Constraint Function) ฟังก์ชั่นที่จะนำมาควบคุมค่าที่ได้จากการสุ่มค่าตัวแปรต่าง ๆ หรือจากการปรับปรุงคำตอบเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ในโครงงานนี้ ฟังก์ชั่นข้อจำกัดคือความสามารถในการรับแรงของชิ้นส่วนโครงสร้าง โดยจะต้องมีกำลังต้านทาน (Nominal Strength) มากกว่าแรงที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักประลัย (Ultimate Strength) ดังนี้

1) คาน: การออกแบบชิ้นส่วนคานจะพิจารณากำลังรับแรงดัดและกำลังรับแรงเฉือน

$$\phi M_n \geq M_u ; \phi = 0.9 \quad (2)$$

$$\phi V_n \geq V_u ; \phi = 0.75 \quad (3)$$

2) เสา: การออกแบบชิ้นส่วนเสาจะพิจารณากำลังรับแรงตามแนวแกน (Axial) และกำลังรับโมเมนต์ดัด (Moment) ดังนี้

$$\phi P_n \geq P_u ; \phi = 0.65 \quad (4)$$

$$\phi M_n \geq M_u ; \phi = 0.65 \quad (5)$$

2.2.3 การวิเคราะห์โครงสร้าง

การวิเคราะห์โครงสร้าง หาแรงภายในที่กระทำต่อโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กในโครงงานนี้ อ้างอิงตามมาตรฐาน ACI 318M-08 ใช้วิธี Direct Stiffness Method โดยมีการตั้งสมมติฐานว่า ความสัมพันธ์ของหน่วยแรง (Stress) และความเครียด (Strain) มีลักษณะที่เป็นเส้นตรง และน้ำหนักที่จะกระทำต่อโครงสร้างคือ น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) และน้ำหนักบรรทุกจร (Live Load) โดยเราจะนำแรงภายในที่หามาได้ไปใช้ในการออกแบบหน้าตัดชิ้นส่วนโครงสร้างอย่างเหมาะสมที่สุด โดยโครงงานนี้จะมีการประยุกต์ใช้โปรแกรมที่ได้มาจาก การพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง Truss และ Frame ใน 3 มิติ (ชานน อธิปัญญาและณัฐชยา ศิริมาตย์, 2017) ช่วยในการวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อหาแรงภายในที่เกิดขึ้น โดยสมการจะมีดังนี้

$$M_u = 1.2M_D + 1.6M_L \quad (6)$$

$$V_u = 1.2V_D + 1.6V_L \quad (7)$$

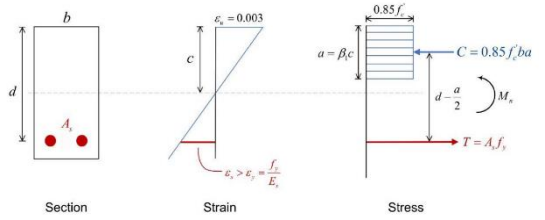
$$P_u = 1.2P_D + 1.6P_L \quad (8)$$

2.2.4 การออกแบบโครงสร้าง

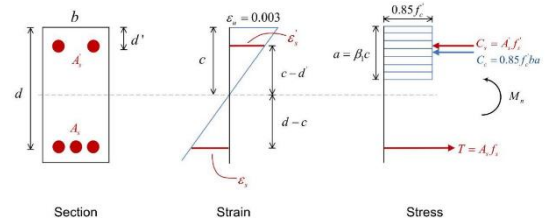
การออกแบบกำลังของชิ้นส่วนคานและเสาจะใช้วิธีกำลัง (Ultimate Strength Design: USD) ตามมาตรฐาน ACI318M-08 (American Concrete Institute 2008)

1) การออกแบบหน้าตัดคาน

การออกแบบหน้าตัดของคานจะพิจารณา หน้าตัดคานรับแรงดัด (Flexure) และหน้าตัดคานรับแรงเฉือน (Shear) โดยเราจะต้องมีการคำนวณหาว่า คานที่จะใช้มีการเสริมเฉพาะเหล็กรับแรงดึง (Single reinforcement) ดังรูปที่ 1 หรือการเสริมทั้งเหล็กรับแรงดึงและเหล็กรับแรงอัด (Double reinforcement) ดังรูปที่ 2 โดยไม่พิจารณาการจัดเรียงเหล็กเสริมและไม่คิดปริมาณเหล็กปลอกโดยขั้นตอนหาปริมาณเหล็กเสริม (A_s, A_s') (Design for flexure) ดังต่อไปนี้



รูปที่ 1 คานเสริมเฉพาะเหล็กรับแรงดึง (Single Reinforcement)



รูปที่ 2 คานเสริมทั้งเหล็กรับแรงดึงและแรงอัด (Double Reinforcement)

1.1) กำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ: ขนาดหน้าตัดของคาน, ระยะลึกประสิทธิผล (d), ระยะจากขอบผิวบนด้านรับแรงอัดถึงจุดศูนย์ถ่วงของเหล็กเสริมรับแรงอัด (d'), f_c', f_y, M_u

1.2) คำนวณหาค่าของ M_1 และ M_n จากสมการ

$$M_1 = \rho_1 f_y bd^2 \left(1 - \frac{3}{16}\beta_1\right) \quad (9)$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} \; ; \; \phi = 0.9 \quad (10)$$

1.3) หาก M_1 มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ M_n จะต้องมีการเสริมทั้งเหล็กรับแรงดึงและแรงอัด (Double Reinforcement) ให้ทำตามข้อ 1.4) แต่ถ้าหาก M_1 มีค่าน้อยกว่า M_n จะต้องมีการเสริมเฉพาะเหล็กรับแรงดึง (Single Reinforcement) ให้ทำตามข้อ 1.5)

1.4) หาค่าของ A_s และ A_s' (Double Reinforcement)

$$A_s = \rho_1 bd + \frac{M_n - M_1}{f_y(d - d')} \quad (11)$$

$$A_s' = A_s \frac{f_y}{max\left(f_y, E_s\left(0.003 - 0.008\frac{d'}{d}\right)\right)} \quad (12)$$

1.5) หาค่า A_s (Single Reinforcement)

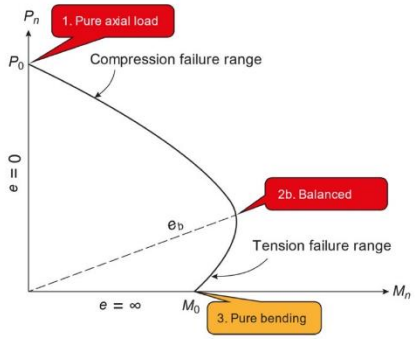
$$A_s = \rho bd \quad (13)$$

1.6) ตรวจสอบ $A_{s,min}$

หาก $A_s \geq max\left(\frac{0.25\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d, \frac{1.4}{f_y} b_w d\right)$ ไม่เป็นจริง จะต้องมีการเพิ่ม A_s ให้มีค่าเท่ากับ $A_{a,min}$

2) การออกแบบหน้าตัดเสา

ในโครงงานนี้จะพิจารณาเฉพาะเสาสั้นที่รับแรงในแนวแกนร่วมกับโมเมนต์ดัด โดยจะไม่คำนึงถึงการโก่งเดาะของเสา เราจะมีการสนใจทั้งหมดสามจุดเป็นหลักบนแผนภูมิปฏิสัมพันธ์ (Interaction Diagram) โดยเราจะต้องหาค่าจากจุดเหล่านี้ ไปใช้ในการออกแบบเสา



รูปที่ 3 แผนภูมิปฏิสัมพันธ์

2.1) Pure Axial Load

เสารับแรงอัดกระทำตรงศูนย์กลางหน้าตัด (Pure Axial Load) เพื่อหาค่าของแรงตามแนวแกนระบุ ณ โมเมนต์ดัดเท่ากับศูนย์ P_{n0}

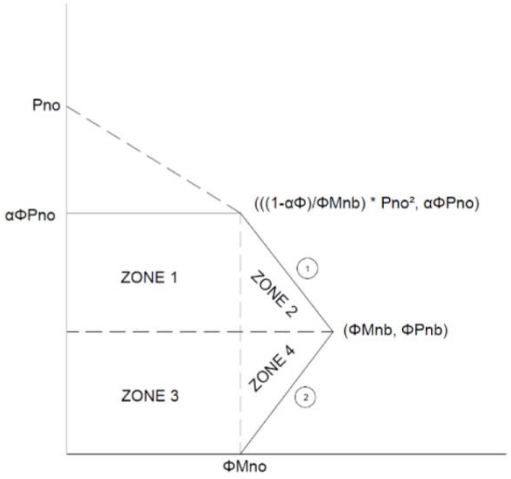
2.2) Balanced Condition

เสาวิบัติแบบสมดุล (Balanced Failure) เป็นกรณีที่คอนกรีตจะถูกอัดแตกพร้อม ๆ กับเหล็กเสริม เพื่อคำนวณหาค่า ϕP_{nb} และ ϕM_{nb}

2.3) Pure Bending Condition

เสารับโมเมนต์ดัดอย่างเดียว (Pure Bending) คำนวณหาค่าโมเมนต์ดัดระบุ ณ แรงตามแนวแกนเท่ากับศูนย์ M_{n0} โดยใช้สมการดังนี้

หลังจากที่เราได้ทำการหาค่าของ $M_{n0}, M_{nb}, P_{nb}, P_{n0}$ เราจะสามารถนำค่าต่าง ๆ ไปวาดแผนภูมิปฏิสัมพันธ์ (Interaction Diagram) แบบประมาณ โดยจะมีองค์ประกอบดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แผนภูมิปฏิสัมพันธ์แบบประมาณ

หลังจากที่เราได้สร้างแผนภูมิปฏิสัมพันธ์ (Interaction Diagram) แบบประมาณแล้วนั้น เราจะต้องมีการตรวจสอบค่าการออกแบบว่าอยู่ภายในค่าที่ยอมรับได้หรือไม่ โดยจะแบบเป็นทั้ง 4 ส่วน (Zone 1 - 4)

2.2.5 Harmony Search Algorithm

Harmony Search (HS) เป็นวิธีแนวคิดแบบ meta-heuristic หรือวิธีการหาคำตอบที่ใช้กับหลากหลายปัญหาโดยมีหลักการสำหรับการประยุกต์ใช้ คิดค้นโดย Zong Woo Geem ในปี ค.ศ. 2001 ซึ่งมีความพยายามล้อเลียนการประพันธ์บทเพลงของนักดนตรีในการหาการประสานเสียงของโน้ตดนตรีที่ไพเราะที่สุด เราสามารถเปรียบเทียบตัวโน้ตดนตรีที่เหมาะสมได้กับตัวแปรที่ตัดสินใจในปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดและคุณภาพของการประสานเสียงนั้น ๆ ได้กับสมการวัตถุประสงค์ ในการหาเสียงของโน้ตดนตรีที่ดีที่สุด นักดนตรีจะทดลองเปลี่ยนโน้ตดนตรีไปเรื่อย ๆ ซึ่งเปรียบเสมือนเป็นการเปลี่ยนตัวแปรจนกว่าจะได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดหรือ iteration หลักการการทำงานของ HS Algorithm ของนักดนตรีสามารถนำมาเปรียบเทียบในโครงงานนี้ได้ดังนี้

1) การสุ่มโน้ตดนตรี = เลือกตัวแปรแบบสุ่ม

2) การใช้โน้ตดนตรีที่มีอยู่ในความทรงจำ = เลือกตัวแปรที่มีอยู่

3) การเปลี่ยนโน้ตดนตรีเล็กน้อยจากเดิม = นำตัวแปรที่มีอยู่และนำมาปรับเล็กน้อย

ในวิธี Harmony Search จะมีการเก็บชุดคำตอบไว้หลาย ๆ ชุดโดยเก็บอยู่ในรูปแบบของเมทริกซ์ จำนวนหลักของเมทริกซ์ คือ จำนวนตัวแปรที่เราสนใจทั้งหมด, x_i: โดยที่ i = 1 ถึง N และค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ ส่วนจำนวนแถว คือ จำนวนชุดคำตอบที่จะเก็บไว้ในหน่วยความจำ พารามิเตอร์อื่น ๆ เช่น ขนาดของหน่วยความจำของ Harmony (Harmony Memory Size, HMS), อัตราการพิจารณาหน่วยความจำของ Harmony (Harmony Memory Considering Rate, HMCR), อัตราการปรับระดับเสียง (Pitch Adjustments Rate, PAR) และจำนวนรอบที่กระทำซ้ำ (Number of Iterations, NI) ขั้นตอนการทำงานของวิธี Harmony Search จะแบ่ง 2 ส่วน ส่วนแรกคือ การกำหนดค่าในหน่วยความจำเริ่มต้นในเมทริกซ์และส่วนที่สองคือ การสร้างชุดคำตอบใหม่ด้วยวิธี Harmony Search โดยจะมีรายละเอียดดังนี้

1) การกำหนดค่าในหน่วยความจำเริ่มต้น โดยใช้วิธีการสุ่มเลือกและตรวจสอบว่าอยู่ภายใต้ฟังก์ชั่นข้อจำกัดหรือไม่ จากนั้นจึงนำมาจัดเรียงชุดคำตอบทั้งหมดโดยเรียงตามค่าของฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์จากน้อยไปมาก

2) การสร้างชุดตอบใหม่ โดยใช้หลักการ 3 ประการดังนี้

2.1) เลือกค่าของตัวแปรจากหน่วยความจำของ Harmony Search (HMCR)

2.2) เลือกค่าของตัวแปรที่อยู่ติดกันหรือใกล้เคียงกันกับค่าในหน่วยความจำของ Harmony Search หรือการปรับระดับเสียง (Pitch Adjustment)

2.3) สุ่มเลือกค่าของตัวแปรที่เป็นไปได้จากช่วงคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดหรือการเลือกแบบสุ่ม (Randomization)

$$\left[\begin{array}{cccc|c} x_1^{\,1} & x_2^{\,1} & \dots & x_N^{\,1} & z(x^1) \\ x_1^{\,2} & x_2^{\,2} & \dots & x_N^{\,2} & z(x^2) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \vdots \\ x_1^{\,HMS} & x_2^{\,HMS} & \dots & x_N^{\,HMS} & z(x^{HMS}) \end{array}\right]$$

รูปที่ 5 ตารางเมทริกซ์ตัวอย่างของ Harmony Search Algorithm

วิธีการทำงานของ Harmony Search Algorithm มีทั้งหมด 5 ขั้นตอนหลัก ๆ ดังนี้

1) การกำหนดปัญหาและค่าของตัวแปรต่าง ๆ: การวิเคราะห์ปัญหาที่ใช้ พร้อมทั้งการระบุพารามิเตอร์และขอบเขตของพารามิเตอร์ระบุปัญหาที่ต้องการ ซึ่งสามารถอ้างอิงได้จากฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ (Objective Function)

หาค่าน้อยที่สุดของฟังก์ชั่น $z\,;\, x_i \in X_i\,,\; i = 1,2,3,..,N$

2) การสร้างหน่วยความจำ (Harmony Memory, HM): การระบุขนาดความจำของ Harmony Search โดยที่คำตอบเริ่มต้นซึ่ง HM คือจำนวนของผลตอบรับที่ต้องการเก็บและคำตอบเริ่มต้นเกิดจากการสุ่มเลข จากนั้นนำค่าต่าง ๆ ที่ได้มาใส่ลงในเมทริกซ์เหมือน รูปที่ 5 ให้เรียงชุดคำตอบตามค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์จากน้อยไปมาก

3) การสร้างและวิเคราะห์ New Harmony จาก HM: ชุดคำตอบใหม่หรือ New Harmony Vector จะสามารถเลือกได้ทั้งหมด 3 แบบ คือ การใช้หน่วยความจำ การปรับค่าจากเดิมและการสุ่มค่าใหม่ โดยเราจะใช้ชุดคำตอบตัวอย่าง $x' = \left(x_1^{'},\; x_2^{'},\; \dots,\; x_N^{'} \right)$

3.1) การใช้หน่วยความจำ: ค่าตัวแปรต่าง $x_i^{'}\,;\, i = 1 - N$ สำหรับชุดคำตอบใหม่ สามารถเลือกจากค่าใดค่าหนึ่งของตัวแปรที่หนึ่งในเมทริกซ์ ตั้งแต่ $x_i^{'i} - x_i^{'HMS}$ และสำหรับค่าตัวแปรอื่น ๆ

3.2) การปรับค่าจากเดิม: ในแบบนี้ หลักการการทำงานจะมีคล้ายกับแบบที่ 1 โดยที่เมื่อเลือกค่าจากเมทริกซ์ เราจะทำการปรับค่าจากเดิมเป็นตำแหน่งบนหรือล่าง เช่น หากเราเลือกตัวแปรใหม่คือ $x'(k)$ เราจะทำการปรับค่าเป็น $x'(k+1)$ หรือ $x'(k-1)$

3.3) การสุ่มค่าใหม่: การทำงานของแบบนี้จะมีการใช้ขอบเขตเดียวกันกับในแบบที่ 2 เริ่มต้นที่ตัวแปรที่หนึ่ง เราจะทำการสุ่มตัวเลขตั้งแต่ 0 – 1 โดยที่อัตราการสุ่มจะมีการกระจายตัวอย่างคงที่ เพื่อนำไป (เปรียบเทียบกับค่าอัตราการพิจารณาหน่วยความจำของ Harmony (Harmony Memory Considering Rate, HMCR) ถ้าหากค่าที่สุ่มมามีค่าน้อยกว่าค่า HMCR ให้ทำตามแบบที่ 1 นอกจากนี้ เราจะต้องมีการตรวจสอบว่าจะต้องมีการปรับระดับเสียงหรือไม่ เราจะทำการสุ่มตัวเลขตั้งแต่ 0 – 1 เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับอัตราการปรับระดับเสียง (Pitch Adjustments Rate, PAR) ถ้าหากค่าที่สุ่มมามีค่าน้อยกว่าค่า PAR ให้ทำตามแบบที่ 2 โดยที่การปรับค่าเป็นตำแหน่งบนหรือล่างจะให้สุ่มค่าตัวเลขตั้งแต่ 0 – 1 ถ้าได้ค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.5 ให้ปรับเป็นตำแหน่งล่าง แต่ถ้าหากได้ค่ามากกว่า 0.5 ให้ปรับเป็นตำแหน่งบน

4) การปรับปรุงหน่วยความจำของ Harmony Search: เมื่อเราได้ค่าตัวแปรครบทุกตัว เราจะได้ชุดคำตอบใหม่มา เพื่อไปคำนวณหาค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์และเปรียบเทียบกับชุดคำตอบที่แย่ที่สุดในเมทริกซ์ (ค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่มากที่สุด) ถ้าหากได้ค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์น้อยกว่า ให้บรรจุชุดคำตอบใหม่ไปแทนและจัดเรียงชุดคำตอบใหม่ตามค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์จากน้อยไปมาก

5) ตรวจสอบเงื่อนไขการหยุด: ทำขั้นตอนที่ 3 และ 4 จนกว่าจะครบจำนวนรอบ (NI)

3. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

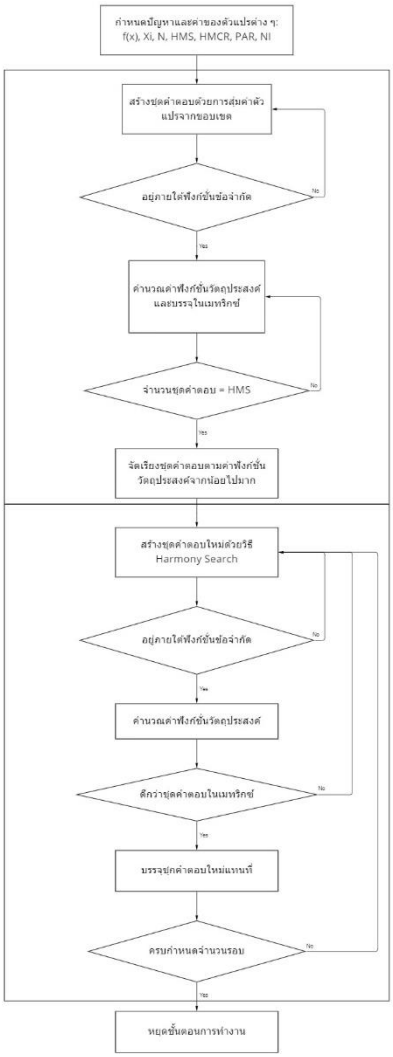
3.1 ขอบเขตงานวิจัย

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์ในการออกแบบโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธี Harmony Search มาใช้หาค่าเหมาะสมที่สุด โดยจะมีการพัฒนาโปรแกรมการออกแบบโครงข้อแข็งด้วยภาษาไพทอนขอบเขตที่เป็นไปได้สำหรับตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในโครงงานนี้ โดยที่จะมีการพิจารณาเป็นปัญหาแบบตัวแปรไม่ต่อเนื่อง (Discrete Variables) จะแสดงในตารางที่ 1 และใช้ค่าวัสดุก่อสร้างและค่าแรงงานอ้างอิงจากเอกสาร บัญชีราคาค่าวัสดุก่อสร้างและค่าแรงงาน ประจำปี พ.ศ. 2565

ตารางที่ 1 ขอบเขตของตัวแปรต่าง ๆ ในโครงงานนี้

ตัวแปร	ขอบเขต	หน่วย
กำลังอัดคอนกรีต	18, 21, 24, 28	MPa
กำลังของคอนกรีต	390	MPa
คาน		
ความกว้างและความลึก	200 – 950 mm (เพิ่มขึ้นทีละ 50 mm)	mm
(t-d), d’	70	MPa
เสา		
ความกว้างและความลึก	200 – 950 mm (เพิ่มขึ้นทีละ 50 mm)	mm
(t-d), d’	70	MPa

3.2 การประยุกต์ใช้วิธี Harmony Search ในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก



รูปที่ 6 การประยุกต์ใช้วิธี Harmony Search ในการออกแบบโครงสร้าง

3.3 ขั้นตอนการทำงาน

ในการทำโครงงานนี้จะมีการประยุกต์ใช้โปรแกรมที่ได้มาจากการพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง Truss และ Frame ใน 3 มิติ (ชานน อธิปัญญาและณัฐชยา ศิริมาตย์, 2017) ช่วยในการวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อหาแรงภายในที่เกิดขึ้น จากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการออกแบบโครงสร้างด้วยโปรแกรมที่คิดค้นขึ้นมาเองในการหาค่าต่าง ๆ เช่น ขนาดคานและเสา เหล็กเสริมที่จำเป็น โดยจะมีการใช้โปรแกรมที่อ้างอิงมาจาก pyHarmonySearch (Geoffrey Fairchild, 2015) มาประยุกต์ใช้ในการทำให้ค่าการออกแบบมีค่าที่เหมาะสมที่สุด โดยขั้นตอนจะมีดังนี้

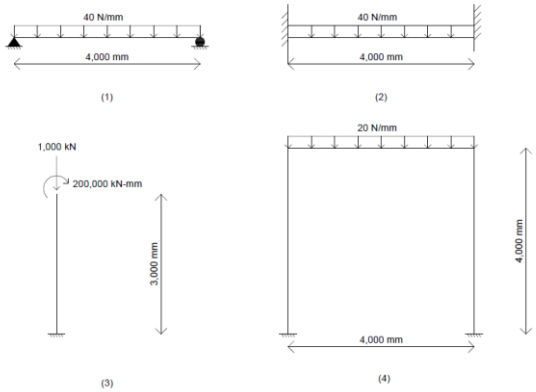
4. กรณีศึกษา

4.1 กรณีศึกษา

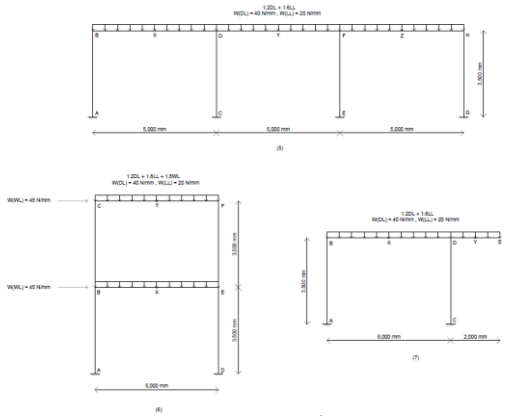
ในโครงงานนี้จะมีกรณีศึกษาทั้งหมด 7 กรณี ดังแสดงในรูปที 4.1 และรูปที่ 4.2 โดยในกรณีที่ 1 ถึง 4 จะเป็นการเปรียบเทียบราคากับงานวิจัยการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีฮาร์โมนีเสิร์ช (อัฐพล เตชะรัตนประเสริฐ, 2014) โดยในทุกกรณีจะคำนวณทั้งหมด 10,000 รอบ และค่าพารามิเตอร์ HMCR, PAR และ HMS มีค่า

เท่ากับ 0.75, 0.5 และ 10 ตามลำดับ ซึ่งกรณีศึกษาทั้งหมดจะประกอบด้วย

1) คานคอนกรีตเสริมเหล็กช่วงเดียว ฐานรองรับแบบยึดหมุนและแบบล้อเลื่อน
2) คานคอนกรีตเสริมเหล็ก ฐานรองรับทั้งสองข้างเป็นแบบยึดแน่น
3) เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ฐานรองรับแบบยึดแน่นและปราศจากการยึดรั้ง
4) โครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก ฐานรองรับแบบยึดแน่นและจุดต่อแบบยึดรั้ง
5) โครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก ฐานรองรับแบบยึดแน่นและจุดต่อแบบยึดรั้ง ยาวสามช่วง
6) โครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก ฐานรองรับแบบยึดแน่นและจุดต่อแบบยึดรั้ง สองชั้น
7) โครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก ฐานรองรับแบบยึดแน่นและจุดต่อแบบยึดรั้ง มีคานยื่น



รูปที่ 7 กรณีศึกษาที่ 1 ถึง 4



รูปที่ 8 กรณีศึกษาที่ 5 ถึง 7

4.2 ผลการออกแบบ

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบผลของกรณีศึกษาที่ 1 กับ อัฐพล (2014)

โครงงาน	ขนาดคาน (mm)	ขนาดเสา (mm)	กำลังอัดคอนกรีต (MPa)	ปริมาณเหล็กเสริม (Kg)	ราคารวม (บาท)
ภาวิชญ์ และ ภูชิต (2022)	200x200	-	28	41.601	1,795
อัฐพล (2014)	300x450	-	28	36.438	2,790

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบผลของกรณีศึกษาที่ 2 กับ อัฐพล (2014)

โครงงาน	ขนาดคาน (mm)	ขนาดเสา (mm)	กำลังอัดคอนกรีต (MPa)	ปริมาณเหล็กเสริม (Kg)	ราคารวม (บาท)
ภาวิชญ์ และ ภูชิต (2022)	200x300	-	28	32.107	1,635
อัฐพล (2014)	200x400	-	28	23.161	2,581

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบผลของกรณีศึกษาที่ 3 กับ อัฐพล (2014)

โครงงาน	ขนาดคาน (mm)	ขนาดเสา (mm)	กำลังอัดคอนกรีต (MPa)	ปริมาณเหล็กเสริม (Kg)	ราคารวม (บาท)
ภาวิชญ์ และ ภูชิต (2022)	-	275x275	28	132.637	3,990
อัฐพล (2014)	-	250x500	28	46.2	7,605

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบผลของกรณีศึกษาที่ 4 กับ อัฐพล (2014)

โครงงาน	ขนาดคาน (mm)	ขนาดเสา (mm)	กำลังอัดคอนกรีต (MPa)	ปริมาณเหล็กเสริม (Kg)	ราคารวม (บาท)
ภาวิชญ์ และ ภูชิต (2022)	200x275	200x200	28	43.884	3,530
อัฐพล (2014)	200x350	200x200	28	52.104	4,428

ตารางที่ 6 คำตอบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับกรณีศึกษาที่ 5 ถึง 7

กรณีศึกษา	**ขนาดคาน (mm)**	**ขนาดเสา (mm)**	**กำลังอัดคอนกรีต (MPa)**	**ปริมาณเหล็กเสริม (Kg)**	**ราคารวม (บาท)**
5	200x450	200x200	28	207.607	25,625
6	200x450	200x200	28	157.521	20,505
7	200x450	250x250	24	89.905	13,445

4.3 การอภิปรายผล

ในกรณีศึกษาที่ 1 ถึง 3 ได้ผลลัพธ์ว่า ขนาดของชิ้นส่วนเสาและคานเล็กกว่างานวิจัยที่นำมาเปรียบเทียบแต่ปริมาณเหล็กเสริมมีค่ามากกว่า เนื่องจากว่าในโครงงานนี้ ไม่คำนึงถึงราคาของเหล็กปลอก ทำให้หน้าตัดของชิ้นส่วนโครงข้อแข็งมีขนาดที่เล็กกว่า ส่งผลให้ต้องใช้เหล็กเสริมรับแรงดัดมากกว่า แม้เป็นเช่นนั้น ราคารวมของทั้งสามกรณียังมีค่าน้อยกว่าอย่างเห็นได้ชัด ในกรณีศึกษาที่ 4 ได้ผลลัพธ์ว่า ขนาดของเสาเท่ากันที่ 200 x 200 mm และขนาดของคานน้อยกว่าแต่ปริมาณเหล็กเสริมมีค่าน้อยกว่า เนื่องจากว่าในโปรแกรมมีการใช้ปริมาณเหล็กที่คำนวณได้ ไม่ได้นำไปหาปริมาณที่ใช้ ($A_{s,use}$) มีผลทำให้ปริมาณเหล็กเสริมและราคารวมมีค่าน้อยกว่า

5. บทสรุป

5.1 บทสรุป

โครงงานนี้เป็นการศึกษาวิธีการประยุกต์ใช้วิธี Harmony Search ในการออกแบบโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กอย่างเหมาะสมที่สุดกับกรณีศึกษาทั้งหมด 7 กรณี โดยที่มีการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของกรณีศึกษาที่ 1 ถึง 4 กับงานวิจัย การออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีฮาร์โมนีเสิร์ช (อัฐพล เตชะรัตนประเสริฐ, 2014) โดยการประยุกต์ใช้วิธี Harmony Search ให้ผลลัพธ์ที่ดี มีอัตราการลู่เข้าคำตอบที่เร็ว เนื่องจากวิธีนี้มีการค้นหาคำตอบที่หลากหลาย เช่น การสุ่มจากชุดคำตอบที่มีอยู่แล้ว การสุ่มจากขอบเขตของตัวแปรและการเก็บชุดคำตอบเป็นเมทริกซ์จึงมีชุดคำตอบมากกว่า 1 ชุด พารามิเตอร์ในวิธี Harmony Search ได้แก่ HMCR PAR และ HMS ค่า HMCR ส่งผลต่อโอกาสในการเลือกค่าจากเมทริกซ์และการสุ่มค่าจากขอบเขต เมื่อค่า HMCR ลดลง โอกาสในการสุ่มค่าจากขอบเขตจะเพิ่มขึ้น ทำให้ชุดคำตอบมีความหลากหลายมากขึ้น ค่า PAR จะส่งผลต่อการปรับค่าที่เลือกมาจากเมทริกซ์ แต่เนื่องจากโครงงานนี้พิจารณาตัวแปรไม่ต่อเนื่อง ค่าที่ได้จึงเป็นค่าจากในเมทริกซ์ และค่า HMS ส่งผลต่อจำนวนชุดคำตอบเริ่มต้นในเมทริกซ์ ยิ่งค่า HMS มาก จะทำให้ชุดคำตอบเริ่มต้นมีความหลากหลายมากขึ้นเช่นเดียวกัน ในโครงงานนี้มีการเลือกใช้ค่า HMCR PAR และ HMS เท่ากับ 0.75, 0.5 และ 10 จากการวิเคราะห์ผลลัพธ์ทั้งหมดในโครงงานนี้ พบว่าปัจจัยที่ส่งผลการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดเพื่อให้เกิดความประหยัดค่อนข้างหลากหลาย ตั้งแต่ราคาต่อหน่วยของวัสดุและค่าแรงงาน พารามิเตอร์ในวิธี Harmony Search การวิธีการออกแบบ ดังนั้นผลลัพธ์ที่ได้ควรจะนำไปตรวจสอบความเหมาะสมอีกครั้งก่อนนำไปใช้จริงหรือพัฒนาต่อ เนื่องจากว่าในแต่ละปัญหาอาจมีค่าตัวแปรต่าง ๆ หรือรูปแบบโครงสร้างที่แตกต่างกัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อแนะนำของการประยุกต์ใช้วิธี Harmony Search ไปในโครงงานอื่น ๆ คือเพิ่มครั้งการสุ่มเพื่อให้ได้คำตอบที่เร็วขึ้น ให้ทำการสุ่มหาค่าด้วยจำนวนครั้งที่น้อย ๆ กับขอบเขตปกติที่กำหนดมา เมื่อได้ค่าแล้วนั้น ให้ทำการสุ่มค่าอีกรอบ โดยที่ครั้งนี้จะลดขอบเขตที่ใช้ตามผลที่ได้จากครั้งแรกและจำนวนครั้งให้ใช้เป็นปริมาณที่ต้องการ หากทำเช่นนี้ จะทำให้ลู่เข้าสู่คำตอบได้เร็วขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] ชานน อธิปัญญา. และ ณัฐชยา ศิริมาตย์. 2560. **การพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง Truss และ Frame ในสามมิติ.** ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา. คณะวิศวกรรมศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[2] วัฒนชัย สมิทธากร. 2563. **การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก Reinforced Concrete Design.** หน่วยปฏิบัติการวิจัยกลศาสตร์ประยุกต์และโครงสร้าง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[3] **หนังสือบัญชีราคาคาวัสดุและคาแรงงานสำหรับปงบประมาณ.** 2565. สำนักมาตรฐานการจัดซื้อจัดจางภาครัฐ กรมบัญชีกลาง กระทรวงการคลัง.

[4] อัฐพล เตชะรัตนประเสริฐ. 2557. **การออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธี ฮาร์โมนีเสิร์ช.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา. คณะวิศวกรรมศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[5] อัตติพงษ์ เทพทับทิม, อนันต์ศักดิ์ แสงจันทร์, อนุชา หิรัญวัฒน์ และ ภาสุระ อังกุลานนท์. 2563. **การศึกษาเปรียบเทียบ วิธีฮาร์โมนีเสิร์ชประยุกต์และวิธีผสมผสานสำหรับปัญหาทางวิศวกรรม,** หน้าที่ 3 – 4. ใน วารสารวิจัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ปีที่ 3 ฉบับที่ 1.

[6] Abualigah, L., Diabat, A., and Geem, Z. W. 2020. A Comprehensive Survey Of The Harmony Search Algorithm In Clustering Applications, pp 1 – 2. Applied Science, MDPI.

[7] Ahangaran, M., and Ramezani, P. 2013. **Harmony Search Algorithm: Strengths and Weaknesses**, pp 1 – 3. Journal of Computer Engineering and Information Technology.

[8] Askarzadeh, A., and Rashedi, E. 2017. **Harmony Search Algorithm: Basic Concepts And Engineering Applications,** pp. 2 – 13. Kerman Graduate University of Advanced Technology, Iran.

[9] Fairchild, G. 2015. **pyHarmonySearch.** Github Repository. http://github.com/gfairchild/pyHarmonySearch