

به نام خداوند



پروژه‌ی تحلیل مکانیزم (فاز اول)

استاد: دکتر حسن ظهور

۹۶۱۰۶۲۱۴

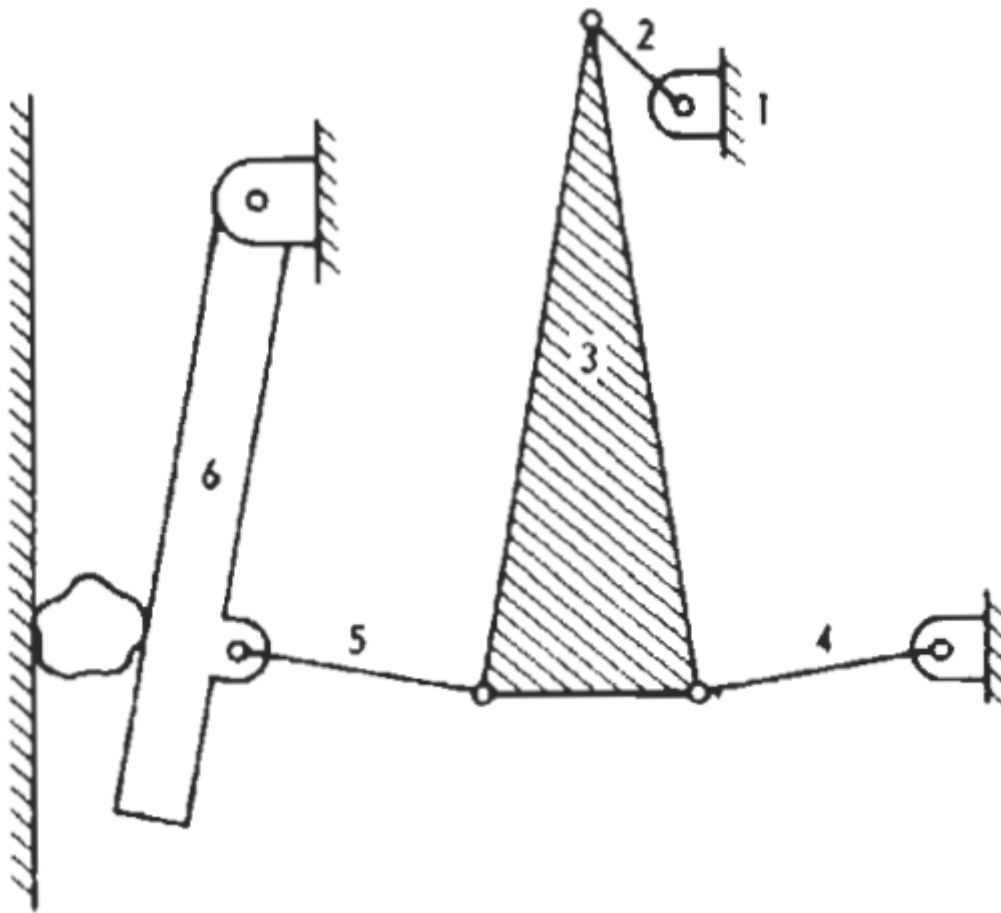
عرفان اعتصامی

تهیه کننده:

خرداد ۹۹

مکانیزم ۶ میله‌ای سنگ‌شکن

مکانیزم دلخواه انتخاب‌شده برای تحلیل و بررسی با روش‌های ترسیمی و حلقه‌ی برداری، مکانیزم ۶ میله‌ای سنگ‌شکن می‌باشد که در شکل ۱ مشاهده می‌شود. همان‌گونه که از نام این مکانیزم پیدا است، از آن برای شکستن سنگ‌های استراخ‌شده از معادن استفاده می‌شود؛ در نتیجه بدیهی است که این مکانیزم باید قادر باشد تا نیرو و گشتاور زیادی را تولید کند، پس همان‌گونه که در این درس اشاره شد، مکانیزم ۶ میله‌ای همراه با یک مثلث صلب داخلی، می‌تواند انتخاب مناسبی برای این کار باشد.



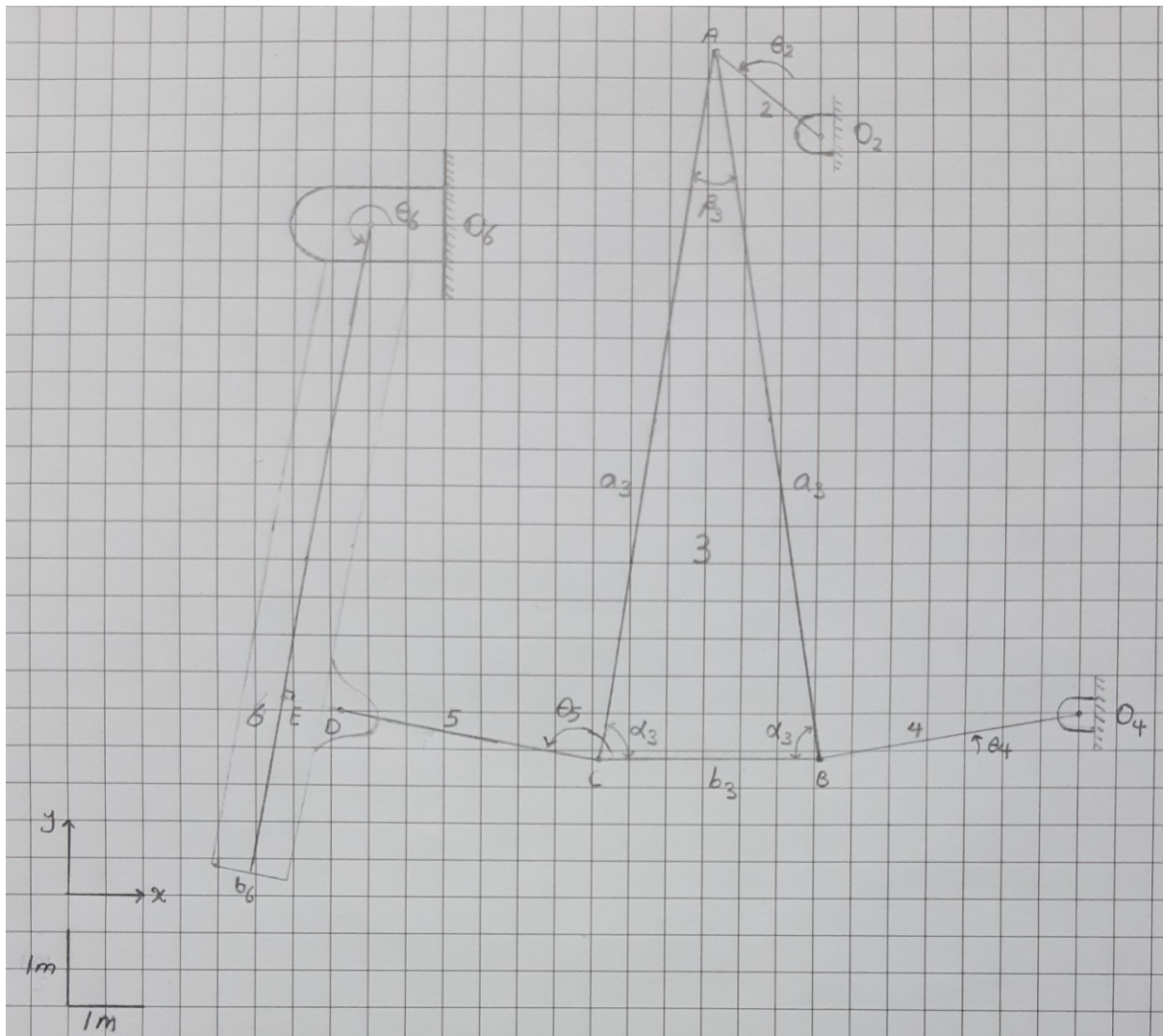
شکل ۱: مکانیزم انتخاب‌شده برای پروژه

در ادامه، ابعاد و زوایای لینک‌های این مکانیزم نشان داده شده و در روش ترسیمی نیز از آن استفاده شده است. لازم به ذکر است که روش ترسیمی بنا به ذات خود، دارای مقداری تفرانس است، در حالی که روش حلقه‌ی برداری که معادلات آن توسط نرم‌افزار *MATLAB* حل گردیده است، مقدار دقیق پارامترهای مکانیکی نظیر سرعت و شتاب لینک‌ها را نتیجه می‌دهد.

روش ترسیمی

نقشه و دیاگرام موقعیت

۳



$\theta_2 = 140^\circ$	$\theta_4 = 10^\circ$	$\theta_5 = 170^\circ$	$\theta_6 = 260^\circ$	$\alpha_3 = 81^\circ$	$\beta_3 = 18^\circ$
$l_2 = 1.8m$	$l_4 = 3.5m$	$l_5 = 3.5m$	$l_6 = 8.8m$	$a_3 = 9.6m$	$b_3 = 3m$
$O_2O_4 = 7.7m$ عمودی	$O_2O_4 = 3.5m$ افقی	$O_2O_6 = 1.2m$ عمودی	$O_2O_6 = 6m$ افقی	$O_6E = 6.4m$	$b_6 = 1m$
$ED = 0.8m$					

تحليل و رسم دیاگرام سرعت

تحليل سرعت:

$$\dot{\theta}_2 = -1 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \quad (\text{clockwise C.W.})$$

تحليل و رسم دياگرام شتاب

$$\ddot{\theta}_2 = -1 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} \quad (\text{معايير : عاكس : CW})$$

تحليل شتاب:

$$A_{A_2}^n = \dot{\theta}_2 \times (\dot{\theta}_2 \times \vec{O_2 A_2}) = \dot{\theta}_2^2 l_2 \rightarrow A_{A_2}^n = 1.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad \text{revolute } \leftarrow A \quad A_{A_3}^n = A_{A_2}^n \rightarrow A_{A_3}^n = 1.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$A_{A_2}^t = \ddot{\theta}_2 \times \vec{O_2 A_2} = \ddot{\theta}_2 l_2 \rightarrow A_{A_2}^t = 1.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad \text{revolute } \leftarrow A \quad A_{A_3}^t = A_{A_2}^t \rightarrow A_{A_3}^t = 1.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$A_{B_3} = A_{A_3} + A_{B_3 A_3} \quad \text{revolute } \leftarrow B \quad A_{B_4}^n + A_{B_4}^t = A_{A_3}^n + A_{A_3}^t + A_{B_3 A_3}^n + A_{B_3 A_3}^t$$

$$A_{B_4}^n = \dot{\theta}_4 \times (\dot{\theta}_4 \times \vec{O_4 B_4}) = \dot{\theta}_4^2 l_4 \rightarrow A_{B_4}^n = 0.4115 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$A_{B_3 A_3}^n = \dot{\theta}_3 \times (\dot{\theta}_3 \times \vec{A_3 B_3}) = \dot{\theta}_3^2 a_3 \rightarrow A_{B_3 A_3}^n = 0.2041 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\begin{cases} A_{B_3 A_3}^t = 2.1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}, A_{B_3 A_3}^t = \ddot{\theta}_3 \times \vec{A_3 B_3} = \ddot{\theta}_3 a_3 \rightarrow \ddot{\theta}_3 = 0.2188 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} \text{ CW} \\ A_{B_4}^t = 0.06 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}, A_{B_4}^t = \ddot{\theta}_4 \times \vec{O_4 B_4} = \ddot{\theta}_4 l_4 \rightarrow \ddot{\theta}_4 = 0.0171 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} \text{ CW} \end{cases}$$

$$A_{C_3} = A_{A_3} + A_{C_3 A_3}^n + A_{C_3 A_3}^t$$

$$A_{C_3 A_3}^n = \dot{\theta}_3 \times (\dot{\theta}_3 \times \vec{A_3 C_3}) = \dot{\theta}_3^2 a_3 \rightarrow A_{C_3 A_3}^n = 0.2041 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad (A_{B_3 A_3}^n \text{ في نفس الاتجاه})$$

$$A_{C_3 A_3}^t = \ddot{\theta}_3 \times \vec{A_3 C_3} = \ddot{\theta}_3 a_3 \rightarrow A_{C_3 A_3}^t = 2.1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad (A_{B_3 A_3}^t \text{ في نفس الاتجاه})$$

$$A_{C_3} = 0.96 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad \text{revolute } \leftarrow C \quad A_{C_5} = 0.96 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$A_{D_5} = A_{C_5} + A_{D_5 C_5} \quad \text{revolute } \leftarrow D \quad A_{D_6}^n + A_{D_6}^t = A_{C_5} + A_{D_5 C_5}^n + A_{D_5 C_5}^t$$

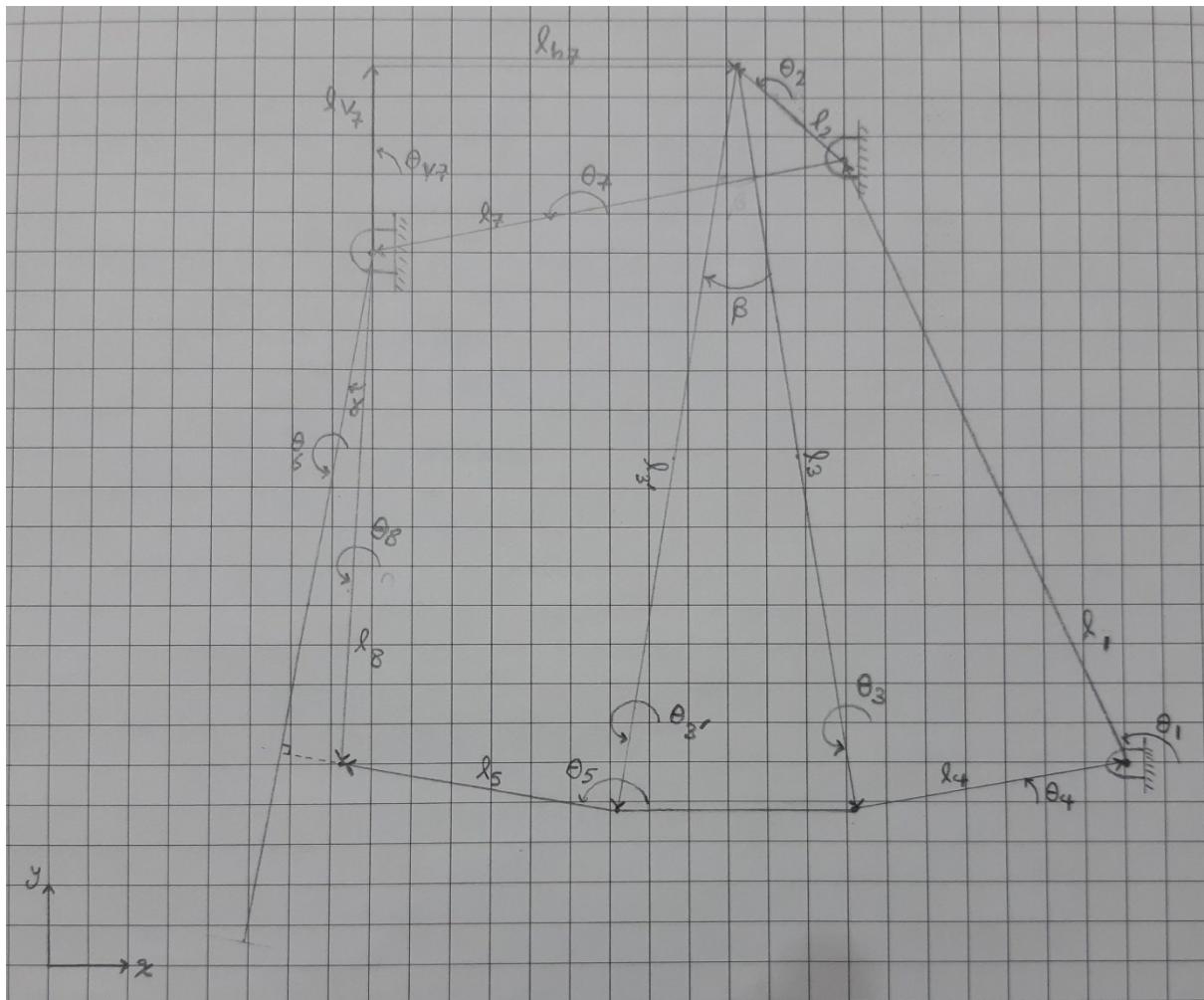
$$A_{D_6}^n = \dot{\theta}_6 \times (\dot{\theta}_6 \times \vec{O_6 D_6}) = \dot{\theta}_6^2 l_6 \rightarrow A_{D_6}^n = 0.0558 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$A_{D_5 C_5}^n = \dot{\theta}_5 \times (\dot{\theta}_5 \times \vec{O_5 C_5}) = \dot{\theta}_5^2 l_5 \rightarrow A_{D_5 C_5}^n = 0.6429 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$A_{D_5 C_5}^t = 0.78 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \rightarrow A_{D_5 C_5}^t = \ddot{\theta}_5 \times \vec{O_5 C_5} = \ddot{\theta}_5 l_5 \rightarrow \ddot{\theta}_5 = 0.2229 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} \text{ CCW}$$

$$A_{D_6}^t = 0.98 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \rightarrow A_{D_6}^t = \ddot{\theta}_6 \times \vec{O_6 D_6} = \ddot{\theta}_6 l_6 \rightarrow \ddot{\theta}_6 = 0.1519 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} \text{ CCW}$$

روش حلقه‌ی برداری



Design Parameters:

جیب + درایا را از جیب + محور x و y صورت یار ساخته در نظر می گیریم.
با استفاده از نقشه‌ی مکانیزم، مقادیر عددی را خوانده یا محاسبه می‌کنیم.

$$l_1 = \sqrt{(0.04)^2 + (0.04)^2} \rightarrow l_1 = 8.458 \text{ m}$$

$$\theta_1 = 90^\circ + \tan^{-1}\left(\frac{0.04}{0.04}\right) \rightarrow \theta_1 = 114.445^\circ$$

$$l_2 = 1.8 \text{ m}, l_3 = 9.6 \text{ m}, l_4 = 3.5 \text{ m}$$

$$l_7 = \sqrt{(0.06)^2 + (0.06)^2} \rightarrow l_7 = 6.119 \text{ m}$$

$$\theta_7 = 180^\circ + \tan^{-1}\left(\frac{0.06}{0.06}\right) \rightarrow \theta_7 = 191.310^\circ$$

$$\theta_{v7} = 90^\circ, \theta_{h7} = 0^\circ$$

$$\beta = -18^\circ, l_5 = 3.5 \text{ m}, l_{3'} = 2.6 \text{ m}$$

$$l_8 = \sqrt{(ED)^2 + (O_5E)^2} \rightarrow l_8 = 6.450 \text{ m}$$

$$\gamma = \tan^{-1}\left(\frac{ED}{O_5E}\right) \rightarrow \gamma = -3.576^\circ$$

Inputs: $\theta_2 = 140^\circ, \dot{\theta}_2 = -1 \frac{\text{rad}}{\text{s}}, \ddot{\theta}_2 = -1 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$ (ω ساعتگرد : علامت -)

(در 5 ثانیه)

پیش

Vector Loop #1: $\vec{l}_2 + \vec{l}_3 + \vec{l}_4 + \vec{l}_1 = \vec{0} \rightarrow$

(حلقه برداری شماره 1)

$$l_2 \cos \theta_2 + l_3 \cos \theta_3 + l_4 \cos \theta_4 + l_1 \cos \theta_1 = 0 \quad (1)$$

$$l_2 \sin \theta_2 + l_3 \sin \theta_3 + l_4 \sin \theta_4 + l_1 \sin \theta_1 = 0 \quad (2)$$

از حل همزمان معادلات (1) و (2) و محو کردن θ_4 و θ_3 به دست می آید. با مشتق گیری از این معادلات داریم:

$$-l_2 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 - l_3 \dot{\theta}_3 \sin \theta_3 - l_4 \dot{\theta}_4 \sin \theta_4 = 0 \quad (3)$$

$$l_2 \dot{\theta}_2 \cos \theta_2 + l_3 \dot{\theta}_3 \cos \theta_3 + l_4 \dot{\theta}_4 \cos \theta_4 = 0 \quad (4)$$

از حل همزمان معادلات (3) و (4) و محو کردن $\dot{\theta}_4$ و $\dot{\theta}_3$ به دست می آید. با مشتق گیری از این معادلات داریم:

$$-l_2 \ddot{\theta}_2 \sin \theta_2 - l_2 \dot{\theta}_2^2 \cos \theta_2 - l_3 \ddot{\theta}_3 \sin \theta_3 - l_3 \dot{\theta}_3^2 \cos \theta_3 - l_4 \ddot{\theta}_4 \sin \theta_4 - l_4 \dot{\theta}_4^2 \cos \theta_4 = 0 \quad (5)$$

$$l_2 \ddot{\theta}_2 \cos \theta_2 - l_2 \dot{\theta}_2^2 \sin \theta_2 + l_3 \ddot{\theta}_3 \cos \theta_3 - l_3 \dot{\theta}_3^2 \sin \theta_3 + l_4 \ddot{\theta}_4 \cos \theta_4 - l_4 \dot{\theta}_4^2 \sin \theta_4 = 0 \quad (6)$$

از حل همزمان معادلات (5) و (6) و محو کردن $\ddot{\theta}_4$ و $\ddot{\theta}_3$ به دست می آید.

پاسخ: $\theta_4 = 10.4530^\circ = 0.1824 \text{ rad}, \theta_3 = 278.6091^\circ = 4.8629 \text{ rad}$

$$\dot{\theta}_4 = -0.3402 \frac{\text{rad}}{\text{s}}, \dot{\theta}_3 = -0.1447 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\ddot{\theta}_4 = -0.0079 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}, \ddot{\theta}_3 = -0.2226 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

Vector Loop #2: $\vec{l}_2 + \vec{l}_7 + \vec{l}_{v7} + \vec{l}_{h7} = \vec{0} \rightarrow$

(حلقه‌ی برداری شماره 2)

$$l_2 \cos \theta_2 + l_7 \cos \theta_7 + l_{v7} \cos \theta_{v7} + l_{h7} \cos \theta_{h7} = 0 \quad (17)$$

$$-l_2 \sin \theta_2 + l_7 \sin \theta_7 + l_{v7} \sin \theta_{v7} + l_{h7} \sin \theta_{h7} = 0 \quad (18)$$

از حل هم‌زمان معادلات (17) و (18)، معادلاتی برای l_{v7} و l_{h7} به دست می‌آید. با مشتق‌گیری از این معادلات داریم:

$$l_2 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 + \dot{l}_{v7} \cos \theta_{v7} + \dot{l}_{h7} \cos \theta_{h7} = 0 \quad (19)$$

$$-l_2 \dot{\theta}_2 \cos \theta_2 + \dot{l}_{v7} \sin \theta_{v7} + \dot{l}_{h7} \sin \theta_{h7} = 0 \quad (20)$$

از حل هم‌زمان معادلات (19) و (20)، معادلاتی برای \dot{l}_{v7} و \dot{l}_{h7} به دست می‌آید. با مشتق‌گیری از این معادلات داریم:

$$l_2 \ddot{\theta}_2 \sin \theta_2 - l_2 \dot{\theta}_2^2 \cos \theta_2 + \ddot{l}_{v7} \cos \theta_{v7} + \ddot{l}_{h7} \cos \theta_{h7} = 0 \quad (21)$$

$$-l_2 \ddot{\theta}_2 \cos \theta_2 + l_2 \dot{\theta}_2^2 \sin \theta_2 + \ddot{l}_{v7} \sin \theta_{v7} + \ddot{l}_{h7} \sin \theta_{h7} = 0 \quad (22)$$

از حل هم‌زمان معادلات (21) و (22)، معادلاتی برای \ddot{l}_{v7} و \ddot{l}_{h7} به دست می‌آید.

پاسخ: $l_{v7} = 2.3571 \text{ m}$, $l_{h7} = 4.6213 \text{ m}$

$$\dot{l}_{v7} = 1.3789 \frac{\text{m}}{\text{s}}, \quad \dot{l}_{h7} = 1.1570 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\ddot{l}_{v7} = 0.2219 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}, \quad \ddot{l}_{h7} = -0.2219 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Vector Loop #3: $\vec{l}_{v7} + \vec{l}_{h7} + \vec{l}_{3'} + \vec{l}_5 - \vec{l}_8 = \vec{0} \quad \theta_{3'} = \theta_3 + \beta$

(حلقه‌ی برداری شماره 3)

$$l_{v7} \cos \theta_{v7} + l_{h7} \cos \theta_{h7} + l_{3'} \cos (\theta_3 + \beta) + l_5 \cos \theta_5 - l_8 \cos \theta_8 = 0 \quad (23)$$

$$l_{v7} \sin \theta_{v7} + l_{h7} \sin \theta_{h7} + l_{3'} \sin (\theta_3 + \beta) + l_5 \sin \theta_5 - l_8 \sin \theta_8 = 0 \quad (24)$$

از حل هم‌زمان معادلات (23) و (24)، معادلاتی برای l_{v7} و l_{h7} به دست می‌آید. با مشتق‌گیری از این معادلات داریم:

$$\dot{l}_{v7} \cos \theta_{v7} + \dot{l}_{h7} \cos \theta_{h7} - l_{3'} \dot{\theta}_3 \sin (\theta_3 + \beta) - l_5 \dot{\theta}_5 \sin \theta_5 + l_8 \dot{\theta}_8 \sin \theta_8 = 0 \quad (25)$$

$$\dot{l}_{v7} \sin \theta_{v7} + \dot{l}_{h7} \sin \theta_{h7} + l_{3'} \dot{\theta}_3 \cos (\theta_3 + \beta) + l_5 \dot{\theta}_5 \cos \theta_5 - l_8 \dot{\theta}_8 \cos \theta_8 = 0 \quad (26)$$

از حل هم‌زمان معادلات (25) و (26)، معادلاتی برای \dot{l}_{v7} و \dot{l}_{h7} به دست می‌آید. با مشتق‌گیری از این معادلات داریم:

$$\begin{cases} \ddot{l}_{v7} \cos \theta_{v7} + \ddot{l}_{h7} \cos \theta_{h7} - l_3 \ddot{\theta}_3 \sin(\theta_3 + \beta) - l_3 \dot{\theta}_3^2 \cos(\theta_3 + \beta) - l_5 \ddot{\theta}_5 \sin \theta_5 - l_5 \dot{\theta}_5^2 \cos \theta_5 \\ + l_8 \ddot{\theta}_8 \sin \theta_8 + l_8 \dot{\theta}_8^2 \cos \theta_8 = 0 \quad (17) \\ \ddot{l}_{v7} \sin \theta_{v7} + \ddot{l}_{h7} \sin \theta_{h7} + l_3 \ddot{\theta}_3 \cos(\theta_3 + \beta) - l_3 \dot{\theta}_3^2 \sin(\theta_3 + \beta) + l_5 \ddot{\theta}_5 \cos \theta_5 - l_5 \dot{\theta}_5^2 \sin \theta_5 \\ - l_8 \ddot{\theta}_8 \cos \theta_8 + l_8 \dot{\theta}_8^2 \sin \theta_8 = 0 \quad (18) \end{cases}$$

از حل معادلات (17) و (18) و محاسبه $\ddot{\theta}_5$ و $\ddot{\theta}_8$ به دست می آید. \ddot{l}_{v7} و \ddot{l}_{h7} از حل معادله برداری حاصل شده اند.

پاسخ: $\theta_5 = 168.8730^\circ = 2.9474 \text{ rad}$, $\theta_8 = 266.6284^\circ = 4.6536 \text{ rad}$

$$\dot{\theta}_5 = 0.4585 \frac{\text{rad}}{\text{s}}, \quad \dot{\theta}_8 = -0.0812 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\ddot{\theta}_5 = 0.1414 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}, \quad \ddot{\theta}_8 = -0.2598 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

* $\theta_6 = \theta_8 + \gamma \quad (19) \xrightarrow{\text{مشتق}} \dot{\theta}_6 = \dot{\theta}_8 \quad (20) \xrightarrow{\text{مشتق}} \ddot{\theta}_6 = \ddot{\theta}_8 \quad (21)$

θ_6 , $\dot{\theta}_6$ و $\ddot{\theta}_6$ از حل معادله برداری حاصل شده اند. در نتیجه:

پاسخ: $\theta_6 = 263.0524^\circ = 4.5911 \text{ rad}$

$$\dot{\theta}_6 = -0.0812 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\ddot{\theta}_6 = -0.2598 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$