

## ارائه یک مدل تماسی و تحلیل دینامیکی یک ربات دوپای صفحه‌ای

حسین معین خواه<sup>۱</sup>، مهدی کشمیری<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد؛ hmoein@gmail.com

<sup>۲</sup> استادیار گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اصفهان؛ Mehdi@cc.iut.ac.ir

### چکیده

در این مقاله سعی شده با فرض داشتن مسیر پایدار برای یک ربات دوپای صفحه‌ای، معادله‌های دینامیکی حرکت استخراج و مورد بررسی قرار گیرد. با معرفی یک مدل تماسی مناسب شامل فنر-دمپره‌های خطی، جهت مدل کردن برخورد بین کف پا و سطح زمین، معادلات حرکت با استفاده از روش لاگرانژ استخراج می‌شوند. برای حالت مقید، ضرایب لاگرانژ به کمک ماتریس مکمل متعامد حذف و فرم کاهش یافته معادلات، محاسبه می‌شوند. دینامیک معکوس ربات در فازهای دو تکیه‌گاهی و تک تکیه‌گاهی حل شده و گشتاورهای مفصلی و نیروهای اعمالی به کف پا بدست می‌آیند. در انتها با طراحی یک کنترل کننده مناسب، سعی خواهد شد تا هر مفصل بطور مجزا جهت تعقیب مسیرهای مطلوب کنترل شود.

**کلمات کلیدی:** ربات دوپا، پایداری دینامیکی، دینامیک معکوس، قید هولونومیک.

### مقدمه

امروزه رباتهای انسان‌نما توجه بسیاری از محققین در سراسر جهان را به خود معطوف کرده‌اند، به نحوی که بسیاری از تحقیقات در زمینه رباتیک پیشرفته حول این موضوع قرار می‌گیرد، بخصوص اینکه قابلیت‌های حرکتی این ربات، استفاده‌های خاص و منحصر به فردی را در بین رباتهای متحرک بوجود آورده است. راه رفتن روی سطوح ناهموار یا همراه با مانع، بالا رفتن از پله و حرکت بر روی سطح شیبدار از جمله توانایی‌های این نوع ربات‌ها می‌باشند.

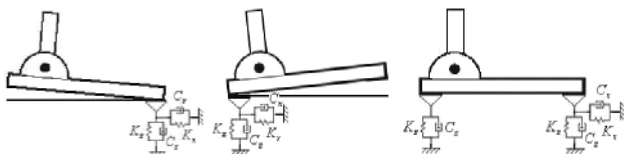
در سالهای اخیر روش‌های متعددی برای تحلیل دینامیکی رباتهای دوپا ارائه شده‌است. تود<sup>۱</sup> و رایبرت<sup>۲</sup> به صورت وسیع روی جزئیات بالانس دینامیکی رباتهای دوپا با استفاده از دو معیار ZMP و COG تحقیقاتی انجام دادند. [1,2] جری پرت<sup>۳</sup> در زمینه استخراج معادلات دینامیکی طبیعی مطالعاتی انجام داد. او از مدل پاندول معکوس برای بدست آوردن معادلات دینامیکی، استفاده کرد. [3] فرانک جنوت<sup>۴</sup> و همکاران نیز اثرات برخورد پا با سطح زمین را روی دینامیک حرکت یک ربات دوپا بررسی کردند. [4] فلیپ ام سیلوا<sup>۵</sup> و تتری پرو ماچادو<sup>۶</sup> تحقیقی در مورد مدل تماسی برخورد بین کف پا و سطح زمین انجام دادند. آنها در حالت تک تکیه‌گاهی از فنر و دمپرهایی در راستای قائم و افق جهت مدل کردن تماس بین پا و زمین استفاده کردند و سپس با کنترل نیروهای بوجود آمده سعی نمودند تا ربات را پایدار نگاهدارند. [5]

در این مقاله تحلیل دینامیکی و استخراج معادلات دینامیکی برای دو فاز تک تکیه‌گاهی و دو تکیه‌گاهی، با فرض داشتن مسیر پایدار [6]، انجام شده‌است. سعی شده‌است با ارائه یک مدل تماسی برای برخورد کف پا با زمین و حل دینامیک معکوس ربات، گشتاورهای مفصل و نیروهای عکس‌العمل سطح را بدست آوریم.

جهت بررسی اثر پارامترهای مربوط به مدل تماسی موجود، دینامیک ربات همراه با در نظر گرفتن مدل صلب برای کف پا نیز حل شده و با مقادیر مربوط به مدل انعطاف پذیر مقایسه شده‌است.

### مدل تماسی کف پا

مدل تماسی کف پا با سطح زمین یکی از مهمترین مباحث تحلیل دینامیکی ربات‌های راه‌رونده است. از آنجا که نیروی اصطکاک بین کف پا و سطح تماس و همچنین نیروی قائم سطح در رباتهای دوپا، بخاطر تغییر فازهای تکیه‌گاهی (از دو تکیه‌گاهی به تک تکیه‌گاهی و برعکس) متغیر است، ارائه یک مدل تماسی مناسب با شرایط مختلف سطح را، الزامی می‌کند. در این تحقیق تماس بین کف پا و سطح زمین توسط فنر-دمپره‌های خطی در راستای افقی و قائم مدل شده‌است. فرض می‌شود که ربات در دو نقطه پاشنه و پنجه با زمین در تماس است. بسته به اینکه ربات در فاز تک تکیه‌گاهی باشد یا دو تکیه‌گاهی، این مدل تماسی متفاوت خواهد بود. (شکل ۱)



شکل ۱: مدل تماسی کف پا برای هر دو فاز تکیه‌گاهی

نیروهای مماسی و قائم اعمالی به کف پا از روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$\begin{aligned} F_t &= -C_x \dot{X} - K_x (X - X_0) \\ F_n &= -C_z \dot{Z} - K_z (Z - Z_0) \end{aligned} \quad (1)$$

که در این روابط  $C_x$  و  $C_z$  ضرایب دمپینگ،  $K_x$  و  $K_z$  ضرایب سختی فنرها هستند که در جدول ۱ آورده شده‌اند.  $X_0$  و  $Z_0$  موقعیت کف پا در لحظه اولیه تماس می‌باشند.

جدول ۱: پارامترهای تماسی کف پا با سطح زمین

$K_x$ (N/m)	$K_z$ (N/m)	$C_x$ (Ns/m)	$C_z$ (Ns/m)
5e4	5e4	500	50

1-Todd

2- Raibert

5- F. M. Silva

3- Jerry Pratt

4- Frank Genot

6- J. A. T. Machado