

دانشگاه تهران  
پردیس دانشکده‌های فنی  
دانشکده علوم مهندسی  
گروه کنترل



# طراحی و ساخت حسگر لامسه‌ی منعطف بر اساس ترکیب داده‌های حسگری برای تعامل و کار کردن با اشیاء

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی یرق  
گرایش کنترل

محمد رضا شیخ عظیمی پور سر درود

اساتید راهنما

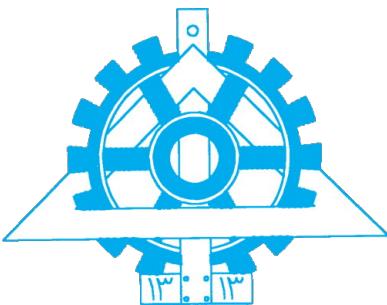
دکتر مهدی طالع ماسوله و دکتر احمد کلهر

شهریور ۱۴۰۵



سُبْحَانَ رَبِّ الْجَمَلِ





دانشگاه تهران  
پردیس دانشکده‌های فنی  
دانشکده علوم مهندسی  
گروه کنترل



# طراحی و ساخت حسگر لامسه‌ی منعطف بر اساس ترکیب داده‌های حسگری برای تعامل و کار کردن با اشیاء

پایان‌نامه برای دریافت درجهٔ کارشناسی ارشد در رشتهٔ مهندسی برق  
گرایش کنترل

محمد رضا شیخ عظیمی پور سر درود

اساتید راهنما

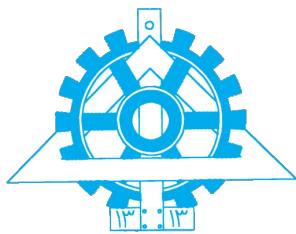
دکتر مهدی طالع ماسوله و دکتر احمد کلهر

استاد مشاور

دکتر محمد رضا نیری

شهریور ۱۴۰۵





دانشگاه تهران  
پردیس دانشکده‌های فنی  
دانشکده علوم مهندسی



## گواهی دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

هیأت داوران پایان نامه کارشناسی ارشد آقای / خانم محمدرضا شیخ عظیمی پور سر درود به شماره دانشجویی ۸۱۰۱۳۴۱ در رشته مهندسی یرق - گرایش کنترل را در تاریخ ..... با عنوان «طراحی و ساخت حسگر لامسه‌ی منعطف بر اساس ترکیب داده‌های حسگری برای تعامل و کار کردن با اشیاء»  
به عدد

|  |  |
|--|--|
|  |  |
|--|--|

با نمره نهایی

ارزیابی کرد.

|  |
|--|
|  |
|--|

و درجه

| ردیف | مشخصات هیأت داوران             | نام و نام خانوادگی    | مرتبه دانشگاهی | دانشگاه یا مؤسسه   | امضा |
|------|--------------------------------|-----------------------|----------------|--------------------|------|
| ۱    | استاد راهنما                   | دکتر مهدی طالع ماسوله | دانشیار        | دانشگاه تهران      |      |
| ۲    | استاد راهنما                   | دکتر احمد کلهر        | دانشیار        | دانشگاه تهران      |      |
| ۳    | استاد مشاور                    | دکتر محمدرضا نیری     | استادیار       | دانشگاه تهران      |      |
| ۴    | استاد داور داخلی               | دکتر داور داخلی       | دانشیار        | دانشگاه تهران      |      |
| ۵    | استاد مدعو                     | دکتر داور خارجی       | دانشیار        | دانشگاه داور خارجی |      |
| ۶    | نماینده تحصیلات تکمیلی دانشکده | دکتر نماینده          | دانشیار        | دانشگاه تهران      |      |

نام و نام خانوادگی معاون آموزشی و تحصیلات

نام و نام خانوادگی معاون تحصیلات تکمیلی و

تکمیلی پردیس دانشکده‌های فنی:

پژوهشی دانشکده / گروه:

تاریخ و امضا:

تاریخ و امضا:



## تعهدنامه اصالت اثر

باسم‌هه تعالی

اینجانب محمدرضا شیخ عظیمی پور سردوود تأیید می‌کنم که مطالب مندرج در این پایان‌نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشه از آن‌ها استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان‌نامه قبلًا برای احراز هیچ مدرک هم‌سطح یا بالاتری ارائه نشده است.

نام و نام خانوادگی دانشجو: محمدرضا شیخ عظیمی پور سردوود

تاریخ و امضای دانشجو:



کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر  
متعلق به دانشگاه تهران است.



تقدیم به:

خانواده‌ام

حامیان و یاوران همیشگی



## قدردانی

سپاس خداوندگار حکیم را که با لطف بی کران خود، آدمی را به زیور عقل آراست.  
در آغاز وظیفه خود می دام از زحمات بی دریغ اساتید راهنمای خود، جناب آقای دکتر ... و ...، صمیمانه  
تشکر و قدردانی کنم که در طول انجام این پایان نامه با نهایت صبوری همواره راهنمای و مشوق من بودند و قطعاً  
بدون راهنمایی های ارزنده ایشان، این مجموعه به انجام نمی رسید.  
از جناب آقای دکتر ... که زحمت مشاوره، بازبینی و تصحیح این پایان نامه را تقبل فرمودند کمال امتنان را  
دارم.

با سپاس بی دریغ خدمت دوستان گران مایه ام، خانم ها ... و آقایان ... در آزمایشگاه ...، که با همفکری مرا  
صمیمانه و مشفقانه یاری داده اند.  
و در پایان، بوسه می زنم بر دوستان خداوندگاران مهر و مهربانی، پدر و مادر عزیزم و بعد از خدا، ستایش می کنم  
وجود مقدس شان را و تشکر می کنم از خانواده عزیزم به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان، که  
بهترین پشتیبان من بودند.

محمد رضا شیخ عظیمی پور سردرود

۱۴۰۵ شهریور



## چکیده

این راهنمای نمونه‌ای از قالب پژوهش، پایان‌نامه و رساله دانشگاه تهران می‌باشد که با استفاده از کلاس-*tehran* و بسته زی پرشین در *LATeX* تهیه شده است. این قالب به گونه‌ای طراحی شده است که مطابق با دستورالعمل نگارش و تدوین پایان‌نامه کارشناسی ارشد و دکتری، مورخ ۰۳/۰۶/۹۳ پردازی دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران باشد و حروف چینی بسیاری از قسمت‌های آن، مطابق با استاندارد قالب‌های فارسی پایان‌نامه در لاتک، به طور خودکار انجام می‌شود.

چکیده بخشی از پایان‌نامه است که خواننده را به مطالعه آن علاقمند می‌کند و یا از آن می‌گریزاند. چکیده باید ترجیحاً در یک صفحه باشد. در نگارش چکیده نکات زیر باید رعایت شود. متن چکیده باید مزین به کلمه‌ها و عبارات سلیس، آشنا، بامعنی و روشن باشد. بگونه‌ای که با حدود ۳۰۰ تا ۵۰۰ کلمه بتواند خواننده را به خواندن پایان‌نامه راغب نماید. چکیده، جدای از پایان‌نامه باید به تنها یی گویا و مستقل باشد. در چکیده باید از ذکر منابع، اشاره به جداول و نمودارها اجتناب شود. تمیز بودن مطلب، نداشتن غلط‌های املایی یا دستور زبانی و رعایت دقت و تسلسل روند نگارش چکیده از نکات مهم دیگری است که باید درنظر گرفته شود. در چکیده پایان‌نامه باید از درج مشخصات مربوط به پایان‌نامه خودداری شود. چکیده باید منعکس‌کننده اصل موضوع باشد. در چکیده باید اهداف تحقیق مورد توجه قرار گیرد. تأکید روی اطلاعات تازه (یافته‌ها) و اصطلاحات جدید یا نظریه‌ها، فرضیه‌ها، نتایج و پیشنهادها متمرکز شود. اگر در پایان‌نامه روش نوینی برای اولین بار ارائه می‌شود و تا به حال معمول نبوده است، با جزئیات بیشتری ذکر شود. شایان ذکر است چکیده فارسی و انگلیسی باید حتماً به تأیید استاد راهنما رسیده باشد.

کلمات کلیدی در انتهای چکیده فارسی و انگلیسی آورده می‌شود. محتوای چکیده‌ها بر اساس موضوع و گرایش تحقیق طبقه‌بندی می‌شود و به همین جهت وجود کلمات شاخص و کلیدی، مراکز اطلاعاتی را در طبقه‌بندی دقیق و سریع پایان‌نامه یاری می‌دهد. کلمات کلیدی، راهنمای نکات مهم موجود در پایان‌نامه هستند. بنابراین باید در حد امکان کلمه‌ها یا عباراتی انتخاب شود که ماهیت، محتوا و گرایش کار را به وضوح روشن نماید.

واژگان کلیدی حداقل ۵ کلمه یا عبارت، متناسب با عنوان، قالب پایان‌نامه، لاتک



# فهرست مطالب

ث

فهرست تصاویر

ج

فهرست جداول

چ

فهرست الگوریتم‌ها

ح

فهرست برنامه‌ها

۱

فصل ۱: مقدمه

۱

۱.۱ پیشگفتار

۲

۲.۱ نحوه ادراک ربات‌ها از محیط و اشیاء

۲

۲.۲.۱ آیا بینایی به تنها ی کافیست؟

۳

۲.۲.۱ لزوم حس لامسه در ربات

۳

۳.۲.۱ اهمیت حس لامسه در چنگک‌های رباتی

۴

۴.۲.۱ الهام از زیست: حس لامسه در انسان

۵

۱.۴.۲.۱ ماهیت چندوجهی حس لامسه انسان

۷

۲.۴.۲.۱ ویژگی نرم و ارتجاعی نوک انگشتان

۸

۳.۱ انواع روش‌های تبدیل در ساخت حسگر لامسه و مروری بر کارهای پیشین

۸

۱.۳.۱ روش‌های مبتنی بر پیزوالکتریک

۹

۲.۳.۱ روش‌های مبتنی بر پیزو مقاومت

۱۳

۳.۳.۱ روش‌های خازنی

|    |   |
|----|---|
| ۱۶ | ۴.۳.۱ مکانیزم نوری . . . . .                                    |
| ۱۶ | ۱.۴.۳.۱ روش‌های مبتنی بر دوربین و ثبت تصویر کلی لامسه . . . . . |
| ۱۸ | ۲.۴.۳.۱ روش‌های مبتنی بر بازتاب نقطه‌ای نور . . . . .           |
| ۲۰ | ۳.۴.۳.۱ نوشتن فصل‌ها . . . . .                                  |
| ۲۱ | ۴.۴.۳.۱ مراجع . . . . .   |
| ۲۱ | ۵.۴.۳.۱ واژه‌نامه فارسی به انگلیسی و برعکس . . . . .            |
| ۲۲ | ۶.۴.۳.۱ نمایه . . . . .   |
| ۲۲ | ۵.۰.۳.۱ اگر سوالی داشتم، از کی پرسم؟ . . . . .                  |
| ۲۲ | ۴.۱ محتویات فصل اول یک پایان‌نامه . . . . .                     |
| ۲۳ | ۱.۴.۱ عنوان تحقیق . . . . .                                     |
| ۲۳ | ۲.۴.۱ مسئله تحقیق . . . . .                                     |
| ۲۳ | ۳.۴.۱ تاریخچه‌ای از موضوع تحقیق . . . . .                       |
| ۲۳ | ۴.۴.۱ تعریف موضوع تحقیق . . . . .                               |
| ۲۴ | ۵.۴.۱ هدف یا هدف‌های کلی و آرمانی تحقیق . . . . .               |
| ۲۴ | ۶.۴.۱ روش انجام تحقیق . . . . .                                 |
| ۲۴ | ۷.۴.۱ نوآوری، اهمیت و ارزش تحقیق . . . . .                      |
| ۲۵ | ۸.۴.۱ تعریف واژه‌ها (اختیاری) . . . . .                         |
| ۲۵ | ۹.۴.۱ خلاصه فصل‌ها . . . . .                                    |
| ۲۵ | ۵.۱ جمع‌بندی . . . . .  |
| ۲۷ | <b>فصل ۲: مروری بر مطالعات انجام شده</b>                        |
| ۲۷ | ۱.۲ مقدمه . . . . .   |
| ۲۸ | ۲.۲ تعاریف، اصول و مبانی نظری . . . . .                         |
| ۲۸ | ۳.۲ مروری بر ادبیات موضوع . . . . .                             |
| ۲۸ | ۴.۲ نتیجه‌گیری . . . . .  |
| ۲۹ | <b>فصل ۳: روش تحقیق</b>   |

## طراحی و ساخت حسگر لامسه‌ی منعطف بر اساس ترکیب داده‌های حسگری برای تعامل و کار کردن با اشیاء فهرست مطالب

|              |         |  |
|--------------|---------|--|
| ۲۹ . . . . . | ۱.۳     | مقدمه  |
| ۲۹ . . . . . | ۲.۳     | محتوا (نامگذاری بر اساس روش تحقیق و مسأله مورد مطالعه) |
| ۲۹ . . . . . | ۱.۲.۳   | علت انتخاب روش   |
| ۲۹ . . . . . | ۲.۲.۳   | تشریح کامل روش تحقیق                                   |
| ۳۳           |         | فصل ۴: نتایج   |
| ۳۳ . . . . . | ۱.۴     | مقدمه  |
| ۳۳ . . . . . | ۲.۴     | محتوا  |
| ۳۴ . . . . . | ۳.۴     | اعتبارسنجی   |
| ۳۵           |         | فصل ۵: بحث و نتیجه‌گیری                                |
| ۳۵ . . . . . | ۱.۵     | مقدمه  |
| ۳۶ . . . . . | ۲.۵     | محتوا  |
| ۳۶ . . . . . | ۱.۲.۵   | جمع‌بندی   |
| ۳۶ . . . . . | ۲.۲.۵   | نوآوری   |
| ۳۷ . . . . . | ۳.۲.۵   | پیشنهادها  |
| ۳۷ . . . . . | ۴.۲.۵   | محدودیت‌ها   |
| ۳۹           |         | مراجع  |
| ۴۵           |         | پیوست آ: آشنایی سریع با برخی دستورات لاتک              |
| ۴۵ . . . . . | ۱.آ     | بندها و زیرنویس‌ها                                     |
| ۴۶ . . . . . | ۲.آ     | فرمول‌های ریاضی  |
| ۴۶ . . . . . | ۱.۲.۰   | یک زیربخش  |
| ۴۶ . . . . . | ۱.۱.۲.۰ | یک زیرزیربخش   |
| ۴۷ . . . . . | ۲.آ     | نوشته‌های فارسی و انگلیسی مخلوط                        |
| ۴۷ . . . . . | ۴.آ     | افزودن تصویر به نوشته                                  |
| ۴۸ . . . . . | ۵.آ     | محیط‌های شمارش و نکات                                  |

فهرست مطالب طراحی و ساخت حسگر لامسه‌ی منعطف بر اساس ترکیب داده‌های حسگری برای تعامل و کار کردن با اشیاء

|   |  |
|---|--|
| ۶. آ. تعریف و قضیه ..... ۴۸                                 |  |
| ۷. آ. چگونگی نوشتن و ارجاع به مراجع ..... ۴۹                |  |
| پیوست ب: جدول، نمودار و الگوریتم در لاتک                    |  |
| ب. ۱. جدول ..... ۵۱   |  |
| ب. ۲. معادلات ریاضی و ماتریس‌ها ..... ۵۲                    |  |
| ب. ۳. الگوریتم ..... ۵۳                                     |  |
| ب. ۳.۱. الگوریتم ساده با دستورهای فارسی ..... ۵۳            |  |
| ب. ۳.۲. الگوریتم پیچیده و تودرتو با دستورهای فارسی ..... ۵۳ |  |
| ب. ۳.۳. الگوریتم با دستورهای لاتین ..... ۵۳                 |  |
| ب. ۴. کد ..... ۵۵   |  |
| ب. ۵. تصویر ..... ۵۵  |  |
| ب. ۶. نمودار ..... ۵۶                                       |  |
| ب. ۷. نحوه قرارگیری اشیای شناور ..... ۵۶                    |  |
| پیوست ب: مراجع، واژه‌نامه و حاشیه‌نویسی                     |  |
| پ. ۱. مراجع و نقل قول‌ها ..... ۵۹                           |  |
| پ. ۱.۱. مدیریت مراجع با BibTeX ..... ۶۰                     |  |
| پ. ۲. سبک‌های مورد تأیید دانشگاه تهران ..... ۶۱             |  |
| پ. ۳. سبک‌های فارسی قابل استفاده در زیپرشین ..... ۶۲        |  |
| پ. ۴. ساختار فایل مراجع ..... ۶۳                            |  |
| پ. ۵.۱. نحوه اجرای BibTeX ..... ۶۴                          |  |
| پ. ۲. واژه‌نامه‌ها و فهرست اختصارات ..... ۶۵                |  |
| پ. ۳. حاشیه‌نویسی در نسخه پیش‌نویس ..... ۶۶                 |  |

## فهرست تصاویر

|        |  |    |
|--------|--|----|
| ۱.۱    | ورود ربات ها به دنیای تعامل با انسان ها  | ۲  |
| ۲.۱    | نمونه‌ای از تعامل چنگک های رباتی با اشیاء ظریف و نرم [۱]   | ۵  |
| ۳.۱    | مقطعی از ساختار پوست انسان و محل قرارگیری چهار گیرنده لامسه اصلی در نوک انگشتان [۲]                      | ۶  |
| ۴.۱    | شمای کلی حسگر ارائه شده در پژوهش [۳]   | ۱۰ |
| ۵.۱    | المان پیزومقاومتی استفاده شده در [۴] از جنس $\text{Si}_3\text{N}_4$                                      | ۱۱ |
| ۶.۱    | نمودارهای مشخصه برای حسگر های پیزومقاومتی. ۶.۱ آ: مقاومت الکتریکی بر حسب نیرو. ۶.۱ ب: پسماند سیگنانل [۵] | ۱۲ |
| ۷.۱    | ساختار حسگر لامسه خازنی معرفی شده در [۶]   | ۱۵ |
| ۸.۱    | ساختار حسگر لامسه Gelsight معرفی شده در [۷]  | ۱۷ |
| ۹.۱    | ساختار حسگر لامسه مبتنی بر بازتاب نور [۸]  | ۱۹ |
| ۱۰.۱   | یک نمونه نمودار خلاصه برای نمایش نوآوری در نتایج   | ۲۴ |
| ۱۰.۱ آ | در این تصویر یک شیر علاقه‌مند به لاتک را در حال دویدن می‌بینید.  | ۴۷ |
| ۱۰.۱ ب | دو شیر   | ۵۶ |
| ۱۰.۲ ب | یک نمودار زیبا با ارقام فارسی و قابلیت بزرگ‌نمایی بسیار، بدون از دست دادن کیفیت.                         | ۵۷ |

# فهرست جداول

|     |  |    |
|-----|--|----|
| ۱.۱ | خلاصه‌ای از ویژگی‌ها و وظایف گیرنده‌های لامسه در نوک انگشتان انسان [۹] . . . . . | ۶  |
| ۲.۱ | مقایسه سنسورهای لمسی پیزوالکتریک گزارش شده در مقالات مختلف . . . . .             | ۹  |
| ۳.۱ | مقایسه سنسورهای لمسی پیزومقاومتی گزارش شده در مقالات مختلف . . . . .             | ۱۲ |
| ۴.۱ | مقایسه سنسورهای لمسی خازنی گزارش شده در مقالات مختلف . . . . .                   | ۱۵ |
| ۵.۱ | مقایسه سنسورهای لمسی خازنی گزارش شده در مقالات مختلف . . . . .                   | ۲۰ |
| ۱.۳ | اندیس‌های به کار رفته در مدل ریاضی . . . . .                                     | ۳۰ |
| ۲.۳ | پارامترهای مدل ریاضی . . . . .   | ۳۱ |
| ۳.۳ | متغیرهای مدل ریاضی . . . . .   | ۳۱ |
| ب.۱ | مدل‌های تبدیل . . . . .  | ۵۱ |
| ب.۲ | مدل‌های تبدیل دیگر . . . . .   | ۵۲ |

## فهرست الگوریتم‌ها

|      |  |    |
|------|--|----|
| ب. ۱ | الگوریتم DLT برای تخمین ماتریس هوموگرافی. . . . .    | 5۳ |
| ب. ۲ | الگوریتم اجرای برنامه شبیه‌سازی . . . . .            | 5۴ |
| ب. ۳ | الگوریتم RANSAC برای تخمین ماتریس هوموگرافی. . . . . | 5۵ |

## فهرست برنامه‌ها

۵۵ ..... ب.۱ نمونه کد MATLAB

طراحی و ساخت حسگر لامسه‌ی منعطف بر اساس ترکیب داده‌های حسگری برای تعامل و کار کردن با اشیاء فهرست برنامه‌ها

خ

# فصل ۱

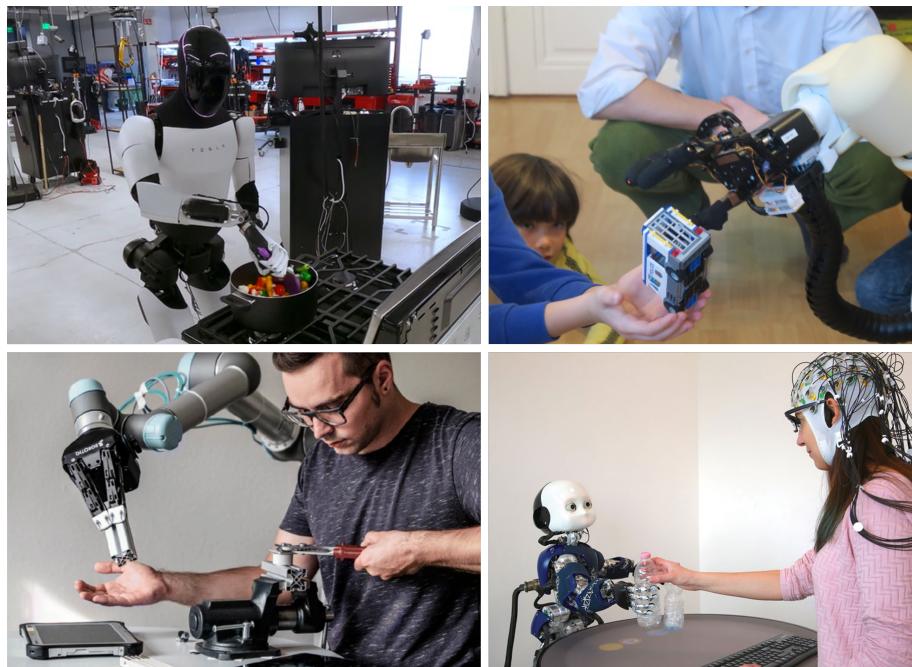
## مقدمه

### ۱.۱ پیشگفتار

رباتیک حوزه‌ای میانرشته‌ای متشکل از دانش مکانیک، الکترونیک، کنترل و علوم رایانه می‌باشد که به طراحی، ساخت و بهره‌برداری از سامانه‌هایی می‌پردازد که قادرند وظایف را به صورت خودکار یا نیمه‌خودکار انجام دهند. [۱۰] از دهه‌ها قبل، ورود ربات‌ها به صنایع، آن‌ها را به عنوان راه حل‌هایی قابل اعتماد، دقیق و خستگی‌ناپذیر برای صنعتگران تثبیت کرده است. با پیشرفت روزافزون فناوری، کاهش هزینه‌های تولید، کاربرد ربات‌ها از محیط‌های صنعتی کنترل شده فراتر رفته و پا بر عرصه تعامل مستقیم با انسان‌ها در محیط‌های اجتماعی و خانگی گذاشت. [۱۱، ۱۲] در ادامه‌ی این گسترش کاربرد و با رشد هوش مصنوعی، یادگیری ماشین و حسگرهای پیشرفته، علم رباتیک در حوزه‌های پزشکی، کشاورزی، خدمات، اکتشاف و تعامل اجتماعی با انسان نیز ورود کرده است. [۱۳، ۱۴] این گسترش دامنه کاربرد، اهمیت درک عمیق‌تر ربات از محیط و تعامل ایمن و با انسان و اشیاء را بیش از پیش برجسته کرده است. برای رسیدن به مهم، ربات‌ها باید قادر باشند محیط خود را بفهمند و با اشیاء و محیط به شیوه‌ای مشابه انسان‌ها تعامل کنند. در نتیجه، برای گذار از ربات‌هایی صرفاً تکرارکار به ربات‌های هوشمند و تطبیق‌پذیر، طراحی و ساخت حسگرهای پیشرفته و چندوجهی<sup>۱</sup> بهره‌بردن حداکثری از داده‌های آن‌ها ضرورت دارد. [۱۵]

---

<sup>1</sup>Multi-modal



شکل ۱.۱: ورود ربات‌ها به دنیای تعامل با انسان‌ها

## ۲.۱ نحوه ادراک ربات‌ها از محیط و اشیاء

ربات‌ها به طور معمول از حسگرهای گوناگونی برای درک محیط استفاده می‌کنند. این حسگرها را می‌توان به دو دسته کلی غیرتماسی و تماسی تقسیم کرد. انواع دوربین‌های دوبعدی، تشخیص عمق و رادار لیزری<sup>۲</sup> نمونه‌ای از حسگرهای غیرتماسی هستند که اطلاعاتی در مورد اشیاء و محیط، بدون تماس فیزیکی، فراهم می‌کنند. این حسگرها به در خدمت روش‌های یادگیری ماشین، توانسته‌اند ربات‌ها را قادر سازند تا برنامه‌ریزی صحیحی برای تعامل با محیط انجام دهند و محل مناسب برای گرفتن اشیاء را تشخیص دهند. [۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹]

### ۱.۲.۱ آیا بینایی به تهایی کافیست؟

با وجود پیشرفت‌های چشمگیر در حوزه‌ی بینایی ماشین<sup>۳</sup> و کنترل ربات بر مبنای این حس<sup>۴</sup>، بینایی به تهایی برای انجام وظایف پیچیده کافی نبوده و قادر به درک ویژگی‌های فیزیکی اشیا مانند نرمی، شکنندگی، بافت سطح یا نیروی اعمالی نیست. حس بینایی نمی‌تواند به طور مستقیم و در لحظه اصطکاک و یا لغزش بین چنگک و

<sup>2</sup>LIDAR

<sup>3</sup>Computer Vision

<sup>4</sup>Vision-based Robot Control

جسم را تشخیص دهد؛ با تکیه بر بینایی نمی‌توان میزان نیروی اعمال شده به یک جسم نرم یا شکننده را کنترل کرد. [۲۰، ۹] همچنین، هنگامی که چنگک<sup>۵</sup> یک جسم را می‌گیرد، آن جسم ممکن است دید حسگر بینایی را مسدود کند و اطلاعات لحظه‌ای مربوط به تماس از دست برود. این ناتوانی‌ها چالشی بزرگ برای تعامل پایدار و مفید با اشیاء ایجاد می‌کنند. در نتیجه واضح است که صرفاً اتکا به حس بینایی برای انجام وظایف پیچیده و طریف کافی نیست و نیاز به اطلاعات حسی دیگری به خصوص حس لامسه ضروری است.

## ۲.۲.۱ لزوم حس لامسه در ربات

حس لامسه یکی از مؤلفه‌های اصلی درک محیط توسط ربات، بهویژه در تعامل فیزیکی با اشیا، است. این حس امکان اندازه‌گیری نیروهای عمودی و جانبی، تشخیص برخورد با سایر عوامل موجود در محیط و اعمال نیروی مناسب در حین انجام وظایف را فراهم می‌کند. [۲۱، ۲۲] وجود حس لامسه برای انجام وظایفی که نیازمند کنترل دقیق نیرو و تعامل ایمن با اشیای طریف هستند، ضروری است. به عنوان مثال، در وظایف موتاژ، جابه‌جایی مواد غذایی، یا تعامل با انسان، حس لامسه نقشی کلیدی در جلوگیری از آسیب به اشیا و بهبود عملکرد کلی ایفا می‌کند. همچنین، پژوهش‌ها نشان داده‌اند که ادغام داده‌های لامسه و بینایی می‌تواند ادراک ربات را مشابه عملکرد انسان بهبود و سازگاری ربات با شرایط ناشناخته را افزایش دهد. [۱۲]

## ۳.۲.۱ اهمیت حس لامسه در چنگک‌های رباتی

عملگرهای نهایی<sup>۶</sup> و بهویژه چنگک‌ها، اصلی‌ترین رابط مکانیکی بین ربات و محیط پیرامون آن محسوب می‌شوند. آن‌ها نقطه اصلی تماس ربات با اشیاء هستند و بخش عمداتی از وظایف یک ربات، از جمله گرفتن، جابه‌جایی و دستکاری اشیاء، توسط این ابزارها انجام می‌شود. در دهه‌های گذشته، تمرکز اصلی در رباتیک صنعتی بر روی وظایف تکراری و از پیش تعریف شده در محیط‌های کاملاً کنترل شده بود؛ اما امروزه با گسترش کاربرد ربات‌ها در حوزه‌هایی مانند خدمات، پزشکی، کشاورزی و تعامل مستقیم با انسان، نیاز به ساختاری امن، قابل اعتماد و هوشمند برای این تعاملات به یکی از اهداف اصلی حوزه رباتیک تبدیل شده است. [۱۱] عملکرد قابل اطمینان برای چنگک‌های رباتی بسیار فراتر از یک گرفتن و رها کردن ساده است. یک گرفتن موفق نه تنها مستلزم لمس جسم هدف می‌باشد، بلکه باید از خطراتی مانند لغزش<sup>۷</sup> شئ هدف و یا آسیب رساندن به آن به دلیل اعمال نیروی بیش از حد نیز جلوگیری شود. اینجاست که محدودیت‌های سیستم‌های کنترلی که صرفاً بر حس بینایی

<sup>5</sup>Gripper

<sup>6</sup>End-Effectors

<sup>7</sup>Slippage

متکی هستند، آشکار می‌شود. اگرچه بینایی در مراحل اولیه مانند شناسایی و مکان‌بابی شیء نقشی حیاتی دارد، اما در لحظه تماس فیزیکی، به دلیل انسداد دید توسط خود چنگک و عدم توانایی درک خواص فیزیکی نامشهود، کارایی خود را از دست می‌دهد. [۲۳]

وجود حس لامسه در چنگک‌ها، این شکاف اطلاعاتی را پر کرده و کلید دستیابی به دستکاری<sup>۸</sup> پایدار، دقیق و هوشمند است. حسگرهای لامسه با فراهم آوردن اطلاعات بی‌درنگ از شرایط تماس، قابلیت‌های چنگک را به شکل چشمگیری افزایش می‌دهند. چند نوع از اطلاعاتی که حسگرهای لامسه می‌توانند فراهم کنند، شامل موارد زیر می‌شود:

#### • اندازه‌گیری نیرو و گشتاور

حسگرهای لامسه می‌توانند مقادیر دقیق نیروهای نرمال و برشی اعمال‌شده بر سطح شیء را اندازه‌گیری کنند. این اطلاعات به سیستم کنترل اجازه می‌دهد تا نیروی گرفتن را به طور پیوسته تنظیم کند؛ نیروی اعمالی نباید آن قدر زیاد باشد که به جسم آسیب بزند و در عین حال، نباید آن قدر کم باشد که جسم بلغزد و از دست ربات رها شود [۲۴]. توانایی انسان در بلند کردن یک تخم مرغ بدون شکستن آن، مثال بارزی از همین تنظیم دقیق نیرو بر اساس بازخورد لمسی است.

#### • تشخیص لغزش

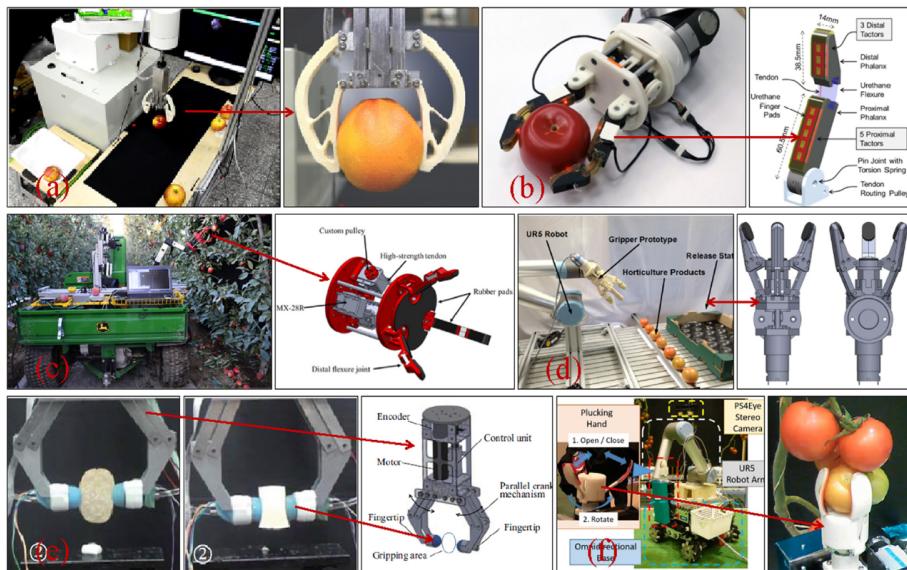
لغزش یکی از پدیده‌های دینامیکی کلیدی در حین دستکاری اشیاء است. حسگرهای لامسه، به ویژه آن‌هایی که به ارتعاشات فرکانس بالا حساس هستند، می‌توانند شروع لغزش را در مراحل اولیه تشخیص دهنند. این تشخیص زودهنگام به کنترل‌کننده ربات فرصت می‌دهد تا به سرعت نیروی گرفتن را افزایش داده و از افتادن شیء جلوگیری کند. [۲۵، ۲۶]

• شناسایی موقعیت و توزیع تماس آرایه‌ای از حسگرهای لامسه می‌تواند نقشه‌ای از توزیع فشار بر روی سطح انگشتان چنگک ربات ایجاد کند. این اطلاعات برای تعیین مرکز فشار، تشخیص جهت‌گیری شیء در دست و اطمینان از یک گرفتن پایدار بسیار ارزشمند است. [۲۷، ۲۸]

### ۴.۲.۱ الهام از زیست: حس لامسه در انسان

طبیعت در طول میلیون‌ها سال فرگشت، سیستم‌های بینهای را برای تعامل با محیط فیزیکی توسعه داده است. در میان این سیستم‌ها، حس لامسه انسان به عنوان پیچیده‌ترین، کارآمدترین و چندوجهی‌ترین سیستم

<sup>8</sup>Manipulation



شکل ۲.۱: نمونه‌ای از تعامل چنگک‌های رباتی با اشیاء ظرفی و نرم [۱]

حسی برای تعامل یا اشیاء شناخته می‌شود. پوست انسان، بهویژه در ناحیه نوک انگشتان، یک شاهکار مهندسی بیولوژیک است که ترکیبی از حساسیت بالا، استحکام، قابلیت ترمیم و توانایی پردازش اطلاعات پیچیده را به نمایش می‌گذارد. به همین دلیل، درک عمیق سازوکار حس لامسه انسان، نه تنها الهام‌بخش، بلکه یک نقشه راه ضروری برای طراحی و ساخت حسگرهای رباتیکی است. [۲] موققیت سیستم لامسه انسان در دستیابی به تعامل ماهرانه<sup>۹</sup> بر دو اصل بنیادین استوار است که در این پژوهش نیز به عنوان انگیزه اصلی مورد توجه قرار گرفته‌اند: اهمیت چندوجهی بودن ادراک حسی و ویژگی نرم و ارتجاعی نوک انگشتان. در ادامه این بخش، این دو اصل کلیدی با جزئیات بیشتری بررسی می‌شوند.

#### ۱.۴.۲.۱ ماهیت چندوجهی حس لامسه انسان

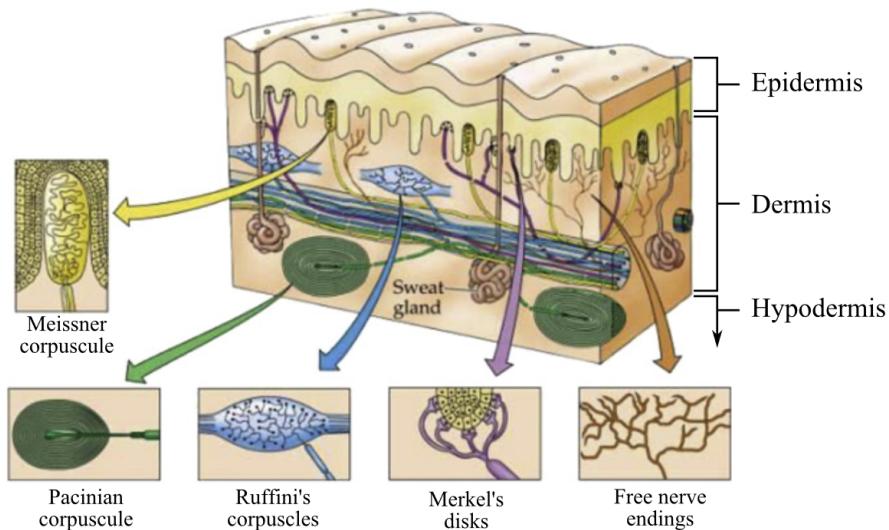
پوست انسان یک حسگر یکپارچه و همگن نیست، بلکه مجموعه‌ای از گیرنده‌های حسی تخصصی است که هر کدام به نوع خاصی از محرک‌های لمسی با پهنه‌ای باند متفاوت پاسخ می‌دهند. این گیرنده‌های مکانیکی<sup>۱۰</sup> که مسئول تبدیل محرک‌های لمسی به سیگنال‌های عصبی هستند، عمدتاً در لایه‌های روپوست<sup>۱۱</sup> و لایه‌ی میانی<sup>۱۲</sup> قرار دارند. در پوست بدون مو مانند نوک انگشتان، که برای تعامل با اشیاء تکامل یافته‌اند، چهار نوع اصلی گیرنده

<sup>9</sup>Dexterous Manipulation

<sup>10</sup>Mechanoreceptors

<sup>11</sup>Epidermis

<sup>12</sup>Dremis



شکل ۱.۳: مقطعی از ساختار پوست انسان و محل قرارگیری چهار گیرنده لامسه اصلی در نوک انگشتان [۲].

مکانیکی وجود دارد که هر یک وظیفه مشخصی بر عهده دارند. [۹، ۲۹]

این چهار گیرنده بر اساس سرعت پاسخشان به محرك‌های لامسه، به دو دسته اصلی تقسیم می‌شوند. دسته اول، گرینده‌های فرکانس پایین هستند که تا زمانی که محرك فیزیکی وجود داشته باشد، به طور پیوسته سیگنال عصبی تولید می‌کنند و مسئول درک اطلاعات استاتیک مانند نیرو هستند. دسته دوم، گیرنده‌های فرکانس بالا می‌باشند که فقط به تغییرات در محرك فیزیکی، یعنی در لحظه شروع و پایان تماس، پاسخ می‌دهند؛ این گروه مسئول درک اطلاعات دینامیک و گذرا هستند. این تقسیم‌بندی، اساس توانایی انسان در درک همزمان نیروهای مانا و پدیده‌های دینامیکی مانند لغزش است.

جدول ۱.۱: خلاصه‌ای از ویژگی‌ها و وظایف گیرنده‌های لامسه در نوک انگشتان انسان [۹].

| معادل در رباتیک   | وظیفه اصلی                      | محدوده فرکانس (هرتز) | نام گیرنده                      |
|-------------------|---------------------------------|----------------------|---------------------------------|
| نیروی گرفتن       | فشار استاتیک                    | ۳ - ۳۰               | دیسک‌های مولکل <sup>۱۳</sup>    |
| نیروی مماسی       | کشش پوست، تماس اولیه، لغزش آرام | تا ۱۵                | پایانه‌های رافینی <sup>۱۴</sup> |
| تشخیص رویداد تماس | ارتعاشات، لغزش                  | ۴۰ - ۳               | گویچه‌های مایسнер <sup>۱۵</sup> |
| تشخیص لغزش        |                                 | ۵۰۰ - ۱۰             | گویچه‌های پاچینی <sup>۱۶</sup>  |

این «تفکیک وجه‌ها» به مغز اجازه می‌دهد تا اطلاعات غنی و متنوعی را به صورت موازی پردازش کند و این

<sup>13</sup>Merkel's disks

<sup>14</sup>Ruffini's corpuscles

<sup>15</sup>Meissner corpuscles

<sup>16</sup>Pacinian corpuscles

همان اصلی است که این پژوهش با طراحی و ساخت یک حسگر چندوجهی<sup>۱۷</sup> قصد پاییندی به آن را دارد. این تقسیم‌بندی پیچیده نشان می‌دهد که چرا تلاش برای ساخت یک حسگر لامسه رباتیک با تنها یک نوع تبدیل (مثلًاً فقط اندازه‌گیری فشار) برای دستیابی به مهارت انسان کافی نیست. یک حسگر لامسه زیست الهام<sup>۱۸</sup> واقعی باید بتواند اطلاعات استاتیک و دینامیک را در پهنانی باندهای مختلف به صورت همزمان دریافت و پردازش کند [۲]. این دقیقاً همان هدفی است که در این پژوهش با ترکیب یک حسگر فشار بارومتریک (برای درک اطلاعات استاتیک مشابه مرکل)، حسگرهای اثر هال (برای درک کشش و نیروی برشی مشابه رافینی)، حسگر دما و یک میکروفون (برای درک ارتعاشات فرکانس بالا مشابه پاچینی) دنبال شده است.

#### ۲.۴.۲.۱ ویژگی نرم و ارتجاعی نوک انگشتان

دومین اصل کلیدی در موقوفیت حس لامسه انسان، ماهیت فیزیکی خود انگشتان انسان از بافت نرم و ارتجاعی ساخته شده است که این ویژگی مزایای مکانیکی مهمی را در حین تعامل با اشیاء فراهم می‌کند. یکی از مهم‌ترین این مزایا، افزایش سطح تماس و پایداری گرفتن است. هنگامی که یک انگشت نرم با یک جسم تماس پیدا می‌کند، تغییر شکل داده و خود را با شکل سطح جسم تطبیق می‌دهد. این امر باعث افزایش قابل توجه سطح تماس در مقایسه با یک انگشت صلب می‌شود. سطح تماس بزرگتر، نیروی گرفتن را بر روی ناحیه وسیع تری توزیع می‌کند که این امر اولاً خطر آسیب به اشیاء شکننده را کاهش می‌دهد و ثانیاً با افزایش مقاومت در برابر گشتاورهای خارجی، یک گرفتن بسیار پایدارتر ایجاد می‌کند [۲۲].

علاوه بر این، نرمی انگشتان بسیاری از عدم قطعیت‌ها و خطاهای کوچک در مکان‌یابی و جهت‌گیری شیء را جبران می‌کند. نیازی نیست که ربات موقعیت دقیق جسم را بداند؛ بافت نرم انگشت، خود را با ناهمواری‌ها و شکل‌های نامنظم تطبیق می‌دهد و یک تماس کامل را تضمین می‌کند. این ویژگی، نیاز به الگوریتم‌های کنترلی پیچیده را کاهش داده و به گرفتن قابل اطمینان کمک می‌کند.

نهایتاً، این تغییرشکل پذیری منجر به تقویت سیگنال‌های لمسی می‌شود. تغییر شکل پوست در اطراف یک شیء، الگوهای فشار و کشش منحصر به فردی را بر روی گیرنده‌های مکانیکی زیرین ایجاد می‌کند. به عنوان مثال، لبه‌های یک جسم باعث ایجاد تمکز تنش در پوست می‌شوند که این امر به گیرنده‌های مرکل کمک می‌کند تا شکل را با دقت بیشتری تشخیص دهنند. این پدیده به ربات نیز کمک می‌کند تا اطلاعات غنی‌تری از تماس استخراج کند. [۲] این مزایا نشان می‌دهد که طراحی یک حسگر لامسه موفق، تنها به انتخاب مدل‌های الکترونیکی مناسب محدود نمی‌شود، بلکه به طراحی مکانیکی و مواد به کار رفته در ساختار آن نیز بستگی دارد. استفاده

<sup>17</sup>Multi-modal

<sup>18</sup>Biomimetic

از مواد نرم مانند سیلیکون در ساخت حسگرهای رباتیک، تلاشی برای تقلید از این ویژگی‌های سودمند فیزیکی انگشتان انسان است.

در نتیجه، با الهام از این دو اصل، این پژوهش نه تنها بر توسعه یک سیستم الکترونیکی چندوجهی تمرکز داشته، بلکه این سیستم را در یک ساختار نرم و ارتقای ادغام می‌کند تا به ترکیبی بهینه از درک حسی و سازگاری مکانیکی، مشابه دست انسان، دست یابد.

## ۳.۱ انواع روش‌های تبدیل در ساخت حسگر لامسه و مروری بر کارهای

### پیشین

#### ۱.۳.۱ روش‌های مبتنی بر پیزوالکتریک

از منظر لغوی، پیزو به معنی فشار است و ترکیب پیزو الکتریک<sup>۱۹</sup> به موادی اطلاق می‌شود که در اثر اعمال فشار، سیگنال الکتریکی از خود تولید می‌کنند. این حسگرهای فیزیکی به نام اثر پیزوالکتریک بهره می‌برند. این اصطلاح علمی به معنای «الکتریسیته ناشی از فشار» است و به توانایی برخی مواد خاص برای تولید یک ولتاژ یا بار الکتریکی در پاسخ به کرنش مکانیکی یا فشار اشاره دارد. ساختار بلوری این مواد به گونه‌ای است که در حالت عادی، بارهای مثبت و منفی به طور متقاضی توزیع شده و اثر یکدیگر را خنثی می‌کنند، اما با اعمال فشار یا نیروی مکانیکی، این تقارن به هم می‌خورد و بارهای الکتریکی مثبت و منفی در دو طرف ماده ظاهر می‌شوند، که منجر به تولید یک ولتاژ قابل اندازه‌گیری می‌گردد. این پدیده در موادی مانند کریستال‌های کوارتز<sup>۲۰</sup>، سرامیک‌های پیزوالکتریک مانند PZT<sup>۲۱</sup> و برخی پلیمرها مانند PVDF<sup>۲۲</sup> مشاهده می‌شود.

برای کاربردهای حسگر لامسه، مواد پیزوالکتریک به دلیل ویژگی‌های منحصر به فردشان بسیار مناسب هستند. این حسگرهای نیازی به منبع تغذیه خارجی ندارند و می‌توانند به صورت فعال<sup>۲۳</sup> عمل کنند که این ویژگی، مصرف انرژی را به شدت کاهش می‌دهد. مهم‌ترین مزیت این مکانیزم، پاسخ دینامیکی فوق العاده سریع و حساسیت بسیار بالا به تغییرات نیرو است. این خصوصیت آن‌ها را برای تشخیص ارتعاشات با فرکانس بالا و لغزش‌های بسیار جزئی<sup>۲۴</sup> ایده‌آل می‌کند. در واقع، یک حسگر پیزوالکتریک می‌تواند لغزش یک جسم را در کسری از ثانیه تشخیص دهد

<sup>19</sup>Piezo-electric

<sup>20</sup>Quartz crystals

<sup>21</sup>Lead Zirconate Titanate

<sup>22</sup>Polyvinylidene Fluoride

<sup>23</sup>Active

<sup>24</sup>Micro-Slip

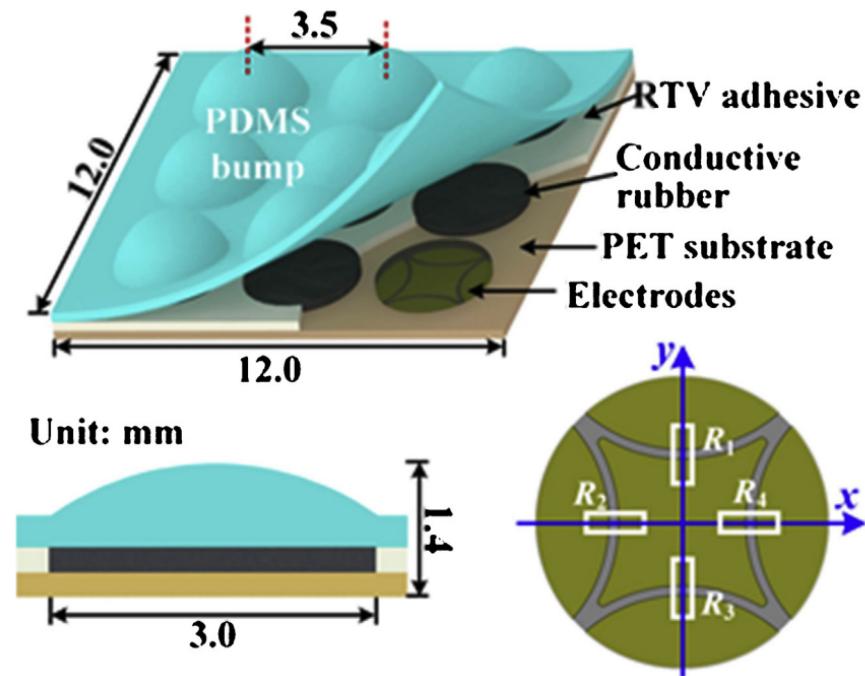
که این امر به ربات اجازه می‌دهد قبل از افتادن کامل شیء، نیروی عمودی را اصلاح کند. پژوهش‌های متعددی در این زمینه انجام شده است که به ساخت حسگرهای لامسه پیزوالکتریک برای کاربردهای مختلف پرداخته‌اند. برای مثال، در پژوهش [۳۰] نویسنده‌گان به طراحی و ساخت یک حسگر بر اساس تغییر امپدانس کریستال پیزوالکتریک برای اندازه‌گیری نیروی اعمالی می‌پردازد. این حسگر با سنجش ولتاژ خروجی ناشی از فشار، توانایی تخمین نیروی اعمال شده را دارد. نتایج این پژوهش نشان داد که با توجه به طراحی ساده، حسگر ساخته شده قابلیت تغییر اندازه و شکل را دارد و برای کاربردهایی مانند جراحی‌های کم‌تهاجمی مناسب است. با این حال، جزئیات دقیق و کمی از دقت و حساسیت آن ارائه نشده است. همچنین، [۳۱] یک حسگر لمسی بسیار حساس را معرفی می‌کنند که از یک پلیمر پیزوالکتریک (PVDF) به همراه ترانزیستور ارگانیک استفاده می‌کنند و برای پوست رباتیک مطرح شده است. حسگر مذکور توانایی اندازه‌گیری نیروهایی که به کوچکی  $mN\text{--}20$  دارد. در مقاله‌ی [۳۲] نویسنده‌گان به بررسی انواع مواد قابل استفاده برای طراحی حسگر لامسه مبتنی بر پیزوالکتریک می‌پردازنند. پژوهش‌هایی مانند [۳۳، ۳۴، ۳۲] به ساخت آرایه‌های حسگر پیزوالکتریک انعطاف‌پذیر برای اندازه‌گیری نیروهای سه‌محوری و تشخیص لغزش در حین گرفتن اشیاء پرداخته‌اند. سرعت خوانش اطلاعات در این پژوهش‌ها ۵ تا ۴۰۰ هرتز و در [۳۳] ۱۹۰۰ هرتز می‌باشد. بازی اندازه‌گیری نیرو به ترتیب ۱۵، ۱۱ و ۱.۵ نیوتون برای محور عمودی گزارش شده است.

جدول ۲.۱: مقایسه سنسورهای لمسی پیزوالکتریک گزارش شده در مقالات مختلف

| مرجع | سال  | تعداد المان‌های حسی | بازه نیرو      | حساسیت               | ماده پیزوالکتریک           |
|------|------|---------------------|----------------|----------------------|----------------------------|
| [۳۰] | ۲۰۱۱ | ۱                   | $12\text{ N}$  | $33,47 \frac{mV}{N}$ | سرامیک پیزو                |
| [۳۱] | ۲۰۱۶ | ۱                   | $3,5\text{ N}$ | $3 \frac{nA}{N}$     | transistor Organic + PVDF  |
| [۳۴] | ۲۰۱۶ | $2 \times 3$        | $1,5\text{ N}$ | $6,62 \frac{pC}{N}$  | PVDF                       |
| [۳]  | ۲۰۱۹ | $3 \times 3$        | $15\text{ N}$  | $210 \frac{mV}{N}$   | PVDF                       |
| [۳۳] | ۲۰۲۴ | $3 \times 3$        | $11\text{ N}$  | $35,6 \frac{mV}{N}$  | (rigid-in-soft) PVDF-based |

## ۲.۳.۱ روش‌های مبتنی بر پیزو مقاومت

مکانیزم پیزومقاومتی یکی از بنیادی‌ترین و پرکاربردترین اصول در طراحی حسگرهای لامسه است که در سال‌های اخیر با توسعه مواد پیشرفته و ساختارهای میکرو و نانومتری توجه بسیاری را به خود جلب کرده است. اساس این روش بر این واقعیت استوار است که مقاومت الکتریکی یک ماده رسانا یا نیمه‌رسانا تحت تأثیر تغییرات مکانیکی نظیر فشار، کشش یا خمش تغییر می‌کند. این تغییر مقاومت را می‌توان به صورت یک سیگنال الکتریکی

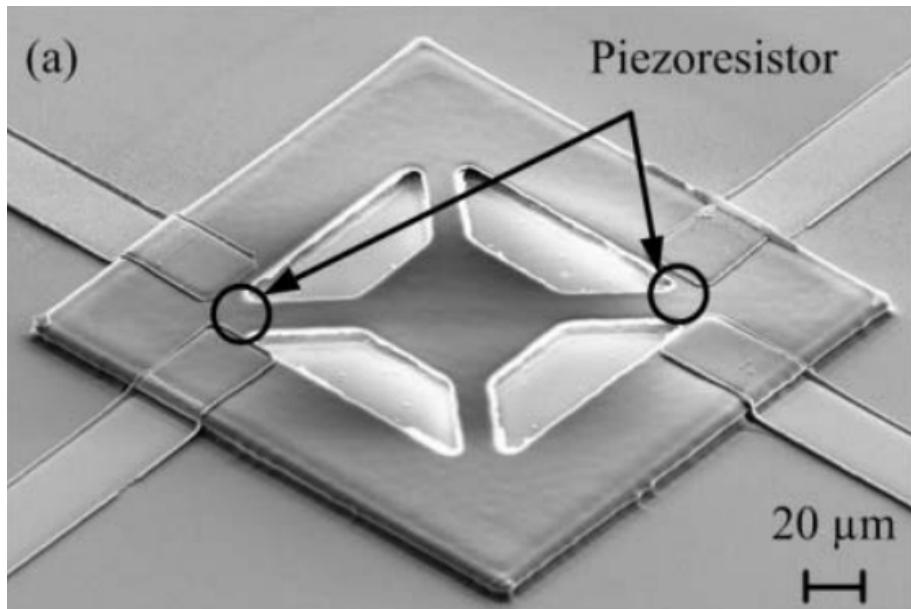


شکل ۴.۱: شمای کلی حسگر ارائه شده در پژوهش [۳].

خواند و متناسب با آن شدت یا نوع تحریک مکانیکی را تعیین نمود. در واقع، تحریک مکانیکی به طور غیرمستقیم به یک پاسخ الکتریکی تبدیل می‌شود و همین امر امکان استفاده از آن را در ساخت پوستهای مصنوعی، پروتزهای هوشمند و ربات‌های دارای قابلیت حس لامسه فراهم می‌سازد. از دیدگاه فیزیکی، تغییرات مقاومت الکتریکی در یک ماده‌ی پیزو دو منشاء می‌تواند داشته باشد؛ منشاء اول تغییرات هندسی ماده مذکور است. همان‌طور که در رابطه‌ی کلاسیک مقاومت

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (1.1)$$

دیده می‌شود، اعمال تنش باعث افزایش طول و کاهش سطح مقطع یک رسانا می‌گردد و در نتیجه مقاومت آن تغییر می‌کند. دلیل دوم به تغییر مقاومت ویژه یا همان مقاومت ذاتی ماده مربوط است. در نیمه‌رساناها یعنی مانند سیلیکون و زرمانیم، تنش مکانیکی موجب تغییر ساختار باند انرژی می‌شود و این تغییر، تحرک بارهای الکتریکی و چگالی آنها را دگرگون کرده و در نهایت مقاومت ویژه را تغییر می‌دهد. علاوه بر این دو منشاء، در ترکیباتی که شامل نانومواد کربنی، نانوسیم‌های فلزی یا ذرات رسانا هستند، تغییر مقاومت بیشتر ناشی از تغییر در مقاومت



شکل ۵.۱: المان پیزومقاومتی استفاده شده در [۴] از جنس Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>

تماسی میان ذرات و پدیده‌هایی مانند تونل زنی کوانتوومی<sup>۲۵</sup> است. زمانی که فشار به چنین ساختارهایی اعمال می‌شود، فاصله میان ذرات کاهش یافته و تماس‌های الکتریکی جدیدی ایجاد می‌شود که این فرایندها تغییرات شدیدی در مقاومت الکتریکی ایجاد می‌کنند. [۳۵]

پژوهش‌های متعددی برای بهبود حساسیت و محدوده‌ی عملکرد حسگرهای پیزومقاومتی انجام شده است. به عنوان نمونه، پژوهشگران در [۳۷] یک حسگر پیزومقاومتی انعطاف‌پذیر مبتنی بر نانوسیم‌های نقره و PVDF توسعه دادند که دارای ساختار سه‌بعدی متخلخل بود و به دلیل توزیع یکنواخت نانوسیم‌ها، حساسیت مناسبی در بازه ۰ تا ۱۰۰ کیلوپاسکال به دست آورد.

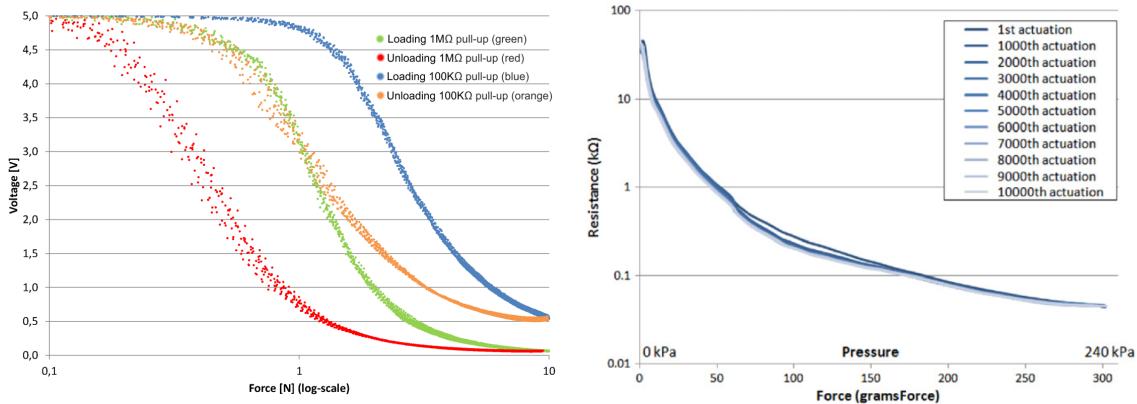
نمونه‌ی دیگر، پژوهش [۳۸] است که از ترکیب نانولوله‌های کربنی و گرافن روی بستر PDMS<sup>۲۶</sup> متخلخل استفاده کردند. آنها با ایجاد میکروحفره‌های یکنواخت در بستر از طریق گرمایش مایکروویوی، سطح تماس بسیار زیادی برای نانومواد رسانا فراهم آورdenد. نتیجه این طراحی، دستیابی به حساسیتی در حدود ۳۰۰ kPa<sup>-۱</sup> در فشارهای پایین (۰ تا ۵۰ کیلوپاسکال) بود.

مکانیزم پیزومقاومتی محدودیت‌هایی نیز دارد؛ به طور مثال در شکل ۶.۱.آ مشاهده می‌شود که رفتار غیرخطی حسگر در بازه‌های وسیع فشار باعث می‌شود رابطه بین نیروی واردشده و تغییر مقاومت همیشه خطی نبوده و کالیبراسیون دقیق را دشوار می‌سازد. علاوه بر این، با توجه به شکل ۶.۱.ب وجود پسماند<sup>۲۷</sup> در پاسخ حسگر

<sup>25</sup>Quantum Tunneling Effect

<sup>26</sup>Poly dimethyl siloxane

<sup>27</sup>Hysteresis



شکل ۱.۶.۱: نمودارهای مشخصه برای حسگر های پیزومقاومتی.  
۱.۶.۱ آ: مقاومت الکتریکی بر حسب نیرو.  
۱.۶.۱ ب: پسماند سیگنال [۵]

باعث می شود که مقادیر خروجی در هنگام اعمال و برداشت نیرو یکسان نباشد و دقت اندازه‌گیری کاهش یابد. عامل دیگر، حساسیت بالا به تغییرات دما است، زیرا افزایش دما می‌تواند تحرك حامل‌های بار و نیز مقاومت ویژه ماده را تغییر دهد و در نتیجه پاسخ حسگر را تحت تأثیر قرار دهد. همچنین این دسته از حسگرها اغلب دارای زمان بازیابی طولانی پس از اعمال نیرو هستند، به این معنا که بازگشت به حالت اولیه در بسیاری از طراحی‌ها به کندی صورت می‌گیرد. این ویژگی‌ها موجب محدودیت در استفاده از حسگرها پیزومقاومتی در محیط‌هایی با تغییرات سریع نیرو یا دما شده و پژوهشگران را به سمت توسعه راهکارهای جبرانی، طراحی ترکیبی با مکانیزم‌های دیگر و استفاده از مواد نوین سوق داده است.

جدول ۱.۳: مقایسه سنسورهای لمسی پیزومقاومتی گزارش شده در مقالات مختلف

| سال  | تعداد المان‌های حسی | بازه نیرو                                       | حساسیت                           | ماده پیزوالکتریک          |
|------|---------------------|---|----------------------------------|---------------------------|
| ۲۰۰۶ | ۱                   | $-5 \text{ kPa} - 5 \text{ kPa} (\text{shear})$ | $0.03\%$                         | Silicone                  |
| ۲۰۱۳ | ۱۲                  | $10 \text{ N}$                                  | $0.015\%$                        | $^{28}\text{LCPT}$        |
| ۲۰۱۳ | $6 \times 8$        | $30 \text{ kPa}$                                | $1/25 \frac{\text{V}}{\text{N}}$ | Nichrome                  |
| ۲۰۱۴ | $8 \times 8$        | $10 \text{ kPa}$                                | --                               | Conductive rubber         |
| ۲۰۲۲ | ۱                   | $100 \text{ kPa}$                               | $0.009 \text{ kPa}^{-1}$         | PVDF + AgNws              |
| ۲۰۲۲ | ۱                   | $150 \text{ kPa}$                               | $2.06 \text{ kPa}^{-1}$          | (rigid-in-soft) PDMS + Cu |
| ۲۰۲۲ | ۱                   | $200 \text{ kPa}$                               | $300.31 \text{ kPa}^{-1}$        | PDMS                      |

### ۳.۳.۱ روش‌های خازنی

فناوری خازنی یکی از پرکاربردترین و منعطف‌ترین رویکردها در طراحی حسگرهای لامسه رباتیک است. این حسگرها به دلیل حساسیت بالا، مصرف توان پایین و قابلیت مجتمع‌سازی در مقیاس بزرگ، توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده‌اند. فلسفه اصلی در این حسگرها، اندازه‌گیری تغییر ظرفیت یک خازن بر اثر تغییر مکانیکی در ساختار و هندسه آن است. این حسگرها معمولاً از ساختاری شبیه به یک خازن صفحه‌موازی تشکیل شده‌اند که ظرفیت آن‌ها از طریق رابطه کلاسیک زیر محاسبه می‌شود:

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r A}{d}. \quad (2.1)$$

در این رابطه،  $C$  ظرفیت خازن،  $\varepsilon_r$  ثابت گذردهی خلا،  $A$  سطح هم‌پوشانی صفحات و  $d$  فاصله بین آن‌ها است. یک نیروی خارجی می‌تواند با تغییر پارامترهای هندسی فاصله ( $d$ ) یا سطح هم‌پوشانی ( $A$ )، ظرفیت خازن را تغییر دهد و این تغییر، پس از اندازه‌گیری، به مقدار نیرو نگاشت می‌شود [۹].

اگرچه ساختار صفحه‌موازی اساس کار این حسگرهاست، اما طراحی‌های متنوعی برای اندازه‌گیری انواع مختلف نیرو (عمودی و برشی) و افزایش چشمگیر حساسیت توسعه یافته است. با این حال، متداول‌ترین مکانیزم، مبتنی بر ساختار صفحه‌موازی برای نیروی عمودی است. در این طراحی، یک لایه الاستومری نرم به عنوان ماده دی‌الکتریک بین دو الکترود رسانای انعطاف‌پذیر قرار می‌گیرد. هنگامی که یک نیروی عمودی به سطح حسگر وارد می‌شود، لایه الاستومری فشرده شده، فاصله  $d$  بین صفحات کاهش می‌یابد و در نتیجه، ظرفیت خازن ( $C$ ) به صورت غیرخطی افزایش پیدا می‌کند.

یک نوآوری کلیدی برای بهبود عملکرد این ساختار، استفاده از میکرو-ساختارها<sup>۲۹</sup> در لایه دی‌الکتریک است. به جای استفاده از یک لایه صاف، الاستومر به شکل ساختارهای ریزی مانند هرم<sup>۳۰</sup>، گبد<sup>۳۱</sup> یا ستون<sup>۳۲</sup> قالب‌گیری می‌شود [۴۱]. این معماری هوشمندانه، نیرو را در نقاط کوچکی متمرکز کرده و باعث تغییر شکل بسیار بزرگتری در فاصله ( $d$ ) به ازای یک فشار معین می‌شود. وجود فضاهای خالی در بین این میکرو-ساختارها باعث

<sup>30</sup>Liquid Crystal Polymer Thermoplastic

<sup>29</sup>Micro-structures

<sup>30</sup>Pyramid

<sup>31</sup>Dome

<sup>32</sup>Pillar

می‌شود حسگر در محدوده فشارهای پایین بسیار نرم و حساس عمل کند. در نتیجه، حساسیت حسگر فشار که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$S = (\Delta C/C_0)/\Delta P \quad (3.1)$$

به شدت افزایش یافته و امکان تشخیص تماس‌های بسیار آرام را فراهم می‌آورد [۲۱]. علاوه بر روش ساخت، پیشرفت در علم مواد نیز تأثیر مستقیمی بر بهبود عملکرد، انعطاف‌پذیری و حساسیت حسگرهای خازنی داشته است. انتخاب لایه دیالکتریک نقشی حیاتی دارد؛ PDMS به دلیل انعطاف‌پذیری عالی، پایداری شیمیایی و زیست سازگاری، یکی از محبوب‌ترین گزینه‌های است. برای کاربردهایی که به نرمی بیشتری نیاز دارند، از الاستومرهایی مانند Ecoflex نیز استفاده می‌شود. جهت افزایش بیشتر حساسیت، این پلیمرها گاهی با نانوذراتی با ثابت دیالکتریک بالا<sup>۳۳</sup> مانند TiO<sup>۳۴</sup> یا BaTiO<sup>۳۵</sup> ترکیب می‌شوند. این کار باعث افزایش ظرفیت اولیه خازن شده و تغییرات نسبی ظرفیت ( $\Delta C/C_0$ ) را قابل توجه‌تر می‌سازد [۲۱]. برای آنکه کل حسگر انعطاف‌پذیر باشد، لایه‌های رسانا الکتروودها نیز باید قابلیت تغییرشکل داشته باشند. به همین منظور، به جای لایه‌های فلزی صلب، از مواد رسانای انعطاف‌پذیر استفاده می‌شود. گزینه‌هایی مانند نانولوله‌های کربنی<sup>۳۶</sup>، گرافن<sup>۳۷</sup>، پلیمرهای رسانا و حتی فلز مایع مانند EGaIn<sup>۳۸</sup> به حسگر اجازه می‌دهند تا به راحتی خم شده و بر روی سطوح منحنی پیچیده‌ای مانند نوک انگشت ربات نصب شوند [۹]. با وجود مزایای فراوان، طراحی و پیاده‌سازی حسگرهای خازنی با چالش‌های مهندسی خاصی روبروست. مهم‌ترین چالش‌ها، حساسیت به نویز و خازن پارازیتی است. این حسگرهای خازنی با دلیل داشتن امپدانس خروجی بالا، به راحتی تحت تأثیر نویزهای الکترومغناطیسی<sup>۳۹</sup> محیط قرار می‌گیرند. علاوه بر این، خازن‌های ناخواسته (پارازیتی) که بین خطوط سیگنال و زمین شکل می‌گیرند، می‌توانند تغییرات کوچک ظرفیت اصلی حسگر را پوشانده و دقت اندازه‌گیری را کاهش دهند. برای مقابله با این مشکل از راهکارهایی مانند شیلدینگ فعال<sup>۴۰</sup>، که در آن یک الکترود محافظه‌پتانسیل با الکترود اصلی نویز را منحرف می‌کند، و طراحی‌های تفاضلی<sup>۴۱</sup>، که با اندازه‌گیری تفاوت بین دو خازن نویز حالت مشترک را حذف می‌کند، استفاده می‌شود [۴۲].

<sup>33</sup>High-k

<sup>34</sup>Titanium dioxide

<sup>35</sup>Barium titanate

<sup>36</sup>CNTs

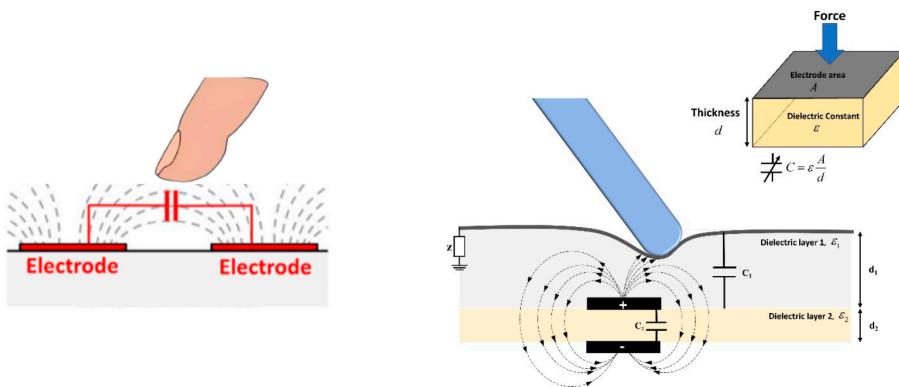
<sup>37</sup>Graphene

<sup>38</sup>Eutectic Gallium-Indium

<sup>39</sup>EMI

<sup>40</sup>Active Shielding

<sup>41</sup>Differential Sensing



شکل ۷.۱: ساختار حسگر لامسه‌ی خازنی معرفی شده در [۶].

چالش دیگر، پدیده پسماند است که از ماهیت گرانزوی کشسان<sup>۴۲</sup> پلیمرهای دیالکتریک ناشی می‌شود. این پدیده باعث می‌شود منحنی پاسخ حسگر در هنگام افزایش نیرو با منحنی آن در هنگام کاهش نیرو یکسان نباشد و منجر به خطأ در اندازه‌گیری شود. انتخاب مواد با پسماند ذاتی کمتر و اعمال چرخه‌های بارگذاری اولیه برای پایدارسازی رفتار ماده، از راهکارهای کاهش این اثر است.

نهایتاً، مدارهای اندازه‌گیری برای این حسگرهای باید از پیچیدگی و دقت بالایی برخوردار باشند. از آنجایی که تغییرات ظرفیت اغلب در محدوده بسیار کوچک فوتوفاراد تا پیکوفاراد است، مدارهای تخصصی برای تبدیل دقیق این تغییرات به سیگنال دیجیتال یا ولتاژ ضروری هستند. مبدل‌های ظرفیت به ولتاژ<sup>۴۳</sup> و مدارهای مبتنی بر نوسان‌ساز<sup>۴۴</sup> از جمله معماری‌های رایج برای این منظور هستند.

جدول ۴.۱: مقایسه سنسورهای لمسی خازنی گزارش شده در مقالات مختلف

| ماده دیالکتریک | حساسیت |                    | بازه نیرو | تعداد المان‌های حسی | سال  | مراجع |
|----------------|--------|--------------------|-----------|---------------------|------|-------|
| -              | ۸۱ N   | Tecnoflon FLOR ۴۲۱ |           | ۴ × ۴               | ۲۰۰۲ | [۴۳]  |
| ۲۰mN           | ۱۰۰ N  | Silicone           |           | ۴ × ۴               | ۲۰۱۰ | [۴۴]  |
| ۰,۳۸ pF/N      | ۲ N    | PDMS               |           | ۲ × ۲               | ۲۰۱۳ | [۴۵]  |
| ۰,۳۶۹ V/N      | ۱۰ N   | PDMS               |           | ۳ × ۳               | ۲۰۱۷ | [۴۶]  |
| PDMS           | ۱۲۵mN  |                    | ۲,۵ N     | ۱۰ × ۱۰             | ۲۰۲۲ | [۶]   |

<sup>42</sup>Viscoelasticity

<sup>43</sup>C-V Converters

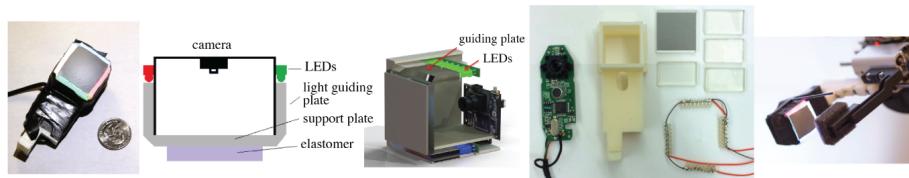
<sup>44</sup>Oscillator-based circuits

## ۴.۳.۱ مکانیزم نوری

حسگرهای لمسی نوری، از ویژگی‌های فیزیکی نور و یا زتاب آن برای اندازه‌گیری نیرو یا تغییر شکل استفاده می‌کنند و یک رویکرد جذاب را در طراحی حسگرهای لمسی ارائه می‌دهند. این حسگرها با تبدیل تغییرات مکانیکی به تغییرات نوری، سیگنال قابل اندازه‌گیری ایجاد می‌کنند و به دلیل ماهیت خود، نسبت به تداخلات الکترومغناطیسی و نویزهای الکتریکی مقاوم هستند. در واقع، این حسگرها با استفاده از یک دوربین یا فنودیود، تغییر شکل یک سطح کشسان را در اثر تماس مشاهده می‌کنند. این روش امکان استخراج اطلاعات غنی از تماس، از جمله نیروی نرمال، نیروی مماسی، لغزش و حتی بافت سطح را فراهم می‌کند. مکانیزم عملکرد این حسگرها عموماً بر پایه تغییر مسیر، شدت یا زاویه نور در پاسخ به یک نیروی خارجی استوار است. این حسگرها معمولاً از سه بخش اصلی تشکیل شده‌اند: یک منبع نور، یک بستر تغییر شکل پذیر و یک گیرنده نور. با اعمال نیرو به سطح حسگر، بستر تغییر شکل داده و نور را به گونه‌ای تغییر می‌دهد که با ثبت این تغییرات می‌توان میزان نیرو، جایه‌جایی یا حتی بافت جسم را اندازه‌گیری کرد. برای مثال، حسگر GelSight که در [۷] معرفی شد و یکی از شناخته‌شده‌ترین نمونه‌های این مکانیزم است، از یک لایه کشسان و یک دوربین در زیر آن استفاده می‌کند تا تغییرات شکل سطح را در اثر تماس ثبت کند. پژوهش‌های مختلفی نیز با استفاده از تعداد محدودی حسگر حساس به نور اقدام به اندازه‌گیری نیرو کرده اند که در ادامه به آنها خواهیم پرداخت. به طور کلی، یکی از مهم‌ترین مزایای حسگرهای نوری، وضوح و دقیق فضایی بسیار بالا است که به آن‌ها اجازه می‌دهد جزئیات بسیار دقیق تغییر شکل سطح را ثبت کنند. این ویژگی برای تشخیص بافت و شکل اشیا بسیار حیاتی است. علاوه بر این، این حسگرها به دلیل عدم نیاز به تماس الکتریکی با محیط، در برابر تداخلات الکترومغناطیسی و رطوبت مقاوم هستند. این مزیت، آن‌ها را برای کاربرد در محیط‌های صنعتی یا پزشکی که شرایط محیطی دشوار است، مناسب می‌سازد. از سوی دیگر، حسگرهای نوری معایی نیز دارند. طراحی این حسگرها، به ویژه انواع مبتنی بر دوربین، می‌تواند پیچیده و حجمی باشد. همچنین، عملکرد آن‌ها به شدت به نور محیطی حساس است و ممکن است تحت تأثیر آن قرار گیرد، که نیاز به سیستم‌های محافظت در برابر نور را ایجاد می‌کند. در نهایت، ساخت این حسگرها، به خصوص نمونه‌های با رزو لوشن بالا و سه‌محوری، ممکن است پرهزینه باشد. با این حال، با وجود این چالش‌ها، حسگرهای لمسی نوری به دلیل توانایی در ارائه اطلاعات غنی از تماس، به عنوان یک راه حل کلیدی در حوزه رباتیک و دستکاری اشیاء مطرح هستند.

### ۱.۴.۳.۱ روش‌های مبتنی بر دوربین و ثبت تصویر کلی لامسه

حسگرهای لمسی مبتنی بر دوربین، یک رویکرد نوین و قدرتمند در حوزه حسگرهای لمسی برای کاربردهای رباتیک ارائه می‌دهند. برخلاف حسگرهای سنتی که به اندازه‌گیری مستقیم نیرو می‌پردازنند، این حسگرها از یک



شکل ۸.۱: ساختار حسگر لامسه Gelsight معرفی شده در [۷].

سیستم بینایی برای اندازه‌گیری هندسه و تغییر شکل سطح تماس استفاده می‌کنند. این روش به ربات امکان می‌دهد تا اطلاعات غنی و دقیقی از تماس را با وضوح فضایی بسیار بالا به دست آورد. یکی از شناخته شده‌ترین و مهم‌ترین پژوهش‌ها در این دسته، توسعه حسگر لامسی نوری مبتنی بر بینایی با نام Gelsight است. مکانیزم عملکرد GelSight بر اساس اندازه‌گیری مستقیم تغییر شکل یک سطح الاستومری نرم است. این حسگر دارای یک سطح تماس شفاف و نرم است که با یک لایه از ذرات ریز برآق (مانند پودر آلومینیوم) پوشانده شده است. یک منبع نور داخلی این سطح را روشن می‌کند و یک دوربین کوچک که در پشت حسگر قرار گرفته، تصویر آن را ثبت می‌کند.

زمانی که حسگر با یک جسم تماس پیدا می‌کند، سطح الاستومری تغییر شکل می‌دهد و خود را با هندسه دقیق جسم تطبیق می‌دهد. این تغییر شکل باعث تغییر در الگوی نور منعکس شده می‌شود. برآمدگی‌ها، ناهمواری‌ها و لبه‌های جسم باعث ایجاد سایه‌ها و تغییر در شدت نور می‌شوند. از طریق تحلیل تصویر ثبت شده توسط دوربین، می‌توان با استفاده از الگوریتم‌های پردازش تصویر، اطلاعات هندسی سطح تماس و همچنین اطلاعات مربوط به کشش روی سطح را استنباط کرد.

برخلاف حسگرهای لامسی سنتی که صرفاً نیروی تماس را اندازه‌گیری می‌کنند، GelSight قادر به اندازه‌گیری هندسه تماس با وضوح فضایی بسیار بالا است. این حسگر به طور همزمان می‌تواند تغییر شکل عمودی (فسار) و جانبی (کشش) را اندازه‌گیری کند. از این اطلاعات می‌توان برای استنباط نیروی تماس، گشتاور و لغزش استفاده کرد. توانایی این حسگر در درک دقیق شکل و بافت جسم، آن را برای وظایف پیچیده دستکاری، مانند گرفتن اشیاء با اشکال نامنظم یا بافت‌های ظریف، بسیار مناسب می‌سازد. با وجود مزایای متعدد حسگرهای لامسی مبتنی بر دوربین مانند GelSight در زمینه دقت و رزولوشن بالا، این سیستم‌ها با چالش‌ها و محدودیت‌هایی نیز روبرو هستند که استفاده از آن‌ها را در برخی شرایط خاص دشوار می‌سازد. یکی از اصلی‌ترین معایب، حساسیت به نور محيطی است. از آنجا که عملکرد این حسگر به تحلیل تصویر نوری وابسته است، نورهای خارجی و محیطی (مانند نور خورشید یا چراغ‌های کارگاهی) می‌توانند بر روی الگوهای نوری ثبت شده توسط دوربین تأثیر گذاشته و در نتیجه دقت اندازه‌گیری را کاهش دهند. برای غلبه بر این مشکل، نیاز به طراحی‌های پیچیده برای محافظت در برابر نور محيط و استفاده از فیلترهای نوری خاص وجود دارد [۴۷]. دو میان محدودیت مهم، پیچیدگی و حجم

نسبی این حسگرها است. سیستم GelSight برای عملکرد خود نیازمند یک منبع نور داخلی، یک سطح الاستیک شفاف و یک دوربین با وضوح بالا است که همه در یک مجموعه فشرده قرار می‌گیرند. این نیاز به سخت‌افزارهای متعدد باعث می‌شود که حسگر حجم قابل توجهی داشته باشد، که می‌تواند آن را برای کاربرد در فضاهای محدود یا ربات‌های کوچک نامناسب سازد. علاوه بر این، هزینه ساخت این حسگرها، بهویژه به دلیل وجود قطعات نوری و الکترونیکی حساس و با کیفیت بالا، نسبت به حسگرهای لمسی ساده‌تر بالاتر است [۴۸]. از دیگر معایب می‌توان به آسیب‌پذیری سطح نرم حسگر اشاره کرد. سطح الاستیک و نرم، GelSight هرچند برای انطباق با اشکال مختلف ضروری است، اما در معرض خطراتی مانند سایش، بریدگی یا سوراخ شدن قرار دارد که می‌تواند به عملکرد حسگر آسیب برساند و نیاز به تعمیر داشته باشد. این امر دوام حسگر را در کاربردهای صنعتی سنگین کاهش می‌دهد [۴۹]. در نهایت، نیاز به کالیبراسیون دقیق از دیگر معایب این روش است، برای تبدیل دقیق تغییرات پیکسل‌ها به مقادیر فیزیکی مانند نیرو و جابه‌جایی، نیاز به فرآیندهای کالیبراسیون پیچیده‌ای وجود دارد که می‌تواند زمان برا و دشوار باشد [۷].

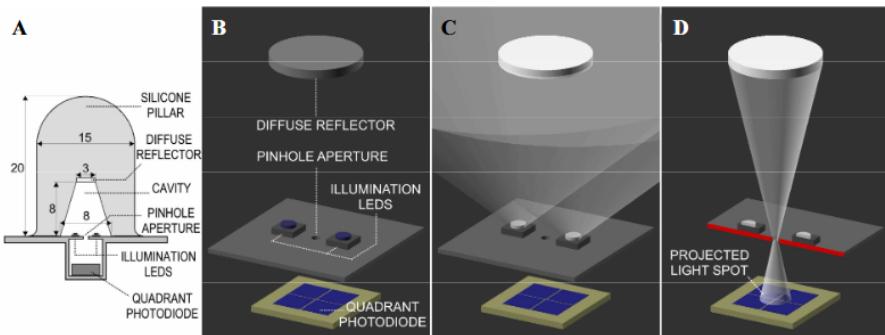
#### ۲.۴.۳.۱ روش‌های مبتنی بر بازتاب نقطه‌ای نور

متداول‌ترین روش استخراج اطلاعات لامسه، بهره بردن از مشخصات ارتقایی و تغییر شکل یک سطح نرم می‌باشد. برای اندازه‌گیری مؤلفه‌های نیرو، می‌بایست این تغییر شکل به سیگنال‌های الکتریکی تبدیل شود. یکی از راه‌های رسیدن به این امر استفاده از نور مادون قرمز است. به طوری که بازتاب نور در اثر تغییر شکل سطح ارتقایی تغییر می‌کند و با بررسی نور بازتاب شده می‌توان نوع تغییر شکل را تشخیص داد. در راستای این روش پژوهش‌های بسیاری انجام شده که اغلب موفق بوده و به محصولاتی تجاری ختم شده‌اند. یکی از این روش‌ها در [۸] ارائه شده است. در این پژوهش یک طراحی جدید دوربین سوراخ سوزنی<sup>۴۵</sup> اجرا شده‌است که در اصل یک فوتودیود چهارتایی<sup>۴۶</sup> بوده و تغییر شکل قسمت کشسان منجر به حرکت و تغییر در ناحیه یک نقطه نوری می‌شود که بر روی این فوتودیود چهارتایی پخش می‌شود. سیگنال‌های چهار فوتودیود با استفاده از رگرسیون چند متغیره به جابه‌جایی و نیروی سه بعدی واقعی نگاشت می‌شوند. این روش دارای مزایای قابل توجهی است که آن را از بسیاری از طراحی‌های دیگر متمایز می‌کند. مهم‌ترین نقطه قوت آن، توانایی ذاتی در اندازه‌گیری بردار کامل نیروی سه بعدی، شامل نیروهای عمودی و برشی، در هر المان<sup>۴۷</sup> به صورت مجزا است. این قابلیت، اطلاعات بسیار غنی‌تری را در مقایسه با حسگرهای فشار ساده فراهم می‌کند. علاوه بر این، حساسیت بالای آن به ارتعاشات سریع، این حسگر را به یک گزینه ایده‌آل برای کاربردهای پیشرفته‌ای مانند تشخیص لغزش تبدیل کرده است. د

<sup>45</sup>Pin-hole camera

<sup>46</sup>Quadrant Photo Diode (QPD)

<sup>47</sup>Taxel



شکل ۹.۱: ساختار حسگر لامسه‌ی مبتنی بر بازتاب نور [۸].

با این وجود، این طراحی با چالش‌ها و معایبی نیز همراه است. پیچیدگی ساختاری هر المان، که شامل اجزای متعدد نوری و مکانیکی است، فرآیند ساخت و مونتاژ آن را در مقایسه با حسگرهای ساده‌تر مانند خازنی یا مقاومتی، دشوارتر و پرهزینه‌تر می‌کند. چالش دیگر، نیاز به یک فرآیند کالیبراسیون پیچیده است؛ نگاشت سیگنال‌های دریافتی از چهار بخش فوتودیود به یک بردار نیروی سه‌بعدی، یک رابطه خطی ساده نیست و نیازمند استفاده از روش‌های رگرسیون چندمتغیره برای هر حسگر به صورت جداگانه است. در نهایت، مانند سایر سیستم‌های نوری، این حسگر نیز می‌تواند به تداخل نوری از منابع خارجی حساس باشد و برای عملکرد صحیح نیازمند آب‌بندی دقیق در برابر نور محیط است. [۸] روش دیگری نیز مشابه این کار در پژوهش [۵۰] معرفی شده است. طراحی ارائه شده در این پژوهش اساساً از یک ساختار دو لایه تشکیل شده است. لایه اول، لایه اپتوالکترونیک<sup>۴۸</sup> است که معمولاً یک برد مدار چاپی صلب بوده و تمام قطعات الکترونیکی روی آن نصب می‌شوند. برای هرالمان حسی، این لایه شامل یک جفت قطعه اپتوالکترونیک است: یک منبع نور که به شکل دیود ساطع کننده نور مادون قرمز می‌باشد و یک آشکارساز نور که معمولاً یک ترانزیستور نوری<sup>۴۹</sup> یا فوتودیود است و وظیفه دریافت نور بازتاب شده را بر عهده دارد. لایه دوم، لایه ارجاعی و کشسان است که مستقیماً با اشیاء خارجی تماس پیدا می‌کند و از یک ماده نرم و ارجاعی مانند سیلیکون ساخته می‌شود. این لایه دارای ویژگی‌های طراحی هوشمندانه‌ای است؛ بدنه اصلی آن از سیلیکون به رنگ سیاه ساخته شده است تا هم از ورود نور محیط به داخل حسگر و ایجاد اختلال جلوگیری کند و هم از تداخل نوری<sup>۵۰</sup> بین المان‌های مجاور ممانعت به عمل آورد. در مقابل، سطحی از لایه سیلیکون که رو به قطعات اپتوالکترونیک قرار دارد، به رنگ سفید پوشانده می‌شود. این سطح سفید، نور مادون قرمز تابیده شده از LED را به طور مؤثری به سمت فتوترانزیستور بازتاب می‌دهد که این امر منجر به افزایش چشمگیر حساسیت حسگر می‌شود.

فرآیند اندازه‌گیری نیرو در این حسگر به این صورت است که در حالت بدون نیرو، منبع مادون قرمز نور را به

<sup>48</sup>Optoelectronic

<sup>49</sup>Phototransistor

<sup>50</sup>Crosstalk

سطح سفید داخلی لایه سیلیکون می‌تاباند. از آنجایی که سطح در فاصله مشخصی قرار دارد، مقدار معینی از نور بازتاب شده و توسط فوتوترونیستور دریافت می‌شود که این امر یک خروجی ولتاژ پایه را در حسگر ایجاد می‌کند. با اعمال یک نیروی خارجی به سطح حسگر، لایه سیلیکونی نرم فشرده شده و تغییر شکل می‌دهد. این تغییر شکل باعث می‌شود که سطح سفید بازتابنده به منبع نور و آشکارساز نزدیک‌تر شود. این کاهش فاصله، شدت نور بازتابی را افزایش می‌دهد، زیرا نور کمتری در مسیر بازگشت پراکنده شده و مقدار بیشتری از آن به آشکارساز می‌رسد. فوتوترونیستور این افزایش شدت نور را به یک جریان الکتریکی بزرگ‌تر و در نهایت، با نیروی اعمال شده بالاتر تبدیل می‌کند. در نتیجه، ولتاژ خروجی حسگر مستقیماً با میزان تغییر شکل و در نهایت، با نیروی اعمال شده متناسب خواهد بود. با چیدن این المان‌ها در کنار یکدیگر به صورت یک آرایه، می‌توان یک نقشه از توزیع فشار بر روی سطح حسگر ایجاد کرد [۵۰]. با این وجود، ایرادات معمول وارد بر روش‌های مشابه مبتنی بر نور، در این پژوهش نیز مشاهده می‌شود، مانند دقت پایین و حساسیت به نور محیط.

جدول ۵.۱: مقایسه سنсорهای لمسی خازنی گزارش شده در مقالات مختلف

| سال  | بازه نیرو                         | حساسیت                | نوع حسگر نوری                                     |
|------|-----------------------------------|-----------------------|---|
| ۲۰۱۷ | تک‌المان (پیکسل‌های تصویری)       | تا حدود $10\text{ N}$ | دقت زیر $1.0\text{ N}$ ، رزولوشن میکرونی          |
| ۲۰۱۹ | آرایه ۱۶ تایی پاپیلا              | $N \approx 1.0$       |   |
| ۲۰۲۱ | تک‌المان (فیبر نوری و بازتاب نور) | $N \pm 1.0$           | دقت نیرو $\pm 1.0$                                |
| ۲۰۲۳ | تک‌المان با پوشش وسیع تصویری      | $N \pm 1.0$           | دقت نیرو $\pm 1.0$ ، دقต شکل $\sim 50\mu\text{m}$ |
| ۲۰۲۳ | تک‌المان (ArUco markers)          | تا $5\text{ N}$       | خطای کمتر از $5\%$                                |
| ۲۰۲۳ | تک‌المان (زاویه نور)              | $N \pm 0.5\text{ N}$  | دقت نیرو $\pm 0.5\text{ N}$                       |
| ۲۰۱۷ | $10\text{ N}$                     | $100\text{ mN}$       | دوربین  |
| ۲۰۱۹ | $11\text{ N}$                     | $190\text{ mN}$       | فوتودیود چهارتایی                                 |
| ۲۰۲۱ | $15\text{ N}$                     | $100\text{ mN}$       | فوتودیود  |
| ۲۰۲۳ | $20\text{ N}$                     | $100\text{ mN}$       | دوربین  |
| ۲۰۲۳ | $5\text{ N}$                      | $5\%$                 | دوربین  |
| ۲۰۲۳ | $10\text{ N}$                     | $iuykjthrgf$          | دوربین  |

### ۳.۴.۳.۱ نوشتمن فصل‌ها

همان‌طور که در بخش ۳.۴.۳.۱ گفته شد برای جلوگیری از شلوغی، قسمت‌های مختلف پژوهه/پایان‌نامه/رساله از جمله فصل‌ها، در فایل‌های جداگانه‌ای قرار داده شده‌اند. مثلاً اگر می‌خواهید مطالب فصل ۱ را تایپ کنید، باید

فایل‌های chapter1.tex و main.tex را باز کرده و مطالب خود را جایگزین محتویات داخل chapter1.tex نمایید. دقت شود که در ابتدای برخی فایلها دستوراتی نوشته شده است و از شما خواسته شده که آن دستورات را حذف نکنید.

نکته بسیار مهمی که در اینجا باید گفته شود این است که سیستم  $\text{\TeX}$ ، محتویات یک فایل تک را به ترتیب پردازش می‌کند. بنابراین، اگر مثلاً دو فصل اول خود را نوشته و خروجی آنها را دیده‌اید و مشغول تایپ مطالب فصل ۳ هستید، بهتر است که دو دستور `\include{chapter1}` و `\include{chapter2}` را در فایل main.tex، غیرفعال<sup>۵۱</sup> کنید. در غیر این صورت، ابتدا مطالب دو فصل اول پردازش شده و سپس مطالب فصل ۳ پردازش می‌شود که این کار باعث طولانی شدن زمان پردازش می‌گردد. هر زمان که خروجی کل پژوهه/پایان‌نامه/رساله را خواستید، تمام فصل‌ها را دوباره در main.tex فعال نمایید. بدینهتاً لازم نیست فصل‌های پژوهه/پایان‌نامه/رساله را به ترتیب تایپ کنید. مثلاً می‌توانید ابتدا مطالب فصل ۳ را تایپ نموده و سپس مطالب فصل ۱ را تایپ کنید.

#### ۴.۴.۳.۱ مراجع

برای وارد کردن مراجع پژوهه/پایان‌نامه/رساله کافی است فایل MyReferences.bib را باز کرده و مراجع خود را به شکل اقلام نمونه داخل آن، وارد کنید. سپس از bibtex برای تولید مراجع با قالب مناسب استفاده نمایید. برای توضیحات بیشتر بخش آ.<sup>۷</sup> از پیوست آ و نیز پیوست پ را بینید.

#### ۵.۴.۳.۱ واژه‌نامه فارسی به انگلیسی و بر عکس

برای وارد کردن معادل فارسی اصطلاحات لاتین در متن و تهیه فهرست واژه‌نامه از آنها، از بسته glossaries و نرم‌افزار xindy استفاده می‌شود. بدین منظور کافی است اصطلاحات لاتین و ترجمه آنها را در فایل words.tex وارد کرده و هر جای متن که خواستید با دستورات `\gls{label}` یا `\glspl{label}` معادل فارسی مفرد یا جمع یک اصطلاح را بیاورید.

مثلا در اینجا، واژه «کنش»<sup>۵۲</sup> برای بار اول و دوباره «کنش» برای بار دوم در متن ظاهر شده است. جهت توضیحات بیشتر به پیوست پ مراجعه کنید.

<sup>۵۱</sup> برای غیرفعال کردن یک دستور، کافی است در ابتدای آن، علامت درصد انگلیسی (%) بگذارد.

<sup>۵۲</sup> Action

## ۶.۴.۳.۱ نمایه

برای وارد کردن نمایه، باید از xindy استفاده کنید. راهنمای چگونگی کار با xindy را می‌توانید در ویکی پارسی‌لاتک و یا مثالهای موجود در دی‌وی‌دی «مجموعه پارسی‌لاتک»، پیدا کنید.

## ۵.۳.۱ اگر سوالی داشتم، از کی بپرسم؟

برای پرسیدن سوال‌های خود موقع حروف‌چینی بازی‌پرشین، می‌توانید به سایت پرسش و پاسخ پارسی‌لاتک<sup>۵۳</sup> یا بایگانی تالارگفتگوی قدیمی پارسی‌لاتک<sup>۵۴</sup> مراجعه کنید. شما هم می‌توانید روزی به سوال‌های دیگران در اینترنت جواب دهید. بسته زی‌پرشین و بسیاری از بسته‌های مرتبط با آن مانند bidi و Persian-bib، مجموعه پارسی‌لاتک، مثالهای مختلف موجود در آن، قالب پایان‌نامه دانشگاههای مختلف و سایت پارسی‌لاتک همه به صورت داوطلبانه توسط افراد گروه پارسی‌لاتک و گروه Persian TeX و بدون هیچ کمک مالی انجام شده‌اند. کار اصلی نوشتن و توسعه زی‌پرشین توسط آقای وفا خلیقی انجام شده است که این کار بزرگ را به انجام رساندند. اگر مایل به کمک به گروه پارسی‌لاتک هستید به سایت این گروه مراجعه فرمایید:

<http://www.parsilatex.com>

## ۴.۱ محتويات فصل اول یک پایان‌نامه

فصل اول یک پایان‌نامه باید به مقدمه یا کلیات تحقیق بپردازد. هدف از فصل مقدمه<sup>۵۵</sup>، شرح مختصر مسأله تحقیق، اهمیت و انگیزه محقق از پرداختن به آن موضوع، بهمراه اشاره‌ای کوتاه به روش و مراحل تحقیق است. مقدمه، اولین فصل از ساختار اصلی پروژه/پایان‌نامه/رساله بوده و زمینه اطلاعاتی لازم را برای خواننده فراهم می‌آورد. در طول مقدمه باید سعی شود موضوع تحقیق با زبانی روشن، ساده و بطور عمیق و هدفمند به خواننده معرفی شود. این فصل باید خواننده را مجدوب و اهمیت موضوع تحقیق را آشکار سازد. در مقدمه باید با ارائه سوابق، شواهد تحقیقی و اطلاعات موجود (با ذکر منبع) با روشی منظم، منطقی و هدفدار، خواننده را جهت داد و به سوی راه حل مورد نظر هدایت کرد. مقدمه مناسب‌ترین جا برای ارائه اختصارات و بعضی توضیحات کلی است، توضیحاتی که شاید نتوان در مباحث دیگر آنها را شرح داد.

<sup>53</sup><http://qa.parsilatex.com>

<sup>54</sup><http://forum.parsilatex.com>

<sup>55</sup>Introduction

مقدمه، یکی از ارکان اساسی و اصلی پایان نامه است که مهمترین قسمت‌های آن عبارتند از:

#### ۱.۴.۱ عنوان تحقیق

باید شناختی دقیق و روشن از حوزه موضوع تحقیق را عرضه دارد و خالی از هرگونه ابهام و پیچیدگی باشد.

#### ۲.۴.۱ مسئله تحقیق

وظیفه اصلی مقدمه بیان این مطلب به خواننده است که چرا انجام تحقیق را به عهده گرفته‌اید. اگر دلیل شما برای انجام این کار پاسخگویی به سؤال مورد علاقه‌تان است، با مشکل زیادی روبرو نخواهید بود. یکی از بهترین روش‌ها برای نوشتتن مقدمه یک پایان‌نامه، طرح پرسش یا پرسش‌هایی مهم و اساسی است که کار تحقیقاتی شما از آغاز تا پایان قصد پاسخ دادن به آن را دارد. گاهی می‌توانید ابتدا اهمیت موضوع را بیان و سپس پرسش خود را در آن موضوع مطرح کنید.

#### ۳.۴.۱ تاریخچه‌ای از موضوع تحقیق

به طور کلی تشریح روندهای تحقیقاتی در محدوده مورد مطالعه، مستلزم ارجاع به کارهای دیگران است. بعضی از نویسندهای کارهای دیگران هیچ اعتباری قائل نمی‌شوند و در مقابل، بعضی دیگر از نویسندهای در توصیف کارهای دیگران، بسیار زیاده‌روی می‌کنند. اکثر مواقع، ارجاع به مقالات دو سال قبل از کارتان، بهتر از نوشتتن سطرهای مرجع است. در این قسمت باید به طور مختصر به نظرات و تحقیقات مربوط به موضوع و یا مسائل و مشکلات حل نشده در این حوزه و همچنین توجه و علاقه جامعه به این موضوع، اشاره شود.

#### ۴.۴.۱ تعریف موضوع تحقیق

در این قسمت محقق، موضوع مورد علاقه و یا نیاز احساس شده خود را در حوزه تحقیق بیان می‌دارد و عوامل موجود در موقعیت را تعریف و تعیین می‌کند.

## ۵.۴.۱ هدف یا هدف‌های کلی و آرمانی تحقیق

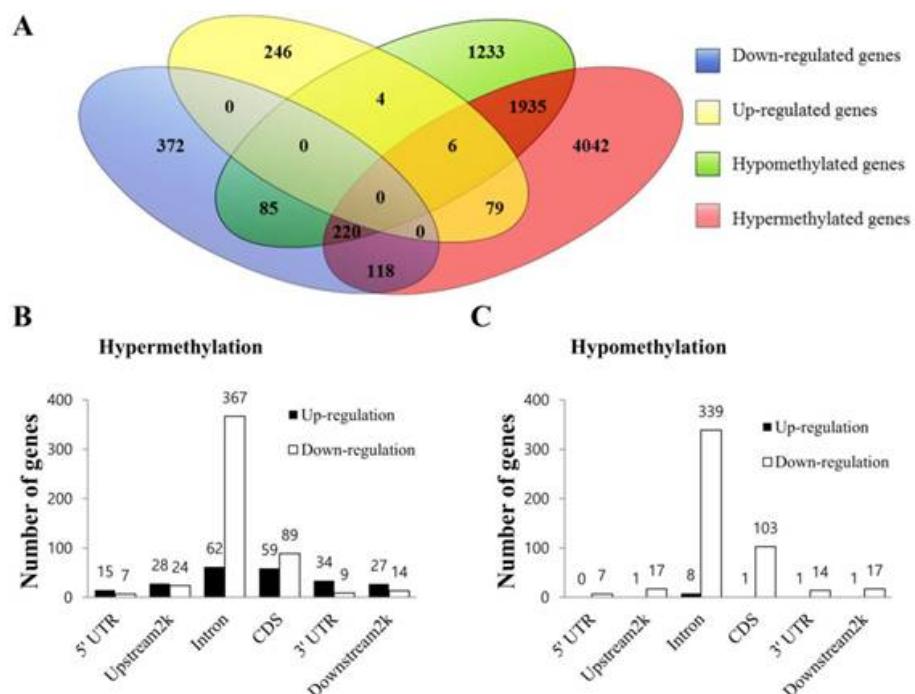
این قسمت باید با جملات مثبت و کلی طرح شود و از طولانی شدن مطالب پرهیز شود.

## ۶.۴.۱ روش انجام تحقیق

در این قسمت، پژوهشگر روش کاری خود را بیان می‌دارد و شیوه‌های گوناگونی را که در گردآوری مطالب خود بکار برد، ذکر می‌کند. همچنین اگر روش آماری خاصی را در تهیه و تدوین اطلاعات به کار برد است، آن شیوه را نیز اینجا بیان می‌کند.

## ۷.۴.۱ نوآوری، اهمیت و ارزش تحقیق

در این قسمت، در مورد نوآوری علمی و عملی تحقیق که محقق به آن دست خواهد یافت، بحث می‌شود. ممکن است لازم باشد تا برخی نمودارهای خلاصه در این بخش استفاده شوند. به عنوان مثال، نموداری از مقاله [۵۳] در شکل ۱۰.۱ آمده است.



شکل ۱۰.۱: یک نمونه نمودار خلاصه برای نمایش نوآوری در نتایج

طبعتاً به صلاح‌دید نگارنده، شکل‌ها و نمودارها می‌توانند در بخش‌های مختلف، خصوصاً فصل ۴ مورد استفاده قرار گیرند.

## ۸.۴.۱ تعریف واژه‌ها (اختیاری)

در این قسمت محقق باید واژه‌هایی را که ممکن است برای خواننده آشنا نباشد، تعریف کند.

## ۹.۴.۱ خلاصه فصل‌ها

در آخرین قسمتِ فصل اول پایان‌نامه، خلاصه‌ای اشاره‌وار از فصل‌های آتی آورده می‌شود تا خواننده بتواند تصویری واضح از دیگر قسمت‌های پایان‌نامه در ذهن خود ترسیم کند.

## ۵.۱ جمع‌بندی

در این فصل به دو مقولهٔ نحوه استفاده از قالب پروژه/پایان‌نامه/رساله دانشگاه تهران و نیز ویژگی‌هایی که محتويات فصل اول پایان‌نامه (یعنی مقدمه) باید داشته باشند، پرداخته شد. با توجه به اینکه این راهنما نحوه استفاده از قالب را شرح داده، ملزومات محتوایی هر فصل پایان‌نامه را توضیح می‌دهد و در پیوست‌ها نیز نحوه کار با لاتک را یادآوری خواهد کرد، بنابراین مطالعهٔ کامل آن مقداری وقت شما را خواهد گرفت؛ اما مطمئن باشید از اتلاف وقت شما در ادامه کارتان تا حد زیادی جلوگیری خواهد کرد. در نوشتن متن حاضر سعی شده است علاوه بر ایجاد یک قالب لاتک برای پایان‌نامه‌های دانشگاه تهران، نکات محتوایی هر فصل نیز گوشزد گردد. طبعتاً برای نگارش پایان‌نامه خود می‌بایست مطالب تمام فصل‌ها را خودتان بازنویسی کنید.

در ادامه این راهنما، تنها فصل‌هایی که یک پایان‌نامه باید داشته باشد و نیز خصوصیات یا ساختاری که محتويات هر فصل باید از آنها برخوردار باشد<sup>۵۶</sup>، آورده می‌شوند. نهایتاً در پیوست‌ها، مطالبی در باب یادآوری دستورات لاتک، نحوه نوشتن فرمول‌ها، تعاریف، قضایا، مثال‌ها، درج تصاویر، نمودارها، جداول و الگوریتم‌ها و نیز مدیریت مراجع، آمده است.

همچنین توصیه اکید دارم که رفع خطاهایی که احتمالاً با آنها مواجه می‌شوید را به آخر موكول نفرمایید و به محض برخورد با خطأ، آن را اشکال‌زدایی و برطرف نمائید.

<sup>۵۶</sup> از روی فایل «تمپلیت نگارش و تدوین پایان‌نامه [۵۴]»



## فصل ۲

### مروری بر مطالعات انجام شده

#### ۱.۲ مقدمه

هدف از این فصل که با عنوان‌های «مروری بر ادبیات موضوع<sup>۱</sup>»، «مروری بر منابع» و یا «مروری بر پیشینه تحقیق<sup>۲</sup>» معرفی می‌شود، بررسی و طبقه‌بندی یافته‌های تحقیقات دیگر محققان در سطح دنیا و تعیین و شناسایی خلاصه‌ای تحقیقاتی است. آنچه را که تحقیق شما به داشت موجود اضافه می‌کند، مشخص کنید. طرح پیشینه تحقیق<sup>۳</sup> یک مرور محققانه است و تا آنجا باید پیش برود که پیش‌زمینه تاریخی مناسبی از تحقیق را بیان کند و جایگاه تحقیق فعلی را در میان آثار پیشین نشان دهد. برای این منظور منابع مرتبط با تحقیق را بررسی کنید، البته نه آنچنان گسترده که کل پیشینه تاریخی بحث را در برگیرد. برای نوشتمن این بخش:

- دانستی‌های موجود و پیش‌زمینه تاریخی و وضعیت کونی موضوع را چنان بیان کنید که خواننده بدون مراجعه به منابع پیشین، نتایج حاصل از مطالعات قبلی را درک و ارزیابی کند.
- نشان دهید که بر موضوع احاطه دارید. پرسش تحقیق را همراه بحث و جدل‌ها و مسائل مطرح شده بیان کنید و مهم‌ترین تحقیقات‌های انجام شده در این زمینه را معرفی نمائید.
- ابتدا مطالب عمومی‌تر و سپس پژوهش‌های مشابه با کار خود را معرفی کرده و نشان دهید که تحقیق شما از چه جنبه‌ای با کار دیگران مشابه یا تفاوت دارد.

<sup>1</sup>Literature Review

<sup>2</sup>Background Research

<sup>3</sup>Background Information

## فصل ۲: مروری بر مطالعه‌ی انجام شده‌ی لامسه‌ی منعطف بر اساس ترکیب داده‌های حسگری برای تعامل و کار کردن با اشیاء

- اگر کارهای قبلی را خلاصه کرده‌اید، از پرداختن به جزئیات غیرضروری بپرهیزید. در عوض، بر یافته‌ها و مسائل روش‌شناسخی مرتبط و نتایج اصلی تأکید کنید و اگر بررسی‌ها و منابع مروری عمومی درباره موضوع موجود است، خواننده را به آنها ارجاع دهید.

### ۲.۲ تعاریف، اصول و مبانی نظری

این قسمت ارائه خلاصه‌ای از دانش کلاسیک موضوع است. این بخش الزامی نیست و بستگی به نظر استاد راهنمای دارد.

### ۳.۲ مروری بر ادبیات موضوع

در این قسمت باید به کارهای مشابه دیگران در گذشته اشاره کرد و وزن بیشتر این قسمت بهتر است به مقالات ژورنالی سال‌های اخیر (۲ تا ۳ سال) تخصیص داده شود. به نتایج کارهای دیگران با ذکر دقیق مراجع باشد اشاره شده و جایگاه و تفاوت تحقیق شما نیز با کارهای دیگران مشخص شود. استفاده از مقالات ژورنال‌های معتبر در دو یا سه سال اخیر، می‌تواند به اعتبار کار شما بیافزاید.

### ۴.۲ نتیجه‌گیری

در نتیجه‌گیری آخر این فصل، با توجه به بررسی انجام شده بر روی مراجع تحقیق، بخش‌های قابل گسترش و تحقیق در آن حیطه و چشم‌اندازهای تحقیق مورد بررسی قرار می‌گیرند. در برخی از تحقیقات، نتیجه نهایی فصل روش تحقیق، ارائه یک چارچوب کار تحقیقی (research framework) است.

## فصل ۳

### روش تحقیق

#### ۱.۳ مقدمه

این فصل، محل شرح کامل روش تحقیق است و بسته به نوع روش تحقیق و با نظر استاد راهنمای تواند «مواد و روش‌ها<sup>۱</sup>» نیز نام بگیرد. این فصل حدود ۱۵ صفحه است.

#### ۲.۳ محتوا (نام‌گذاری بر اساس روش تحقیق و مسأله مورد مطالعه)

##### ۱.۲.۳ علت انتخاب روش

دلیل یا دلایل انتخاب روش تحقیق را تشریح می‌کند.

##### ۲.۲.۳ تشریح کامل روش تحقیق

برای اینکه پایان‌نامه دارای ارزش علمی باشد، باید قابل تکرار باشد و داوران و خوانندگان از امکان تکرار پذیر بودن کار شما مطمئن شوند. شما باید چگونگی تکرار آزمایش به وسیله دیگران را در این قسمت فراهم کنید.

---

<sup>1</sup>Materials and Methods

### فصل ۳: روش تحقیق طراحی و ساخت حسگر لامسه‌ی منعطف بر اساس ترکیب داده‌های حسگری برای تعامل و کار کردن با اشیاء

تکرار پذیری آزمایشات و روش شما، برابر با میزان پتانسیل تکرار نتایج برابر یا نزدیک به آن است. در زیر به تعدادی از روش‌های تحقیق اشاره شده است:

- **روش تحقیق آزمایشگاهی**

توصیف کامل برنامه آزمایشگاهی شامل مواد مصرفی و نحوه ساخت نمونه‌ها، شرح آزمایش‌ها شامل نحوه تنظیم و آماده‌سازی آزمایش‌ها و دستگاه‌های مورد استفاده، دقت و نحوه کالیبره کردن، شرح دستگاه ساخته شده (در صورت ساخت) و ارائه روش اعتبارسنجی.

- **روش تحقیق آماری**

توصیف ابزارهای گردآوری اطلاعات کمی و کیفی، اندازه نمونه‌ها، روش نمونه‌برداری، تشریح مبانی روش آماری و ارائه روش اعتبارسنجی.

- **روش تحقیق نرم‌افزارنویسی**

توصیف کامل برنامه‌نویسی، مبانی برنامه و ارائه روش اعتبارسنجی.

- **روش تحقیق مطالعه موردنی**

توصیف کامل محل و موضوع مطالعه، علت انتخاب مورد و پارامترهایی که تحت ارزیابی قرار داده می‌شوند و ارائه روش اعتبارسنجی.

- **روش تحقیق تحلیلی یا مدل‌سازی**

توصیف کامل مبانی یا اصول تحلیل یا مدل و ارائه روش اعتبارسنجی آن. در ارائه مدل ریاضی معمولاً نیاز است اندیس‌ها، پارامترها، متغیرهای تصمیم و فرمولهای مدل، به صورت سیستماتیک، ارائه شوند. پیشنهاد می‌گردد برای نمایش اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم از سه جدول به صورت زیر استفاده گردد:

جدول ۱.۳: اندیس‌های به کار رفته در مدل ریاضی

| بیماران                                    | $I, J$ |
|--|--------|
| مرحله زمان‌بندی (بستری، اتاق عمل، ریکاوری) | $k$    |
| ماشین (تخت یا اتاق عمل) در مرحله $k$       | $L_k$  |
| جراح                                       | $n$    |

- **روش تحقیق میدانی**

چگونگی دستیابی به داده‌ها در میدان عمل و نحوه برداشت از پاسخ‌های دریافتی.

طراحی و ساخت حسگر لامسه‌ی منعطف بر اساس ترکیب داده‌های حسگری برای تعامل و کار کردن با اشیا غصل ۳: روش تحقیق

جدول ۲.۳: پارامترهای مدل ریاضی

|  |                  |
|--|------------------|
| زمان خدمت‌دهی به بیمار در مرحله $k$ ام                             | $t_{ik}$         |
| زمان فاری خدمت‌دهی به بیمار در محله $k$ ام                         | $\tilde{t}_{ik}$ |
| مقدار بدینانه (حداکثر) برای زمان خدمت‌دهی به بیمار در مرحله $k$ ام | $t_{ik}^p$       |
| محتمل‌ترین مقدار برای زمان خدمت‌دهی به بیمار در مرحله $k$ ام       | $t_{ik}^m$       |
| مقدار خوبینانه (حداقل) برای زمان خدمت‌دهی به بیمار در مرحله $k$ ام | $t_{ik}^o$       |

جدول ۳.۳: متغیرهای مدل ریاضی

|  |              |
|--|--------------|
| متغیر صفر-یک تخصیص بیمار به تخت/اتاق عمل | $X_{ild_k}$  |
| زمان شروع خدمت‌دهی به بیمار              | $S_{ild_k}$  |
| متغیر صفر-یک توالی بیماران               | $Y_{ijkl_k}$ |
| متغیر صفر-یک تخصیص جراح به بیمار         | $V_{ni}$     |



## فصل ۴

### نتایج

#### ۱.۴ مقدمه

ارائه داده‌ها، نتایج، تحلیل و تفسیر اولیه آنها در این فصل ارائه می‌شود. در ارائه نتایج با توجه به راهنمای کلی نگارش فصل‌ها، تا حد امکان، ترکیبی از نمودار و جدول استفاده شود. با توجه به حجم و ماهیت تحقیق و با صلاح‌دید استاد راهنمای، این فصل می‌تواند تحت عنوانی دیگر بیاید. در صورتی که حجم داده‌ها زیاد باشد، بهتر است به صورت نمودار یا در قالب ضمیمه ارائه نشده و فقط نمونه‌ها در متن آورده شود. در این فصل باید به سوالات تحقیق، عطف به یافته‌های محقق، پاسخ داده شود. اگر تحقیق دارای آزمون فرض باشد، پذیرش یا عدم پذیرش فرضیه‌ها در این فصل گزارش می‌شود. این فصل حدود ۴۰ صفحه است.

#### ۲.۴ محتوا

در این بخش به سوالات تحقیق، بر اساس داده‌ها و یافته‌های محقق، پاسخ داده می‌شود. داده‌ها با فرمت مناسبی ارائه می‌شوند؛ مدل (ها) اجرا شده و نتیجه آن مشخص می‌شود.

## ۳.۴ اعتبارسنجی

از طریق مقایسه نتایج با نتایج کارهای دیگران، استفاده از روش‌های تحلیل پایانی (reliability) و اعتبار (validity)، نظرگیری از خبرگان (expert judgment or feedback) و یا triangulation انجام می‌شود.

## فصل ۵

### بحث و نتیجه‌گیری

#### ۱.۵ مقدمه

تاکنون شما در پایان‌نامه‌ای که مشغول نوشتتن آن هستید، پاسخ چهار سؤال را داده‌اید:

- چرا تحقیق را انجام دادید؟ (مقدمه)
- دیگران در این زمینه چه کارهایی کرده‌اند و تمایز کار شما با آنها؟ (مرور ادبیات)
- چگونه تحقیق را انجام دادید؟ (روش‌ها)
- چه از تحقیق به دست آوردید؟ (یافته‌ها)

حال زمان آن فرا رسیده که با توجه به تمامی مطالب ذکر شده، در نهایت به سؤال آخر پاسخ دهید:

- چه برداشتی از یافته‌های تحقیق کردید؟ (نتیجه‌گیری)

در واقع در این بخش، هدف، پاسخ به این سوال است که چه برداشتی از یافته‌ها کردید و این یافته‌ها چه فایده‌ای دارند؟

نتیجه‌گیری مختصری بنویسید. ارائه داده‌ها، نتایج و یافته‌ها در فصل چهارم ارائه می‌شود. در این فصل تفاوت، تضاد یا تطابق بین نتایج تحقیق با نتایج دیگر محققان باید ذکر شود. تفسیر و تحلیل نتایج نباید بر اساس حدس و گمان باشد، بلکه باید بر مبنای نتایج عملی استخراج شده از تحقیق و یا استناد به تحقیقات دیگران باشد. با توجه به حجم و ماهیت تحقیق و با صلاح‌حدید استاد راهنمای، این فصل می‌تواند تحت عنوانی دیگر باید

## فصل ۵: بحث و نتیجه‌گیری و ساخت حسگر لامسه‌ی منعطف بر اساس ترکیب داده‌های حسگری برای تعامل و کار کردن با اشیاء

یا به دو فصل جداگانه با عنوانین مناسب، تفکیک شود. این فصل فقط باید به جمع‌بندی دست‌آوردهای فصل‌های سوم و چهارم محدود و از ذکر موارد جدید در آن خودداری شود. در عنوان این فصل، به جای کلمه «تفسیر» می‌توان از واژگان «بحث» و «تحلیل» هم استفاده کرد. این فصل شاید مهم‌ترین فصل پایان‌نامه باشد.

در این فصل خلاصه‌ای از یافته‌های تحقیق جاری ارائه می‌شود. این فصل می‌تواند حاوی یک مقدمه، شامل مروری اجمالی بر مراحل انجام تحقیق باشد (حدود یک صفحه). مطالب پاراگراف‌بندی شود و هر پاراگراف به یک موضوع مستقل اختصاص یابد. فقط به ارائه یافته‌ها و دست‌آوردها بسنده شود و از تعمیم بی‌مورد نتایج خودداری شود. تا حد امکان از ارائه جداول و نمودارها در این فصل اجتناب شود. از ارائه عنوانین کلی در حوزه تحقیق و قسمت پیشنهاد تحقیقات آتی خودداری شود و کاملاً در چارچوب و زمینه مربوط به تحقیق جاری باشد. این فصل حدود ۱۵-۲۰ صفحه است.

## ۲.۵ محتوا

به ترتیب شامل موارد زیر است:

### ۱.۰۲.۵ جمع‌بندی

خلاصه‌ای از تمام یافته‌ها و دست‌آوردهای تحقیق جاری است.

### ۲.۰۲.۵ نوآوری

این قسمت، نوآوری تحقیق را بر اساس یافته‌های آن تشریح می‌کند. که دارای دو بخش اصلی است:

۱. نوآوری تئوری، یعنی تمایز تئوریک کار با کارهای محققین قبلی.
۲. نوآوری عملی، یعنی توصیه‌های محقق به صنعت برای بهبود بخشیدن به کارها، بر اساس یافته‌های تحقیق.

## طراحی و ساخت حسگر لامسه‌ی منعطف بر اساس ترکیب داده‌های حسگری برای تعامل و کار کردن فلسطین<sup>۱۵</sup>: بحث و نتیجه‌گیری

### ۳.۲.۵ پیشنهادها

این بخش، عناوین و موضوعات پیشنهادی را برای تحقیقات آتی، بیشتر در زمینه مورد بحث در آینده ارائه می‌کند.

### ۴.۲.۵ محدودیت‌ها

در اینجا انواع محدودیت‌های تحقیق تشریح می‌شوند؛ از جمله، محدودیت‌هایی که کنترل آن از عهده محقق خارج است، مانند انتخاب نوع یافته‌ها؛ و همچنین دیگر محدودیت‌هایی که کنترل آن در دست محقق است، مانند موضوع و محل تحقیق و ... . تأثیر این محدودیت‌ها بر یافته‌های تحقیق در این قسمت شرح داده می‌شوند.



## مراجع

grippers, robotic “State-of-the-art Zhang, Z. and Wang, K. Zhou, J. Xie, Y. Zhang, B. [1] review,” A robots: agricultural in applications their as well as strategies, control and grasping .٢٠٢٠ ،١٠٥٦٩٤ p. ،١٧٧ vol. *Agriculture in Electronics and Computers*

socially for sensing tactile and skin “Artificial Velonaki, M. and Rye, D. Silvera-Tawil, D. [٢] ،٢٤٣-٢٣٠ pp. ،٨٣ vol. *Systems Autonomous and Robotics* review.” A robots: interactive .٢٠١٥

distributed for array sensor tactile “Flexible Chen, J. and Zhu, L. Mei, D. Wu, X. Wang, Y. [٣] *Physi- A: Actuators and Sensors* grasping,” hand robotic in detection slip and sensing tactile .٢٠١٩ ،١١١٥١٢ p. ،٢٩٧ vol. *cal*

in sensor force “Mems Butler, elik Z. and Butler, P. D. Chitteboyina, M. M. Ahmed, M. [٤] ،١٠ no. ،١٣ vol. *Journal Sensors IEEE* piezoresistors,” nichrome using substrate flexible a .٢٠١٣ ،٤٠٨٩-٤٠٨١ pp.

d-٣ sensitive highly “A Ritter, H. and Haschke, R. Schuermann, C. Zenker, M. Koiva, R. [٥] .٢٠١٣ ،٧ ،١٠٨٩-١٠٨٤ pp. sensor.” tactile shaped

“Large-area Lapusta, Y. and Mezouar, Y. Corrales-Ramon, J.-A. Chapelle, F. Pagoli, A. [٦] ،٢٢ vol. *Sensors applications*,” robotic soft for sensor capacitive force/tactile low-cost and .٢٠٢٢ ،٤٠٨٣ p. ،١١ no.

for sensors tactile robot High-resolution “Gelsight: Adelson, H. E. and Dong, S. Yuan, W. [٧] .٢٠١٧ ،١٢ no. ،١٧ vol. *Sensors force*,” and geometry estimating

sensor- displacement and force d-٣ optical novel “A Redmond, J. S. and Xia, B. Khamis, H. [٨] *Physical A: Actuators and Sensors* sensor,” tactile papillarray the instrumenting towards .٢٠١٩ ،١٨٧-١٧٤ pp. ،٢٩١ vol.

sen- tactile for technologies in progress “Recent Liu, C. and Li, T. Xue, N. Sun, X. Chi, C. [٩] .٢٠١٨ ،٩٤٨ p. ،٤ no. ،١٨ vol. *Sensors sors*,”

. ۲۰۰۸ Press. Electronic University Link oping .*robot industrial the of history The Wallén*. J. [۱۰]

re- Annual ourselves.” about reveal we truths The robots: with “Interactions Broadbent, E. [۱۱]  
. ۲۰۱۷ ، ۶۵۲-۶۲۷ pp. ۱ no. ۸۸ vol. .*psychology of view*

. ۱ vol. .*system and technologies sensing- tactile Robotic* Valle, M. and Dahiya S. R. [۱۲]  
. ۲۰۱۳ Springer.

human- for interaction human-robot “Multimodal Wang, L. and Li, S. Zheng, P. Wang, T. [۱۳]  
. ۳ no. ۸ vol. .*Systems Intelligent Advanced survey*,” a manufacturing: smart centric  
. ۲۰۲۴ ، ۲۳۰۰۳۵۹ p.

. ۸۸ vol. .*factors Human challenges*,” and status interaction: “Human-robot Sheridan, B. T. [۱۴]  
. ۲۰۱۶ ، ۵۳۲-۵۲۵ pp. ۴ no.

grasping visual robotic “Data-driven Yan, Y. and Xu, J. Ma, S. Li, S. Song, K. Tian, H. [۱۵]  
*Applica-* with *Systems Expert review*,” problem-oriented A objects: unknown for detection  
. ۲۰۲۳ ، ۱۱۸۶۲۴ p. ۲۱۱ vol. .*tions*

geometry robust “Multi-modal Kalhor, A. and Masouleh, T. M. Koosheshi, M. Hosseini, H. [۱۶]  
. ۲۰۲۴ ، Access IEEE detection,” grasp for abstraction scene shape primitive

two-finger for detection pose grasp “Explorable Kalhor, A. and Masouleh, T. M. Beigy, A. [۱۷]  
*(ICEE) Engineering Electrical on Conference International nd۳۲ ۲۰۲۴* in handover,” robot  
. ۲۰۲۴ IEEE، ۷-۱ pp.

generation keypoint skeleton-based d۳“ Kalhor, A. and Masouleh, T. M. Sabzejou, A. [۱۸]  
*In- RSI th۱۱ ۲۰۲۳* in variation,” height uniform roughly with objects grasping for method  
. ۲۰۲۳ IEEE، ۸۵۳-۸۴۷ pp. .*(ICRoM) Mechatronics and Robotics on Conference ternational*

light super A (gtg): graph the “Grasp Kalhor, A. and Masouleh, T. M. Moghadam, R. A. [۱۹]  
*on Conference International RSI th۱۱ ۲۰۲۳* in grasping,” robotic for framework graph-rl  
. ۲۰۲۳ IEEE، ۸۶۸-۸۶۱ pp. .*(ICRoM) Mechatronics and Robotics*

robotic for sensors and sensing tactile in progress “Recent Atkeson, G. C. and Yamaguchi A. [۲۰]  
. ۱۴ no. ۳۳ vol. .*Robotics Advanced vision*,” into sensing tactile turn we can manipulation:  
. ۲۰۱۹ ، ۶۷۳-۶۶۱ pp.

smart and technology sensor tactile “Novel Li, X. and Cretu, E. Wang, J. Z. Ge, C. Zou, L. [۲۱]  
. ۲۰۱۷ ، ۲۶۵۳ p. ۱۱ no. ۱۷ vol. .*Sensors review*,” A systems: sensing tactile

manip- in-hand dexterous for sensing “Tactile Althoefer, K. and Boukallel, M. Yousef, H. [۲۲]  
-۱۷۱ pp., ۲ no., ۱۶۷ vol. *physical A: Actuators and Sensors review.*” robotics—a in ulation

.۲۰۱۱، ۱۸۷

*captain design, ship naval European in control.*” robot vision-based of “Survey Malis, E. [۲۳]  
.۲۰۰۲ *forum IV computer*

po- low with gripper parallel a in control force tactile “Adaptive Natale, L. and Piga A. N. [۲۴]  
.۵۰۵۱-۵۰۴۴ pp., ۹ no., ۸ vol. *Letters Automation and Robotics IEEE resolution.*” sitioning  
.۲۰۲۳

“Sensors hands.” prosthetic in grasping automatic for strategies detection “Slip Kyberd, P. [۲۵]  
.۲۰۲۲، ۴۴۳۲ p., ۹ no., ۲۳ vol.

manipu- object for algorithms control “Slipping Natale, C. and Maria, De G. Costanzo, M. [۲۶]  
*Robotics on Conference International IEEE ۲۰۱۸ in grippers.*” parallel sensorized with lation  
.۲۰۱۸ IEEE، ۷۴۶۱-۷۴۵۵ pp. *(ICRA) Automation and*

simulta- to sensor tactile barometric soft “A Crevecoeur, G. and Sianov, A. Clercq, De T. [۲۷]  
robotic a in slip detect to validation with force normal estimate and contact localize neously  
.۲۰۲۲، ۱۱۷۷۴-۱۱۷۶۷ pp., ۴ no., ۸ vol. *Letters Automation and Robotics IEEE gripper.*”

“A Culmer, P. and Hewson, R. Alazmani, A. Ghajari, M. Kow, J. Boer, De G. Wang, H. [۲۸]  
.۱۶۸ vol. *Engineering Procedia sensors.*” hall d۪ using array sensing tactile soft low-cost  
.۲۰۱۶، ۶۵۳-۶۵۰ pp.

Uni- .*control grasp and identification object for sensor tactile Biomimetic* Wettels, B. N. [۲۹]  
.۲۰۱۱ California. Southern of versity

con- and “Design Emamieh, Darb G. and Golpaygani, Tavakoli A. Najarian, S. Nasserii, N. [۳۰]  
effect.” piezoelectric on based contact-force, measuring for sensor tactile novel a of struction  
.۲۰۱۱، ۶۰-۵۵ pp., ۱ no., ۴۳ vol. *Engineering Electrical of Journal AUT*

“A Cosseddu, P. and Bonfiglio, A. Valle, M. Seminara, L. Viola, F. Pinna, L. Spanu, A. [۳۱]  
ultra-low an to coupled pvdf polymer piezoelectric on based sensor tactile high-sensitivity  
.۲۰۱۶، ۶۰-۵۷ pp., ۳۶ vol. *Electronics Organic transistor.*” organic voltage

sensors: tactile piezoelectric flexible “Pvdf-based Liu, H. and Yan, H. He, Y. Xu, L. Qi, F. [۳۲]  
.۲۰۲۳، ۲۳۰۰۱۱۹ p., ۱۰ no., ۵۸ vol. *Technology and Research Crystal Review.*”

high- “A Dong, G. and Qin, L. Luo, Y. Lu, S. Wu, Y. Hao, L. Xia, W. Ma, Z. Huang, X. [۳۳]  
struc- rigid-in-soft innovative an utilizing sensor tactile piezoelectric flexible sensitivity  
.۲۰۲۴، ۱۱۰۰۱۹ p., ۱۲۹ vol. *Energy Nano ture.*”

for array sensor tactile piezoelectric “Flexible Fu, X. and Cheng, X. Gu, C. Liu, W. Yu, P. [34]  
.2016, 8 no., 16 vol. „Sensors measurement,” force three-axis dynamic

Hua, Q. and Sun, J. Yuan, Z. Yang, Z. Dong, L. Zhang, T. Wei, R. Li, X. Yang, H. Xi, J. [35]  
applications.” and fabrication. Mechanisms, systems: sensory tactile in advances “Recent  
.2024, 5 no., 14 vol. „Nanomaterials

for sensor tactile flexible a of “Design Kragic, D. and Bilberg, A. Kootstra, G. Drimus, A. [36]  
.82 vol. „Systems Autonomous and Robotics objects,” deformable and rigid of classification  
Robotics. of Boundaries New .2014, 15-3 pp., 1 no.

agn- “Porous Chen, W. and Tian, J. Shen, J. Hou, D. Zhang, P. Zhou, J. Jing, M. [37]  
sen- high with sensor piezoresistive flexible composite-based fluoride) ws/poly(vinylidene  
.49 no., 14 vol. „Interfaces & Materials Applied ACS ranges,” pressure wide and sitivity  
.2022, 550-5-5498 pp., 11 no., 4 vol. „Materials Electronic Applied ACS cess.”

“High-performance Liu, F. and Ren, T. Guo, X. Wu, W. Li, Y. Xu, J. Lei, X. Zhao, Y. [38]  
pro- irradiation microwave modified a by prepared sensor piezoresistive pdms-based porous  
.2022, 550-5-5498 pp., 11 no., 4 vol. „Materials Electronic Applied ACS cess.”

with sensing tactile for sensor stress shear “A Hoshino, Kazunori Noda, Kentaro S. I. M. K. [39]  
„Physical A: Actuators and Sensors material,” elastic in standing cantilever piezoresistive the  
.2006, 301-295 pp., 2 no., 127 vol.

fiber “Porous Chou, X. and Geng, W. Mu, J. Mei, L. Yu, J. Yang, C. He, J. Zhong, J. Hou, X. [40]  
sensor piezoresistive flexible high-sensitivity composed electrodes patterned d3 and paper  
.2 .85 vol. „Sciences Technological China Science monitoring,” signal physiological for  
.2022

N. A. Muir, V. B. Barman, S. Chen, H. V. C. Stoltenberg, M. R. Tee, C. B. Mannsfeld, C. S. [41]  
microstruc- with sensors pressure flexible sensitive “Highly Bao, Z. and Reese, C. Sokolov,  
.2010, 864-869 pp., 10 no., 9 vol. „materials Nature layers,” dielectric rubber tured

technologies sensing tactile of review “A Lovell, H. N. and Redmond, J. S. Tiwana, I. M. [42]  
.179 vol. „physical A: Actuators and Sensors engineering,” biomedical in applications with  
.2012, 31-17 pp.

IEEE array,” tactile capacitive with sensor robot tactile-thermal integrated “An Castelli, F. [43]  
.2002, 90-80 pp., 1 no., 38 vol. „Applications Industry on Transactions

human- for skin artificial low-noise and low-cost robust. "A Cutkosky, M. and Ulmen J. [٤٤] „automation and robotics on conference International IEEE ٢٠١٠ in robots.” friendly .٢٠١٠ IEEE، ٤٨٤١-٤٨٣٦ pp.

detection force pulling "Friction-assisted Chen, R. and Lo, C.-Y. Wang, Y.-C. Chen, T.-Y. [٤٥] .٢ no. ،٢٣ vol. „systems microelectromechanical of Journal sensors,” tactile for mechanism .٢٠١٣، ٤٨١-٤٧١ pp.

a of measurement force contact "Three-axis Chen, Z. and Xin, Z. Mei, D. Xi, K. Wang, Y. [٤٦] Robots: and Sensors Wearable in applications." grasping hand for array sensor tactile flexible .٧٩-٩٧ pp. ، ٢٠١٥ *Robots and Sensors Wearable on Conference International of Proceedings* .٢٠١٦ Springer.

.*GelSight with information touch analyzing and sensing believing: is Touching* .al. et Li R. [٤٧] .٢٠١٥ Technology, of Institute Massachusetts thesis, PhD

thesis, PhD .*manipulation robotic reactive for sensing tactile High-resolution* .al. et Dong S. [٤٨] .٢٠٢١ Technology, of Institute Massachusetts

shape for sensor tactile Optical :٠.٢ "Densetact III, Kennedy M. and Jurewicz, B. Do, K. W. [٤٩] .٢٠٢٢، ١٠١٢٢.٢٢٠٩arXiv: preprint arXiv reconstruction," force and

*IEEE applications,*" robotic for sensors force/tactile "Optical Pirozzi, S. and Costanzo M. [٥٠] .٢٠٢١، ٣٥-٢٨ pp. ،٥ no. ،٢٤ vol. *Magazine Measurement & Instrumentation*

aruco an of development and design "Towards Alambeigi, F. and Everson, C. Kara, C. O. [٥١] .٢٠٢٣، ٠٨٣٩٨.٢٣١٠arXiv: preprint arXiv sensor," tactile surface quantitative markers-based -٣ for concept sensing tactile "A Redmond, J. S. and Ulloa, M. P. Bulens, C. D. Leslie, O. [٥٢] *IEEE sensing,*" intensity and angle light using measurement force -d٣ and displacement d .٢٠٢٣، ٢١١٨٨-٢١١٧٢ pp. ،١٨ no. ،٢٣ vol. *Journal Sensors*

genome- the of analysis integrated "An Kim, Y. and Seo, Y.-R. Kim, N.-Y. Kim, M.-C. [٥٣] human a of population side the defining expression mrna and methylation dna of profiles wide .٢٠١٦، ١٦٦٨ p. ،١٢ no. ،٧ vol. *Cancer of Journal line,*" cell mesothelioma malignant

[٥٤] تحصیلات تکمیلی، "دستورالعمل نگارش و تدوین پایان نامه دانشجویان مقطع کارشناسی ارشد و دکتری." معاونت آموزشی و تحصیلات تکمیلی پردیس دانشکده های فنی دانشگاه شهریور ١٣٩٣. <http://egufa.ut.ac.ir> تهران.

USA: NJ, River, Saddle Upper .*Processing Image Digital Woods*, E. R. and Gonzalez C. R. [٥٥] .٢٠٠٦ ed., rd٣ Inc., Prentice-Hall.

## فصل ۵: بحث و نتیجه‌گیری و ساخت حسگر لامسه‌ی منعطف بر اساس ترکیب داده‌های حسگری برای تعامل و کار کردن با اشیاء

[۵۶] . امین‌طوسی and . واحدی، “راهنمای استفاده از سبک‌های فارسی برای bibTeX در زیپرشین.” گروه پارسی‌لاتک، ۱۳۸۷ .  
<http://www.parsilatex.com>

[۵۷] . خلیقی، “زیپرشین (XEPersian): بسته فارسی برای حروف‌چینی در LATEX2e . ۱۳۸۷ .  
<http://www.ctan.org/pkg/xepersian>

*Trans. IEEE them.*, break to how and super-resolution on “Limits Kanade, T. and Baker S. [۵۸]  
. ۲۰۰۲، ۱۱۸۳-۱۱۶۷ pp., ۹ no., ۲۴ vol., *Intell. Mach. Anal. Pattern*

moving of presence the in enhancement resolution “Video Fathy, M. and Amintoosi M. [۵۹]  
*Pattern and Vision, Computer Processing, Image on Conference International in objects.*”  
. ۲۰۰۹ July USA), Vegas, (Las ,*Recognition*

. ۲۰۰۷ April Univ., Sydny thesis, Master's theory,” “Category Khalighi, V. [۶۰]  
of University thesis, PhD .*Restoration Superresolution Multiframe in Topics* Borman, S. [۶۱]  
. ۲۰۰۴ may IN, Dame, Notre Dame, Notre

[۶۲] . واحدی، “درختان پوشای کمینه دورنگی مسطح، ” مجله فارسی نمونه، ۱۳۸۷ . آبان ۳۰-۲۲ pp., ۱ vol.

[۶۳] . امین‌طوسی، . مزینی، and . فتحی، “افزایش وضوح ناحیه‌ای، ” in چهاردهمین کنفرانس ملی سالانه انجمن کامپیوتر ایران، (تهران، ایران)، ۱۰۸-۱۰۱ pp., ۱۳۸۷ . دانشگاه امیرکبیر، اسفند

[۶۴] . استالینگ، اصول طراحی و ویژگی‌های داخلی سیستم‌های عامل. اصفهان: نشر شیخ بهایی، سوم، ed . بهار ۱۳۸۰ .

[۶۵] . پورموسی، “بررسی رویدادهای ریزهمگرایی گرانشی تکراری در راستای مرکز کهکشان و ابرهای مازلانی، ” Mas-thesis، ter's دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۸۸ .

[۶۶] . امیدعلی، خم‌های تک‌جمله‌ای تعریف شده توسط دنباله‌های تقریباً حسابی. PhD thesis، دانشکده ریاضی، دانشگاه امیرکبیر، تیر ۱۳۸۵ .

## آپیوست آ

# آشنایی سریع با برخی دستورات لاتک

در این فصل ویژگی های مهم و پرکاربرد زی پرشین و لاتک معرفی می شود. برای راهنمایی بیشتر و به کاربردن ویژگی های پیشرفته تر به راهنمای زی پرشین و راهنمای لاتک مراجعه کنید. برای آگاهی از دستورات لاتک که این خروجی را تولید کرده اند فایل appendix1.tex را ملاحظه فرمایید.<sup>۱</sup>

### ۱. آ بندها و زیرنویس ها

هر جایی از نوشته خود، اگر می خواهید به سر سطر بروید و یک بند (پاراگراف) تازه را آغاز کنید، باید یک خط را خالی بگذارید<sup>۲</sup> مانند این:

حالا که یک بند تازه آغاز شده است، یک زیرنویس انگلیسی<sup>۳</sup> هم می نویسیم!

---

<sup>۱</sup> بیشتر مطالب این بخش از مثال xepersian\_example.tex گرفته شده اند که توسط آقای امیر مسعود پور موسی آماده شده است.

<sup>۲</sup> یعنی دوبار باید کلید Enter را بزنید.

<sup>۳</sup> English Footnote!

پیوست آ: آشنایی سریع روحی خسیلخسته‌طلبستگل‌لکسسه می منعطف بر اساس ترکیب داده های حسگری برای تعامل و کار کردن با اشیاء

## آ.۲ فرمول‌های ریاضی

اینجا هم یک فرمول می‌آوریم که شماره دارد:

$$A = \frac{c}{d} + \frac{q^*}{\sin(\omega t) + \Omega_{12}} \quad (1.1)$$

در لاتک می‌توان به کمک فرمان `\label` به هر فرمول یک نام نسبت داد. در فرمول بالا نام `eq:yeq` را برایش گذاشته‌ایم (پرونده `tex` همراه با این مثال را ببینید). این نام مارا قادر می‌کند که بعداً بتوانیم با فرمان `\ref{eq:yeq}` به آن فرمول باشماره ارجاع دهیم. یعنی بنویسیم فرمول آ.۱. لاتک خودش شماره این فرمول‌ها را مدیریت می‌کند.<sup>۴</sup> این هم یک فرمول که شماره ندارد:

$$A = |\vec{a} \times \vec{b}| + \sum_{n=0}^{\infty} C_{ij}$$

این هم عبارتی ریاضی مانند  $\sqrt{a^2 + b^2}$  که بین متن می‌آید.

### آ.۲.۱ یک زیربخش

این زیربخش آ.۲.۱ است؛ یعنی یک بخش درون بخش آ.۲ است.

#### آ.۲.۱.۱ یک زیرزیربخش

این هم یک زیرزیربخش است. در لاتک می‌توانید بخش‌های تودرتو در نوشته‌تان تعریف کنید تا ساختار منطقی نوشته را به خوبی نشان دهید. می‌توانید به این بخش‌ها هم با شماره ارجاع دهید، مثلاً بخش فرمول‌های ریاضی شماره‌اش آ.۲ است.

<sup>۴</sup> یعنی اگر بعداً فرمولی قبل از این فرمول بنویسیم، خود به خود شماره این فرمول و شماره ارجاع‌ها به این فرمول یکی زیاد می‌شود. دیگر نگران شماره‌گذاری فرمول‌های خود نباشید!

طراحی و ساخت حسگر لامسه‌ی منعطف بر اساس ترکیب داده‌های حسگری برپایو سعلقل آن‌اکلنا یکی دهنایم شیاعرخی دستورات لاتک

## آ.۳ نوشه‌های فارسی و انگلیسی مخلوط

نوشتن یک کلمه‌انگلیسی بین متن فارسی بدیهی است، مانند Example در این جمله.<sup>۵</sup> نوشتن یک عبارت چندکلمه‌ای مانند More than one word کمی پیچیده‌تر است. اگر ناگهان تصمیم بگیرید که یک بند کاملاً انگلیسی را بنویسید، باید:

This is an English paragraph from left to right. You can write as much as you want in it.

## آ.۴ افزودن تصویر به نوشه

پرونده تصویر دلخواه خود را در کنار پرونده tex قرار دهید. سپس به روش زیر تصویر را در نوشه خود بیاورید:

```
\includegraphics{YourImageFileName}
```

به تصویرها هم مانند فرمول‌ها و بخش‌ها می‌توان با شماره ارجاع داد. مثلاً تصویر آ.۱ یک شیر علاقه‌مند به لاتک را در حال دویدن نشان می‌دهد. برای جزئیات بیشتر درباره روش گذاشتن تصویرها در نوشه باید راهنمایی لاتک را بخوانید.



شکل آ.۱: در این تصویر یک شیر علاقه‌مند به لاتک را در حال دویدن می‌بینید.

به تصویرها هم مانند فرمول‌ها و بخش‌ها می‌توان با شماره ارجاع داد. مثلاً تصویر بالا شماره‌اش آ.۱ است. برای جزئیات بیشتر درباره روش گذاشتن تصویرها در نوشه باید راهنمایی لاتک را بخوانید.

<sup>۵</sup> هرچند بهتر است باز هم آن کلمه را مانند Example در این جمله بنویسید.

پیوست آ: آشنایی سریع روحی خصیلخسترهستگلائکسی منعطف بر اساس ترکیب داده های حسگری برای تعامل و کار کردن با اشیاء

## آ.۵ محیط‌های شمارش و نکات

برای فهرست کردن چندمورد، اگر ترتیب برایمان مهم نباشد:

• مورد یکم

• مورد دوم

• مورد سوم

و اگر ترتیب برایمان مهم باشد:

۱. مورد یکم

۲. مورد دوم

۳. مورد سوم

می‌توان موردهای تودرتو داشت:

۱. مورد ۱

۲. مورد ۲

(آ) مورد ۱ از ۲

(ب) مورد ۲ از ۲

(ج) مورد ۳ از ۲

۳. مورد ۳

شماره‌گذاری این موردها را هم لاتک انجام می‌دهد.

## آ.۶ تعریف و قضیه

برای ذکر تعریف، قضیه و مثال مثالهای ذیل را بینید.

طراحی و ساخت حسگر لامسه‌ی منعطف بر اساس ترکیب داده‌های حسگری برپایه‌ی سعلقل آنواکلناکی دنباله‌ی شیاعبرخی دستورات لاتک

تعريف آ.۶.۱. مجموعه همه ارزیابی‌های (پیوسته) روی  $(X, \tau)$ ، دامنه توانی احتمالی  $X$  نامیده می‌شود.

قضیه آ.۶.۲ (باناخ-آلاغلو). اگر  $V$  یک همسایگی در فضای برداری توپولوژیکی  $X$  باشد و

$$K = \{\Lambda \in X^* : |\Lambda x| \leq 1; \forall x \in V\}, \quad (2.1)$$

آنگاه  $K$ ، ضعیف\*-فسرده است که در آن،  $X^*$  دوگان فضای برداری توپولوژیکی  $X$  است به طوری که عناصر آن، تابعی‌های خطی پیوسته روی  $X$  هستند.

تساوی (آ.۶.۲) یکی از مهم‌ترین تساوی‌ها در آنالیز تابعی است که در ادامه، به وفور از آن استفاده می‌شود.

مثال آ.۶.۳. برای هر فضای مرتب، گردایه

$$U := \{U \in O : U = \uparrow U\}$$

از مجموعه‌های بالایی باز، یک توپولوژی تعریف می‌کند که از توپولوژی اصلی، درشت‌تر است.

حال تساوی

$$\sum_{n=1}^{+\infty} 3^n x + 7x = \int_1^n \Lambda nx + \exp(2nx) \quad (3.1)$$

را در نظر بگیرید. با مقایسه تساوی (آ.۶.۳) با تساوی (آ.۶.۲) می‌توان نتیجه گرفت که ...

## آ. چگونگی نوشتن و ارجاع به مراجع

در لاتک به راحتی می‌توان مراجع خود را نوشت و به آنها ارجاع داد. به عنوان مثال برای معرفی کتاب گنزالس [۵۵] به عنوان یک مرجع می‌توان آنرا به صورت زیر معرفی نمود:

\bibitem{Gonzalez02book}  
Gonzalez, R.C., and Woods, R.E. {\em Digital Image Processing}, 3rd ed.. Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ, USA, 2006.

پیوست آ: آشنایی سریع راهی خیلخستورهستگل لکسوسه‌ی منعطف بر اساس ترکیب داده‌های حسگری برای تعامل و کار کردن با اشیاء

در دستورات فوق Gonzalez02book برجسبی است که به این مرجع داده شده است و با استفاده از دستور \cite{Gonzalez02book} می‌توان به آن ارجاع داد؛ بدون این که شماره‌اش را در فهرست مراجع مان بدانیم.

اگر این اولین مرجع ما باشد در قسمت مراجع به صورت زیر خواهد آمد:

[1] Gonzalez, R.C., and Woods, R.E. *Digital Image Processing*, 3rd ed.. Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ, USA, 2006.

این شیوه تعریف مراجع بسیار ابتدایی است و اگر فرمت مراجع، ترتیب یا تعداد آنها را خواسته باشید تغییر دهید، به عنوان مثال ابتدا حرف اول نام نویسنده باید و سپس نام خانوادگی، باید همه کارها را به صورت دستی انجام دهید! چون در یک پروژه/پایان‌نامه/رساله یا مقاله باید کنترل کاملی بر مراجع خود داشته باشید و به راحتی بتوانید قالب مراجع را عوض کنید، بنابراین می‌بایست از BibTeX استفاده کنید که در پیوست پ به آن پرداخته خواهد شد.

## پیوست ب

# جدول، نمودار و الگوریتم در لاتک

در این بخش نمونه مثالهایی از جدول، شکل، نمودار، الگوریتم و معادلات ریاضی را در لاتک خواهیم دید. دقیق کنید که در پایان نامه‌ها و مقالات، باید قاعده «ارجاع به جلو<sup>۱</sup>» رعایت شود؛ یعنی ابتدا در متن به شماره شکل، جدول یا معادله اشاره شود و بعد از آن (زیر آن) خود شکل، جدول یا معادله رسم شود. (توضیحات بیشتر در قسمت ب.۷).

## ب.۱ جدول

دستور اصلی برای رسم جدول در لاتک `tabular` می‌باشد که جدول (ب.۱) با استفاده از آن کشیده شده است؛ در `tabular` عرض جدول برابر با مجموع عرض ستون‌ها و حداقل مساوی عرض متن است.

جدول ب.۱: مدل‌های تبدیل.

| نام مدل | درجه آزادی | تبديل مختصات   | توضیح           |
|---------|------------|--|-----------------|
| انتقالی | ۲          | $x' = x + t_x$<br>$y' = y + t_y$   | انتقال دو بعدی  |
| اقلیدسی | ۳          | $x' = x \cos \theta - y \sin \theta + t_x$<br>$y' = x \sin \theta + y \cos \theta + t_y$ | انتقالی + دوران |

<sup>۱</sup>Forward Referencing

## پیوست ب: جدول، نظریه و الگوریتم های تکمیلی

برای اینکه عرض جدول قابل کنترل باشد، باید از دستورات `tabu` یا `tabulary` یا `tabularx` استفاده کرد که راهنمای آنها در اینترنت وجود دارد. مثلاً جدول ب.۲ با `tabularx` رسم شده که عرض جدول در آن ثابت بوده و ستون‌های از نوع X عرض خالی جدول را پر می‌کنند.

جدول ب.۲: مدل‌های تبدیل دیگر.

| نام مدل | درجه آزادی | تبدیل مختصات   | توضیح               |
|---------|------------|--|---------------------|
| مشابهت  | ۴          | $x' = sx \cos \theta - sy \sin \theta + t_x$<br>$y' = sx \sin \theta + sy \cos \theta + t_y$ | اقلیدسی+تغییر مقیاس |
| آفین    | ۶          | $x' = a_{11}x + a_{12}y + t_x$<br>$y' = a_{21}x + a_{22}y + t_y$                             | مشابهت+اریب شدگی    |

## ب.۲ معادلات ریاضی و ماتریس‌ها

تقریباً هر آنچه دانشجویان برای نوشتن فرمول‌های ریاضی لازم دارند، در کتاب `mathmode` آمده است. کافیست در خط فرمان، دستور زیر را وارد کنید:

`texdoc mathmode`

متن زیر شامل انواعی از اشیاء ریاضی است که با ملاحظه کلش می‌توانید با دستورات آن آشنا شوید. شناخته شده‌ترین روش تخمین ماتریس هوموگرافی الگوریتم تبدیل خطی مستقیم (DLT<sup>2</sup>) است. فرض کنید چهار زوج نقطه متناظر در دو تصویر در دست هستند،  $\mathbf{x}'_i \leftrightarrow \mathbf{x}_i$  و تبدیل با رابطه  $\mathbf{x}'_i = H\mathbf{x}_i$  نشان داده می‌شود که در آن:

$$\mathbf{x}'_i = (x'_i, y'_i, w'_i)^\top$$

$$H = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 & h_3 \\ h_4 & h_5 & h_6 \\ h_7 & h_8 & h_9 \end{bmatrix}$$

و

---

<sup>2</sup>Direct Linear Transform

طراحی و ساخت حسگر لامسه‌ی منعطف بر اساس ترکیب داده‌های حسگری برای وسائل نیکارخرون بهانم‌شده‌لار و الگوریتم در لاتک

رابطه زیر را برای الگوریتم (ب.۱) لازم داریم.

$$\begin{bmatrix} \circ^\top & -w'_i \mathbf{x}_i^\top & y'_i \mathbf{x}_i^\top \\ w'_i \mathbf{x}_i & \circ^\top & -x'_i \mathbf{x}_i^\top \\ -y'_i \mathbf{x}_i^\top & x'_i \mathbf{x}_i^\top & \circ^\top \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{h}^1 \\ \mathbf{h}^2 \\ \mathbf{h}^3 \end{pmatrix} = \circ \quad (\text{ب.۱})$$

## ب. ۳ الگوریتم

### ب. ۱.۳ الگوریتم ساده با دستورهای فارسی

با مفروضات فوق، الگوریتم DLT به صورت نشان داده شده در الگوریتم (ب.۱) خواهد بود.

---

**الگوریتم ب.۱** الگوریتم DLT برای تخمین ماتریس هوموگرافی.

---

ورودی:  $n \geq 4$  زوج نقطه متناظر در دو تصویر  $\mathbf{x}_i \leftrightarrow \mathbf{x}'_i$ .

خروجی: ماتریس هوموگرافی  $H$  به نحوی که:  $\mathbf{x}'_i = H\mathbf{x}_i$ .

۱: برای هر زوج نقطه متناظر  $\mathbf{x}_i \leftrightarrow \mathbf{x}'_i$  ماتریس  $A_i$  را با استفاده از رابطه ب.۱ محاسبه کنید.

۲: ماتریس‌های  $A_i$  را در قالب یک ماتریس  $A$  ۹ ستونی ترکیب کنید.

۳: تجزیه مقادیر منفرد (SVD) ماتریس  $A$  را بدست آورید. بردار واحد متناظر با کمترین مقدار منفرد جواب  $\mathbf{h}$  خواهد بود.

۴: ماتریس هوموگرافی  $H$  با تغییر شکل  $\mathbf{h}$  حاصل خواهد شد.

---

### ب. ۲.۳ الگوریتم پیچیده و تودرتو با دستورهای فارسی

الگوریتم ب.۲، یک الگوریتم ترکیبی و تودرتو است که با کمک دستورهای بسته algorithmic نوشته شده است.

### ب. ۳.۳ الگوریتم با دستورهای لاتین

الگوریتم ب.۳ یک الگوریتم با دستورهای لاتین است.

## الگوریتم ب. ۲. الگوریتم اجرای برنامه شبیه سازی

- وروودی: زمان  $t_{max}$  به عنوان زمان لازم برای انجام شبیه سازی،  
وروودی: گراف شبکه برای شبیه سازی،  
خروجی: جدول تغییرات گراف از لحظه  $t$  تا  $t_{max}$  برای تمام لحظات در بازه  $t$  تا  $t_{max}$  انجام بده  
۱: برای تمام پیوندها انجام بده  
۲: برای تمام گره ها انجام بده  
۳: محاسبه ضریب و نرخ انتقال پیوند  
۴: محاسبه کیفیت و نرخ یادگیری  
۵: پایان حلقة برای  
۶: برای تمام گره ها انجام بده  
۷: محاسبه نرخ انتقال گره  
۸: محاسبه وضعیت جدید  
۹: پایان حلقة برای  
۱۰: اگر تغییرات از مقدار  $\delta$  کمتر است آنگاه  
۱۱: شکستن حلقة { این شرط برای پایان قبل از رسیدن به محدودیت زمانی است، اگر تغییرات کمتر از  $\delta$  باشد }  
۱۲: و گرنه اگر زمان اجرای برنامه بیش از حد طول کشیده و  $t > 100$  آنگاه  
۱۳: شکستن حلقة  
۱۴: پایان شرط اگر  
۱۵: پایان حلقة برای  
۱۶: چاپ کن زمان اجرای برنامه  
۱۷: بازگردان ماتریس تغییرات زمانی

طراحی و ساخت حسگر لامسه‌ی منعطف بر اساس ترکیب داده‌های حسگری برای تعاملی بیکاره کردن بین مشاهدات و الگوریتم در لاتک

---

### الگوریتم ب. ۳. الگوریتم RANSAC برای تخمین ماتریس هوموگرافی.

---

**Require:**  $n \geq 4$  putative correspondences, number of estimations,  $N$ , distance threshold

$T_{dist}$ .

**Ensure:** Set of inliers and Homography matrix  $H$ .

- 1: **for**  $k = 1$  to  $N$  **do**
  - 2:     Randomly choose 4 correspondence,
  - 3:     Check whether these points are colinear, if so, redo the above step
  - 4:     Compute the homography  $H_{curr}$  by DLT algorithm from the 4 points pairs,
  - 5:     ...
  - 6: **end for**
  - 7: Refinement: re-estimate  $H$  from all the inliers using the DLT algorithm.
- 

## ب. ۴ کد

درج کد به زبان‌های مختلف به سادگی امکان‌پذیر است. برنامه ب. ۱. یک قطعه کد MATLAB را نشان می‌دهد.

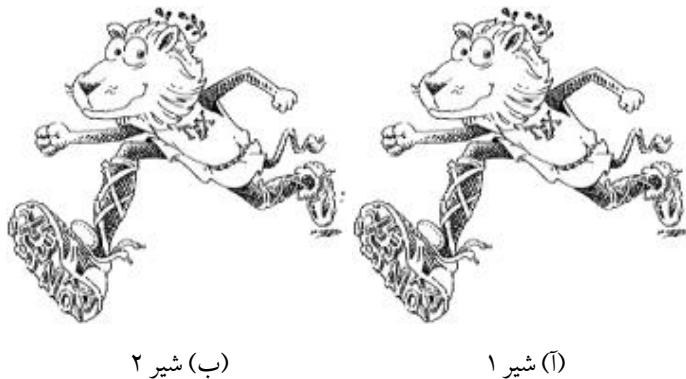
```
% define a continuous function  
f = '4*sin(2*pi*t)';  
% plot a figure  
ezplot(f);
```

1  
2  
3  
4

برنامه ب. ۱: نمونه کد MATLAB

## ب. ۵ تصویر

نمونه یک تصویر را در فصل قبل دیدیم. دو تصویر شیر کنار هم را نیز در شکل ب. ۱ مشاهده می‌کنید.



شکل ب.۱: دو شیر

## ب.۶ نمودار

لاتک بسته‌هایی با قابلیت‌های زیاد برای رسم انواع مختلف نمودارها دارد. مانند بسته‌های `Tikz` و `PSTricks`. توضیح اینها فراتر از این پیوست کوچک است.<sup>۳</sup> یک نمودار رسم شده با بسته `TikZ` در شکل ب.۲ نشان داده شده است.

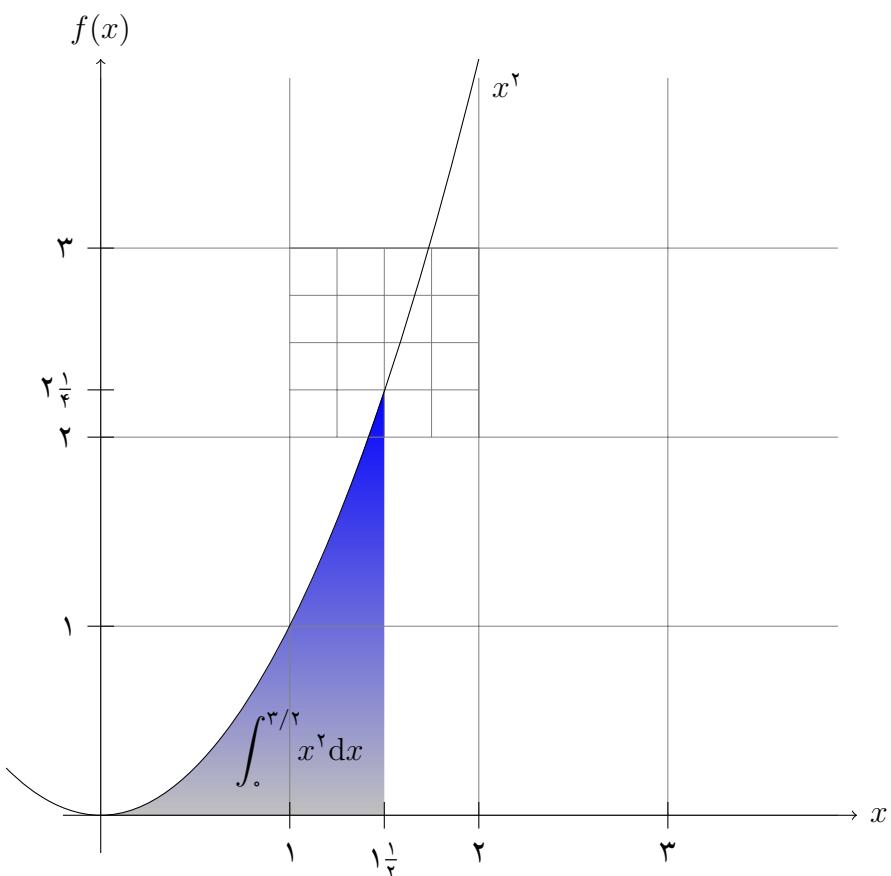
## ب.۷ نحوه قرارگیری اشیای شناور

شکل‌ها، جداول و الگوریتم‌ها در لاتک اشیای شناور محسوب می‌شوند؛ یعنی خود لاتک تصمیم می‌گیرد آنها را در کجای صفحه ترسیم کند تا زیباتر باشد. اما می‌توان به لاتک توصیه کرد که آن را در قسمت خاصی از صفحه رسم کند. برای اینکه قاعده «ارجاع به جلو» رعایت شود باید فقط از پرچم `[ht]` استفاده کرد، که می‌گوید اگر جا شد شکل را دقیقاً در همین مکان و در غیراینصورت در بالای صفحه بعد رسم کن. بنابراین دستورات درج تصویر، جدول و الگوریتم به صورت زیر باید باشند:

```
\begin{figure/table/algorithm}[ht]
...
\end{figure/table/algorithm}
```

<sup>۳</sup> مثال‌هایی از بکارگیری بسته `Tikz` را می‌توانید در <http://www.texample.net/tikz/examples/> ببینید. توصیه می‌شود دانشجویانی که قصد درج اشکالی مانند گراف را در سند خود دارند، مثال‌هایی از سایت مذکور را ملاحظه فرمایند.

طراحی و ساخت حسگر لامسه‌ی منعطف بر اساس ترکیب داده‌های حسگری برای پردازش معلول به کارخانه‌ی بانمثیله‌ها و الگوریتم در لاتک



شکل ب.۲: یک نمودار زیبا با ارقام فارسی و قابلیت بزرگ‌نمایی بسیار، بدون از دست دادن کیفیت.



## پیوست ب

### مراجع، واژه‌نامه و حاشیه‌نویسی

#### پ. ۱ مراجع و نقل قول‌ها

منابع پایان‌نامه، پایه و اساس تحقیق شما به حساب می‌آیند و ضرورت انجام مطالعه و روش‌های به کار رفته در بسیاری از قسمت‌های آن، به کمک منابع صورت می‌گیرد. در استفاده از مراجع علمی در پایان‌نامه، باید سعی کنید بیشتر از منابع چاپ شده و مهم استفاده کنید و ارجاع به داده‌های چاپ نشده، خلاصه‌ها و پایان‌نامه‌ها، سبب بهم خوردگی و کاهش اعتبار قسمت ارجاع منابع می‌شود. استفاده از منابع و نقل قول‌هایی به تحقیق شما ارزش می‌دهند که در راستای هدف تحقیق بوده و به آن اعتبار ببخشند. برخی از دانش‌جویان تصوّر می‌کنند که کثرت نقل قول‌ها و ارجاعات زیاد، مهم‌ترین معیار علمی شدن پایان‌نامه است؛ حال آنکه استناد به تعداد کثیری از منابع بدون مطالعه دقیق آنها و استفاده مستقیم در پایان‌نامه، می‌تواند نشان‌دهنده عدم احساس امنیت نویسنده باشد!

دوروش برای استفاده از نتایج، جملات، داده‌ها و روش‌های دیگران وجود دارد. یکی نقل قول مستقیم و دقیق است و دیگری استفاده غیرمستقیم در متن مقاله، که در ادامه به قواعد این دو نوع نقل قول و ارجاع‌دهی اشاره می‌کنیم:

**نقل قول مستقیم:** نقل قول مستقیم باید دقیق و بدون هیچ تغییری در جملات باشد. بهتر است این‌گونه نقل قول‌ها تا حد امکان کوتاه باشد. جملات کوتاه داخل گیوه قرار می‌گیرند و باید به منبع دقیق آن، طبق روش ارجاع‌دهی به منابع، اشاره شود. به عنوان مثال در [۵۶] آمده است که:

## پیوست پ: مراجع، وثائق و حاچیه‌نوجسکی لامسه‌ی منعطف بر اساس ترکیب داده‌های حسگری برای تعامل و کار کردن با اشیاء

«با استفاده از فیلد AUTHORFA می‌توان معادل فارسی نام نویسنده‌گان مقالات لاتین را در متن داشت. معمولاً در اسناد فارسی خواسته می‌شود که پس از ذکر معادل فارسی نام نویسنده، نام لاتین نویسنده‌ها) به عنوان پاورقی درج شود [۵۶].»

**نقل قول غیرمستقیم:** نقل قول غیرمستقیم به معنی استفاده از ایده‌ها، نتایج، روش‌ها و داده‌های دیگران در درون متن پایان‌نامه، ولی به سبک خودتان و متناسب و هماهنگ با روند پایان‌نامه شماست. در این حالت نیز باید متناسب با شیوه ارجاع‌دهی به آن استناد شود.

با توجه به وجود سبک‌های مختلف ارجاع‌دهی، باید روش قابل قبول و یکسانی در طول پایان‌نامه برای اشاره به مراجع در متن و همچنین تهیه فهرست مراجع در انتهای پایان‌نامه بکار رود. مثلاً برای پایان‌نامه‌های مهندسی می‌توان از سبک ارجاع‌دهی IEEE<sup>۱</sup> یا acm استفاده کرد. طبیعتاً باید تناظر یک‌به‌یک بین فهرست مراجع در انتهای گزارش و مراجع مورد استفاده در متن باشد.<sup>۲</sup>

برای سهولت مدیریت مراجع پژوهه/پایان‌نامه/رساله، اکیداً توصیه می‌شود از یک ابزار «مدیریت منابع» (با خروجی BibTeX) همچون Citavi، EndNote، Mendeley، Zotero یا BibTeX استفاده کنید.

### **پ. ۱.۱ مدیریت مراجع با BibTeX**

در بخش آ.۷ اشاره شد که با دستور \bibitem می‌توان یک مرجع را تعریف نمود و با فرمان \cite به آن ارجاع داد. این روش برای تعداد مراجع زیاد و تغییرات آنها مناسب نیست. برای مدیریت منابع زیاد، سه بسته BibTeX (پیش‌فرض)، natbib (ارجاع‌دهی در متن به صورت نویسنده-سال) و BibLaTeX (جدید و منعطف‌پذیر) وجود دارند. در ادامه توضیحاتی در مورد مدیریت منابع با BibTeX و natbib در زی پرشین خواهیم آورد که همراه با توزیع‌های معروف ترک عرضه می‌شوند.<sup>۳</sup>

یکی از روش‌های قدرتمند و انعطاف‌پذیر برای نوشتمن مراجع مقالات و مدیریت مراجع در لاتک، استفاده از BibTeX است. روش کار با بیب‌تک به این صورت است که مجموعه همه مراجعی را که در پژوهه/پایان‌نامه/رساله استفاده کرده یا خواهیم کرد، در پرونده جداگانه‌ای با پسوند bib نوشته و به آن فایل در سند خودمان به صورت

<sup>1</sup><http://www.ieee.org/documents/ieee citationref.pdf>

<sup>2</sup> البته گاهی ممکن است محقق مرجعی را مورد مطالعه قرار داده لیکن در متن به آن اشاره نکرده باشد؛ برخی معتقدند در این موارد نیز آوردن آن در فهرست مراجع، اشکالی ندارد، به این شرط که از عنوان «فهرست منابع» به جای «فهرست مراجع» استفاده شود.

<sup>3</sup> روش BibLaTeX هنوز برای متون فارسی به درستی ترجمه نشده است.

## طراحی و ساخت حسگر لامسه‌ی منعطف بر اساس ترکیب داده‌های حسگری برای تپلولوچیکلپکرها با جلسه‌شیوه‌نامه و حاشیه‌نویسی

مناسب لینک می‌دهیم. کنفرانس‌ها یا مجله‌های گوناگون برای نوشتمن مراجع، قالب‌ها یا قراردادهای متفاوتی دارند که به آنها استیل‌های مراجع گفته می‌شود. در این حالت به کمک استیل‌های بیب‌تک خواهد توانست تنها با تغییر یک پارامتر در پرونده ورودی خود، مراجع را مطابق قالب موردنظر تنظیم کنید. بیشتر مجلات و کنفرانس‌های معتبر یک فایل سبک (BibTeX Style) با پسوند bst در وب‌گاه خود می‌گذارند که برای همین منظور طراحی شده است.

به جز نوشتمن مقالات، این سبک‌ها کمک بسیار خوبی برای تهیه مستندات علمی همچون پایان‌نامه‌هاست که فرد می‌تواند هر قسمت از کارش را که نوشت مراجع مربوطه را به بانک مراجع خود اضافه نماید. با داشتن چنین بانکی از مراجع، وی خواهد توانست به راحتی یک یا چند ارجاع به مراجع یا یک یا چند بخش را حذف یا اضافه نماید؛ مراجع به صورت خودکار مرتب شده و فقط مراجع ارجاع داده شده در قسمت کتاب‌نامه خواهد آمد. قالب مراجع به صورت یکدست مطابق سبک داده شده بوده و نیازی نیست که کاربر درگیر قالب‌دهی به مراجع باشد.

### پ. ۲.۱ سبک‌های مورد تأیید دانشگاه تهران

طبق «دستورالعمل نگارش و تدوین پایان‌نامه» دانشگاه تهران در [۵۴]، ارجاع در متن می‌تواند مطابق با هر یک از دو الگوی هاروارد یا ونکوور باشد:

**سیستم نویسنده-سال (هاروارد):** ذکر نام نویسنده و سال نشر در متن. در این الگو مراجع بر اساس حروف الفبا تنظیم می‌گردند.

**سیستم شماره‌دار (ونکوور):** ارجاع به کمک شماره در متن. در این الگو شماره هر مرجع به ترتیب ظاهر شدن آن در متن در داخل کروشه قرار می‌گیرد. فهرست مراجع نیز بر اساس شماره مرجع (نه حروف الفبا) تنظیم می‌گردد.

در مدیریت منابع با BibTeX، ارجاع‌ها در متن تنها به شکل شماره‌دار (ونکوور) امکان‌پذیر است، گرچه فهرست مراجع می‌تواند با روش‌های مختلف مرتب شود. اگر بخواهیم ارجاع‌ها در متن به صورت نویسنده-سال (هاروارد) باشد باید از بسته natbib<sup>۴</sup> و استیل‌های مختلف آن استفاده کنیم.

هنگام استفاده از روش نویسنده-سال نوع پرانتزگذاری‌ها در وسط و انتهای جمله با هم فرق خواهد داشت.

به مثال زیر مطابق با دستورالعمل [۵۴] توجه کنید:

<sup>4</sup>Natural Sciences Citations & References

## پیوست پ: مراجع، وثائق و حاشیه‌نحوی

ابتدا [۵۷] بسته زی پرشین را برای حروف چینی فارسی اختراع کرد. بعدها سبک‌های ارجاع‌دهی فارسی و قالب‌های پایان‌نامه نیز مبتنی بر آن ساخته شد [۵۶]. ارجاع‌دهی به مراجع لاتین نیز در زی پرشین امکان‌پذیر است. مثلاً [۵۵] یک کتاب انگلیسی است و به راحتی به مقالات انگلیسی نیز می‌توان ارجاع داد [۵۳]. در این مثال، `\citet` در وسط و انتهای جمله به مراجع فارسی و انگلیسی آمده است. وقتی از سیستم نویسنده-سال استفاده می‌کنید، بهتر است ارجاع‌های آخر جمله کلاً داخل پرانتر بیاید؛ بدین منظور باید به جای `\cite` از `\citet` استفاده کنید. اما در سیستم شماره‌دار چون تمام ارجاع‌ها داخل کروشه می‌آیند این امر اهمیت ندارد.

نمی‌توانید در متن فارسی، اسم لاتین محقق خارجی را بیاورید و برای جلوگیری از ایجاد ابهام، صرف نظر از نام لاتین هم مجاز نیست! توصیه می‌شود که نام محقق خارجی در متن با حروف فارسی و در پاورقی اسم تمام نویسنده‌گان به صورت انگلیسی آورده شود. نحوه رعایت این نکته را می‌توانید در کد مثال بالا ببینید.

گرچه در تمپلت ورد [۵۴]، به صراحت ذکر شده که بهتر است برای پایان‌نامه‌های مهندسی از سبک IEEE استفاده شود (که از سیستم ونکوور تبعیت می‌کند)، اما ترتیب فهرست مراجع در IEEE بر اساس ترتیب ارجاع در متن بوده و مراجع انگلیسی و فارسی از هم تفکیک نمی‌شوند که متضاد با دستورالعمل [۵۴] و نیز متضاد عرف اکثر پایان‌نامه‌های فارسی است. بنابراین دقیقاً نمی‌توان سبک خاصی را برای مراجع پایان‌نامه‌های دانشگاه تهران اجبار کرد. مهم این است که سبک ارجاع‌دهی در تمام طول یک کتابچه (مثلاً پایان‌نامه، مقالات یک مجله یا کل یک کتاب) یکسان باشد. بهتر است بسته به حوزه پایان‌نامه، در این مورد با استاد راهنمای خود مشورت کنید.

### پ. ۳.۱ سبک‌های فارسی قابل استفاده در زی پرشین

تعدادی از سبک‌های فارسی بسته Persian-bib<sup>۵</sup> که برای زی پرشین آماده شده‌اند، عبارتند از:

- سبک‌های شماره‌دار:

**unsrt-fa.bst** این سبک متناظر با unsrt.bst می‌باشد. مراجع به ترتیب ارجاع در متن ظاهر می‌شوند.  
**plain-fa.bst** این سبک متناظر با plain.bst می‌باشد. مراجع بر اساس نام‌خانوادگی نویسنده‌گان، به ترتیب صعودی مرتب می‌شوند. همچنین ابتدا مراجع فارسی و سپس مراجع انگلیسی خواهد آمد.

<sup>5</sup> برای اطلاع بیشتر به راهنمای بسته Persian-bib مراجعه فرمایید.

## طراحی و ساخت حسگر لامسه‌ی منعطف بر اساس ترکیب داده‌های حسگری برای تپلولینیتکلپکرها با جلسه‌شیوالژنامه و حاشیه‌نویسی

این سبک متناظر با **acm.bst** می‌باشد. شبیه **plain-fa.bst** است. قالب مراجع کمی متفاوت است. اسامی نویسنده‌گان انگلیسی با حروف بزرگ انگلیسی نمایش داده می‌شوند. (مراجع مرتب می‌شوند)

این سبک متناظر با **ieeetr.bst** می‌باشد. (مراجع مرتب نمی‌شوند)

- سبک‌های نویسنده‌سال:

این سبک متناظر با **plainnat.bst** می‌باشد. نیاز به بسته **natbib** دارد. (مراجع مرتب می‌شوند)

این سبک متناظر با **chicago.bst** می‌باشد. نیاز به بسته **natbib** دارد. (مراجع مرتب می‌شوند)

این سبک متناظر با **asa.bst** می‌باشد. نیاز به بسته **natbib** دارد. (مراجع مرتب می‌شوند)

با استفاده از استیل‌های فوق می‌توانید به انواع مختلفی از مراجع فارسی و لاتین ارجاع دهید. به عنوان مثال‌هایی از مراجع انگلیسی، مرجع [۵۸] مقاله یک ژورنال، مرجع [۵۹] مقاله یک کنفرانس، مرجع [۵۵] یک کتاب، مرجع [۶۰] پایان‌نامه کارشناسی ارشد و مرجع [۶۱] یک رساله دکتری می‌باشد.

همچنین در میان مراجع فارسی، مرجع [۶۲] مقاله یک مجله، مرجع [۶۳] مقاله یک کنفرانس، مرجع [۶۴] یک کتاب ترجمه شده با ذکر مترجمان و ویراستاران، مرجع [۶۵] پایان‌نامه کارشناسی ارشد<sup>۷</sup>، مرجع [۶۶] یک رساله دکتری و مراجع [۵۶، ۵۷] نمونه‌های متفرقه هستند.

### پ. ۴.۱ ساختار فایل مراجع

برای استفاده از بیب‌تک باید مراجع خود را در یک فایل با پسوند **bib** ذخیره نمایید. یک فایل **bib** در واقع یک پایگاه داده از مراجع<sup>۸</sup> شماست که هر مرجع در آن به عنوان یک رکورد از این پایگاه داده با قالبی خاص ذخیره می‌شود. به هر رکورد یک مدخل<sup>۹</sup> گفته می‌شود. یک نمونه مدخل برای معرفی کتاب Digital Image Processing در ادامه آمده است:

```
@BOOK{Gonzalez02image,  
  AUTHOR    = {Gonzalez,, Rafael C. and Woods,, Richard E.},  
  TITLE     = {Digital Image Processing},
```

<sup>۶</sup> چون فیلد authorfa برای این مرجع تعریف نشده در سبک نویسنده‌سال با حروف لاتین به آن در متن ارجاع می‌شود که غلط است.

<sup>۷</sup> همان طور که در بخش پ. ۱ اشاره شد، بهتر است زیاد از پایان‌نامه‌ها در مراجع استفاده نکنید.

<sup>8</sup>Bibliography Database

<sup>9</sup>Entry

## پیوست پ: مراجع، وثائق و حاشیه‌نحوی

```

PUBLISHER = {Prentice-Hall, Inc.},
YEAR      = {2006},
ISBN      = {013168728X},
EDITION   = {3rd},
ADDRESS    = {Upper Saddle River, NJ, USA}
}

```

در مثال فوق، @BOOK مشخصه شروع یک مدخل مربوط به یک کتاب و Gonzalez02book برچسبی است که به این مرجع منتب شده است. این برچسب بایستی یکتا باشد. برای آنکه بتوان برچسب مراجع را به راحتی به خاطر سپرد و حتی الامکان برچسب‌ها متفاوت با هم باشند، معمولاً از قوانین خاصی به این منظور استفاده می‌شود. یک قانون می‌تواند فامیل نویسنده اول + دورقم سال نشر + اولین کلمه عنوان اثر باشد. به ADDRESS، ... و TITLE، AUTHOR استفاده می‌شود. یک فیلد این مدخل گفته می‌شود، که هر یک با مقادیر مربوط به مرجع پر شده‌اند. ترتیب فیلدها مهم نیست.

انواع متنوعی از مدخل‌ها برای اقسام مختلف مراجع همچون کتاب، مقاله کنفرانس و مقاله ژورنال وجود دارد که برخی فیلدهای آنها با هم متفاوت است. نام فیلدها بیانگر نوع اطلاعات آن می‌باشد. مثالهای ذکر شده در فایل MyReferences.bib کمک خوبی برای شما خواهد بود. با استفاده از سبک‌های فارسی آماده شده، محتويات هر فیلد می‌تواند به فارسی نوشته شود؛ ترتیب مراجع و نحوه چینش فیلدهای هر مرجع را سبک مورد استفاده مشخص خواهد کرد.

در فایل MyReferences.bib که همراه با این پروژه /پایان‌نامه /رساله هست، مثال‌های مختلفی از مراجع آمده‌اند که برای درج مراجع خود، تنها کافیست مراجع‌تان را جایگزین موارد مندرج در آن نمایید. برای بسیاری از مقالات لاتین حتی لازم نیست که مدخل مربوط به آنرا خودتان بنویسید. با جستجوی نام مقاله + کلمه bibtex در اینترنت سایت‌های بسیاری همچون ACM و ScienceDirect را خواهید یافت که مدخل bibtex مربوط به مقاله شما را دارند و کافیست آنرا به انتهای فایل MyReferences.bib اضافه کنید.

### پ. ۵.۱ نحوه اجرای BibTEX

پس از قرار دادن مراجع خود، برای ساخت فایل خروجی می‌توانید دستور زیر را (در ترمینال یا از طریق Texmaker) اجرا کنید<sup>۱۰</sup>:

<sup>۱۰</sup> فایل latexmkrc باید در کنار main.tex وجود داشته باشد.

طراحی و ساخت حسگر لامسه‌ی منعطف بر اساس ترکیب داده‌های حسگری برای تپلولینیتکلپکرن با جلسه‌ی اول از نامه و حاشیه‌ی نویسی

`latexmk -bibtex -pdf main.tex`

ابزار latexmk مراحل مختلف ساخت خروجی لاتک را به طور خودکار و بهینه انجام می‌دهد و هر بار فقط مراحلی را که لازم باشد تکرار می‌کند. روش دستی‌تر این است که یک بار XeLaTeX را روی سند خود اجرا نمایید، سپس bibtex و پس از آن هم ۲ بار XeLaTeX را. در TeXMaker کلید F11 و در TeXWorks هم گزینه BibTeX از منوی Typeset، BibTeX را روی سند شما اجرا می‌کنند.

## پ. ۲ واژه‌نامه‌ها و فهرست اختصارات

واژه‌نامه<sup>۱۱</sup> یا فرهنگ لغات، مجموعه‌ای از اصطلاحات و تعاریف خاص و فنی است که معمولاً در انتهای یک کتاب می‌آید. چون پایان‌نامه خود یک متن تخصصی بلند محسوب می‌شود، استفاده از فرهنگ لغات در انتهای آن به شدت توصیه می‌شود، خصوصاً که احتمال استفاده از لغات تخصصی لاتین در آن بالاست. واژه‌نامه‌هایی که در انتهای کتاب‌های انگلیسی می‌آیند معمولاً تک‌زبانه هستند و معنی یک اصطلاح تخصصی در آنها، عمدتاً به صورت یک توصیف<sup>۱۲</sup> طولانی آورده می‌شود. اما چون در متون فارسی، آوردن لغات انگلیسی مجاز نیست و باید معادل فارسی آنها وارد شود، جهت رفع ابهام معمولاً واژه‌نامه فارسی به انگلیسی (و برعکس) در انتهای کتاب درج شده و توصیف‌ها در صورت نیاز در متن آورده می‌شوند.

فهرست اختصارات<sup>۱۳</sup> شامل نمادهای کوتاهی است که اغلب از حروف ابتدایی کلمات یک عبارت طولانی ساخته شده‌اند. با اینکه اختصارات با حروف (بزرگ) لاتین نوشته می‌شوند، اما چون کوتاه‌نده استفاده از آنها در میان متن فارسی مجاز است. با این حال برای رفع ابهام، عرف است که فهرستی از آنها شامل معنی هر نماد، در کنار دیگر فهرست‌ها در ابتدای متن درج شود.

در این قالب پایان‌نامه، برای ساخت و مدیریت واژه‌نامه و فهرست اختصارات از بستهٔ پیشرفته glossaries با موتور واژه‌نامه‌سازی xindy استفاده می‌شود. تنظیمات بهینه این بسته در فایل glossaries-settings.tex عبارتند از:

<sup>11</sup>Glossary

<sup>12</sup>Description

<sup>13</sup>Acronym

## پیوست پ: مراجع، وثائق و حاشیه‌نویسی لامسه‌ی منعطف بر اساس ترکیب داده‌های حسگری برای تعامل و کار کردن با اشیاء

- قبل از درج واژه‌ها در متن، باید مدخل آنها با دستور زیر (ترجمیحاً در فایل جدای words.tex) تعریف شود:

```
\newword{Label}{Word}{واژه‌ها}
```

- قبل از وارد کردن علائم اختصاری در متن، باید مدخل آنها نیز (ترجمیحاً در فایل acronyms.tex) به صورت زیر تعریف شود:

```
\newacronym{Label}{Acr}{معنی اختصار}
```

- جهت درج یک علامت اختصاری یا معادل یک واژه تخصصی، کافی است از دستور `gls{Label}` در متن استفاده کنید. دستور `glspl{Label}` نیز برای آوردن معادل یک لغت در حالت جمع ساخته شده است.

- هنگام اولین استفاده از یک معادل فارسی یا اختصار در متن، معادل انگلیسی یا معنی آن در پاورقی آورده می‌شود. در صورتی که هر یک از این پیش‌فرضها را دوست ندارید با ویرایش فایل glossaries-`settings.tex` می‌توانید آن را تغییر دهید.

- در انتهای پایان‌نامه با دستور `\printglossary` فهرست کلمات استفاده شده به ترتیب الفبای فارسی (واژه‌نامه فارسی به انگلیسی) و الفبای انگلیسی (واژه‌نامه انگلیسی به فارسی) درج می‌شود.

به عنوان مثال، با مشاهده کد این نوشته، نحوه درج معادل فارسی متغیر تصادفی<sup>۱۴</sup> را در متن مشاهده می‌کنید. در نمایش واژه متغیر تصادفی برای بار دوم، معادل لاتین در پاورقی نمی‌آید. در مورد درج علائم اختصاری، مثلاً می‌توان به رابطه  $F^{15}$  اشاره کرد.

## پ. ۳ حاشیه‌نویسی در نسخه پیش‌نویس

اصلاح و بازبینی چندین و چندباره یک پایان‌نامه یا مقاله، از معمول‌ترین امور در نگارش آن می‌باشد. فرض کنید دانشجو پایان‌نامه یا مقاله خود را (کامل یا ناقص) نوشته و می‌خواهد نظر استاد راهنمای، اعضای آزمایشگاه یا

<sup>14</sup>Random Variable

<sup>15</sup>نیرو ( $N$ )

## طراحی و ساخت حسگر لامسه‌ی منعطف بر اساس ترکیب داده‌های حسگری برای تپلیزی‌تکلیپ‌کرنیچلشیوالژنامه و حاشیه‌نویسی

دیگر متخصصین را در مورد آن جویا شود. به جز مشاوره حضوری، تلفنی یا از طریق ایمیل، برای اظهارنظر دقیق بر نوشته، می‌توان از ابزارهای حاشیه‌نویسی در فایل PDF یا tex نیز استفاده کرد.

یک راهکار مناسب برای حاشیه‌نویسی در فایل tex، استفاده از بسته todonotes می‌باشد که آقای خلیقی به تازگی امکان استفاده از آن را برای فارسی زبانان نیز فراهم آورده‌اند. بدین منظور، هر جایی که خواستید نکته یا نکاتی را در حاشیه متن یادداشت کنید، کافی است دستور زیر را وارد نمایید:

```
\todo{NOTE}
```

مثلاً استاد راهنما می‌تواند از دانشجو بخواهد که در بخشی توضیح بیشتری دهد. استاد راهنما یا داور حتی می‌تواند محل پیشنهادی برای درج یک تصویر را نیز به راحتی برای دانشجو مشخص کند. یکی دیگر از امکانات این بسته آن است که می‌توان فهرست نکات را در ابتدای سند داشت. بسته todonotes امکانات بسیاری دارد که در راهنمای آن معرفی شده است و با اجرای دستور زیر در خط فرمان می‌توانید آنها را مشاهده کنید:

```
texdoc todonotes
```

دقیق کنید که توضیحات حاشیه‌ای و فهرست کارهای باقیمانده (نکات)، فقط در نسخه پیش‌نویس<sup>۱۶</sup> قابل دیدن هستند و در نسخه نهایی، نمایش داده نخواهند شد. برای استفاده از حالت پیش‌نویس باید گزینه draft به دستور \documentclass در ابتدای فایل main.tex اضافه شود. هنگامی که سند شما در حالت پیش‌نویس باشد:

۱. هیچ یک از صفحات آغازین پایان‌نامه، تا فهرست مطالب نمایش داده نمی‌شود (به جز صفحه اول).
۲. روی صفحه اول عبارت «پیش‌نویس» به صورت درشت و کم‌رنگ نمایش داده می‌شود.
۳. فهرست نکات درج شده توسط todo، پس از فهرست اصلی و با عنوان «فهرست کارهای باقیمانده» نمایش داده می‌شود.
۴. شماره صفحاتی که به هر مرجع ارجاع داده شده است در بخش مراجع نمایش داده می‌شود.<sup>۱۷</sup>.

هر یک از موارد بالا تا زمانی که نسخه نهایی پروژه/پایان‌نامه/رساله نیاز نباشد بسیار مورد توجه و مفید واقع می‌شوند.

<sup>16</sup>Draft

<sup>۱۷</sup>اعمال گزینه pagebackref برای بسته .hyperref

طراحی و ساخت حسگر لامسه‌ی منعطف بر اساس ترکیب داده‌های حسگری برای تپلولینوتکلپکرن با جلسه شیوه‌نامه و حاشیه‌نویسی

پیوست پ: مراجع، وثائق و حاشیه‌نويسيک لامسه‌ی منعطف بر اساس ترکيب داده‌های حسگری برای تعامل و کار کردن با اشیاء

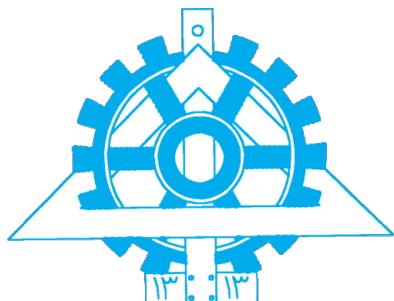


## **Abstract**

This thesis studies on writing projects, theses and dissertations using tehran-thesis class. It ...

**Keywords** Writing Thesis, Template, L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X, X<sub>\P</sub>Persian





University of Tehran  
College of Engineering  
**Faculty of Engineering Science**  
**Control**



# **Design and Fabrication of a Soft Tactile Sensor based on sensory data fusion with application in Object Manipulation**

A Thesis submitted to the Graduate Studies Office  
In partial fulfillment of the requirements for  
The degree of Master of Science  
in Electrical Engineering - Control

By:  
**Mohammad Reza SheykhAzimi PoorSardroud**

Supervisors:  
**Dr. Mehdi Tale Masouleh and Dr. Ahmad Kalhor**  
Advisor:  
**Dr. Mohammad Reza Nayeri**

Septemmbre 2025