٢٠٢٠م

به نام خدا

دانشکده مکانیک

طراحی سکونیرو(Forceplate)

۱۳۸۱ /۱۰/ ۲۵

واهه گلستانیان نماگردی

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
پژوهشگاه ارگ

پایان نامه کارشناسی ارشد

در رشته

مهندسی پزشکی-بیومکانیک

استاد راهنما:دکتر رجایی

٤٣٠٢٠

اسفند ۱۳۸۰

چکیده

تجزیه و تحلیل گیت (gait analysis) عبارت از تحقیق روی راه رفتن از نظر حرکت اندامها می باشد ، در این بررسی می توان مواردی نظیر کنترل موقعیت ، سینتیک و سینماتیک بدن ، کنترل بدن و کنترل عصبی را در نظر داشت. این گونه تحقیقات در ارتوپدی ، بیومکانیک ورزش و عصب شناسی کاربرد دارند. پارامترهای مهم در این گونه تحقیقات عبارت از نیرو ، ممان ، سرعت ،مصرف انرژی و فشار کف پا می باشند . سه روش برای اندازه گیری میزان فشار در کف پا وجود دارد روش اول استفاده از یک سکوی نیرو (forceplate) است. روش دوم استفاده از قطعه ای که دارای سنسورهای حس کننده فشار می باشد این قطعه در داخل کف کفش قرار می گیرد و میزان فشار در کف پا در هنگام راه رفتن توسط این سنسورها دریافت می گردند (مانند Pedar). این دو روش دو روش پیشرفته ای می باشند که برای اندازه گیری نیرو و فشار مورد استفاده قرار می گیرند. در این دو زمینه وسایل تجاری نیز وجود دارد. روش سوم استفاده از یک pedobarograph می باشد که بر اساس تصویر کردن اثر فشار کف پا کار می کند. در این پروژه در بخش اول هر سه روش بالا مورد بحث قرار گرفته و بالاخره در پایان سه نوع سکونیرو طراحی گردیده است. سکو نیرو نوع اول دارای ساختاری مشابه با سکوهای نیرو موجود در بازار می باشد. سکو نیرو نوع دوم دارای ساختار پیشرفته پیشنهادی Heglund می باشد و می تواند نیرو را در سه جهت محاسبه نماید سکو نیرو نوع سوم دارای ساختار مقدماتی پیشنهادی Heglund می باشد و می تواند نیرو را در دو جهت محاسبه نماید در این پروژه اثر تغییر ابعاد سکو نیرو نوع سوم مورد بررسی قرار گرفته است و همچنین روشی برای کم کردن تداخل (cross talk) به صورت نرم افزاری پیشنهاد گردیده است

بر خود لازم می دانم از استاد محترم راهنما و پروژه که علیرغم مشغله کاری وقت خـود را در اختیار اینجانب قرار داده اند و مرا از راهنمائی های خود بهره مند کرده انـــد تشـــکر و قدر دانی کنم.

چکیده

تجزیه و تحلیل گیت (gait analysis) عبارت از تحقیق روی راه رفتن از نظر حرکت اندامها می باشد ، در این بررسی می توان مواردی نظیر کنترل موقعیت ، سینتیک و سینماتیک بدن ، کنترل بدن و کنترل عصبی را در نظر داشت. این گونه تحقیقات در ارتوپدی ، بیومکانیک ورزش و عصب شناسی کاربرد دارند. پارامترهای مهم در این گونه تحقیقات عبارت از نیرو ، ممان ، سرعت ،مصرف انرژی و فشار کف پا می باشند . سه روش برای اندازه گیری میزان فشار در کف پا وجود دارد روش اول استفاده از یک سکوی نیرو (forceplate) است. روش دوم استفاده از قطعه ای که دارای سنسورهای حس کننده فشار می باشد این قطعه در داخل کف کفش قرار می گیرد و میزان فشار در کف پا در هنگام راه رفتن توسط این سنسورها دریافت می گردند (مانند Pedar). این دو روش دو روش پیشرفته ای می باشند که برای اندازه گیری نیرو و فشار مورد استفاده قرار می گیرند. در این دو زمینه وسایل تجاری نیز وجود دارد. روش سوم استفاده از یک pedobarograph می باشد که بر اساس تصویر کردن اثر فشار کف پا کار می کند. در این پروژه در بخش اول هر سه روش بالا مورد بحث قرار گرفته و بالاخره در پایان سه نوع سکونیرو طراحی گردیده است. سکو نیرو نوع اول دارای ساختاری مشابه با سکوهای نیرو موجود در بازار می باشد. سکو نیرو نوع دوم دارای ساختار پیشرفته پیشنهادی Heglund می باشد و می تواند نیرو را در سه جهت محاسبه نماید سکو نیرو نوع سوم دارای ساختار مقدماتی پیشنهادی Heglund می باشد و می تواند نیرو را در دو جهت محاسبه نماید در این پروژه اثر تغییر ابعاد سکو نیرو نوع سوم مورد بررسی قرار گرفته است و همچنین روشی برای کم کردن تداخل (cross talk) به صورت نرم افزاری پیشنهاد گردیده است

فهرست عناوین

فهرست	صفحه
مقدمه	
۱-مفاهیم اولیه	۲
۱-۱-مبدلهای نیرو(Force Transducer)	۲
۱-۲-سکو نیرو (Force Plate)	۳
۱-۳-استفاده از سکو نیرو در مسیرهای طولانی	۷
۱-٤-بررسی سکوهای نیرو موجود	۱۰
۱-٤-۱-تولیدات شرکت AMTI	۱۰
۱-٤-۱-۱-سری OR6	۱۱
۱-٤-۱-۲-سری BP2416	۱۲
۱-٤-۱-۳-سری BP3216	۱۳
۱-٤-۱-٤-سری BP2436	۱۳
۱-٤-۱-٥-سری BP3636	۱۳
۱-٤-۱-٦-سری BP4848	۱۳
۱-٤-۱-۷-سری BP5918	۱۳
۱-٤-۱-۸-سری BP7116	۱٤
۱-٤-۱-۹-سری BP7124	۱٤
۱-٤-۱-۱۰-سری LG6-4	۱٤
۱-٤-۱-۱۱-سری صفحه شیشه ای (GLASS TOP FORCE PLATES)	۱٤
۱-٤-۲-شرکت BERTEC	۱٥
۱-٤-۲-۱-تولیدات شرکت BERTEC	۱٦
۱-٤-۲-۲-سری 4550	۱٦
۱-٤-۲-۳-سری 4060	۱٦
۱-٤-۲-٤-سری 4080	۱٦
۱-٤-۲-٥-سری 6090	۱۷
۱-٤-۲-٦-سری 9090	۱۷
۱-٤-۲-۷-سری 6012	۱۸
۱-٤-۲-۸-صفحه تعادل(BALANCE PLATE)	۱۸
۱-٤-۳-شرکت KISTLER	۱۸
۱-٤-۳-۱-سری 9281C	۱۹

۱-٤-۳-۲-سری 2286A ۱۹
۱-٥-مبدلهای کفشی ۱۹
۱-٥-۱-شرکت NOVEL ۲۰
۱-٥-۲-PEDAR ۲۰
۱-٥-۳-سیستم PEDAR MOBILE ۲۲
۱-٥-٤-استفاده از مبدلهای کفشی برای بررسی حرکت اسبها ۲۳
۱-٥-٥-نحوه کارکرد مبدلهای کفشی ۲٤
۱-٦-PEDBAROGRAPH نوری ۲٤

فصل دوم

۲-۱-مقاله اول HEGLUND ۳۰
۲-۲-مقاله دوم HEGLUND ۳٦

فصل سوم

۳-۱-طراحی سکو نیرو توسط نرم افزار ANSYS ٤۷
۳-۲-طراحی سکو نیرو نوع اول ٤۷
۳-۳-۱-طراحی سنسور نیرو نمونه ٤۹
۳-۳-۲-از بین بردن تداخل به صورت نرم افزاری برای سنسور نیرو ٥٤
۳-۳-۳-برنامه کامپیوتری سنسور نیرو ٥٦
۳-٤-طراحی سکو نیرو نوع دوم ٥۷
۳-٤-۱-حل مشگل اول سکو نیرو نوع دوم ٥۸
۳-٤-۲-حل مشگل دوم سکو نیرو نوع دوم ٥۹
۳-٤-۳-تحلیل سکو نیرو نوع دوم از نظر تنش ٦٤
۳-٤-٤-مدار الکتریکی سکو نیرو نوع دوم ٦٥
۳-٤-٥-برنامه کامپیوتری سکو نیرو نوع دوم ٦۸
۳-٤-٦-بررسی مسله کمانش ۷۰
۳-٥-طراحی وتلورانس گذاری سکو نیرو نوع سوم ۷٤
۳-٥-۱-حل مشگل اول سکو نیرو نوع سوم ۷٤
۳-٥-۲-حل مشگل دوم سکو نیرو نوع سوم ۷٤
۳-٥-۳-تحلیل سکو نیرو نوع دوم از نظر سوم ۷۸
۳-٥-٤-مدار الکتریکی سکو نیرو نوع سوم ۷۹
۳-٥-٥-برنامه کامپیوتری سکو نیرو نوع سوم ۷۹
۳-٥-٦-بررسی اثر خطا در ابعاد ۸۱
۳-٦-نتیجه گیری و پیشنهادات برای ادامه کار ۹٦

پیوست ۱
پیوست ۲
پیوست ۳
نقشه ها
منابع

فهرست تصاویر و نمودارها

عنوان	صفحه
۱-۱-سکو نیرو نوع اول	٤
۱-۲- سکو نیرو نوع دوم	٥
۱-۳-نمونه ای از اطلاعات دریافت شده از سکو نیرو نوع دوم	٦
۱-٤-دستگاه مختصات محلی سکو نیرو I-ام	۹
۱-٥-نمونه Pedar	۲۱
۱-٦-یک نمونه سکو نیرو کفشی مربوط به اسبها	۲۳
۱-۷-یک نمونه سنسور پیزو الکتریک	۲٤
۱-۸-فلو چارت برنامه	۲۹
۲-۱-طرح پیشنهادی Heglund	۳۲
۲-۲-شماتیک سکو نیرو	۳۹
۲-۳-نحوه بستن کرنش سنجها در سکو نیرو	٤۲
۲-٤-منحنی کالیبراسیون	٤٥
۳-۱-سکو نیرو نمونه	٤۸
۳-۲-مدار الکتریکی مربوط به جهت X	٤۹
۳-۳-مدار الکتریکی مربوط به جهت Y	٥۰
۳-٤-مدار الکتریکی مربوط به کرنش سنجهای ۷و۸و۹و۱۰	٥۰
۳-٥-مدار الکتریکی مربوط به کرنش سنجهای ۱۱و۱۲و۱۳و۱٤	٥۱
۳-٦-مدار الکتریکی مربوط به کرنش سنجهای ۱٥و۱٦و۱۷و۱۸	٥۱
۳-۷-مدار الکتریکی مربوط به کرنش سنجهای ۱۹و۲۰و۲۱و۲۲	٥۲
۳-۸-فعال کردن تاثیرPrestress	۷۰
۳-۹-تعیین روش Eigen Value Buckling	۷۲
۳-۱۰-تمظیم expandکردن مودها	۷۳
۳-۱۱-قرار دادن MDOF بر روی مدل	۷۳
۳-۱۲-شماره گره های صفحه سکو نیرو	۷۸
۳-۱۳-تاثیر خطاها به صورت کوپل شده در مدل C9	۹۰
۳-۱٤-تاثیر خطاها به صورت کوپل شده در مدل C10	۹۱
۳-۱٥-تاثیر خطاها به صورت کوپل شده در مدل C11	۹۱
۳-۱٦-تاثیر خطاها به صورت کوپل شده در مدل C12	۹۲
۳-۱۷-تاثیر خطاها به صورت کوپل شده در مدل C13	۹۲
۳-۱۸-تاثیر خطاها به صورت کوپل شده در مدل C14	۹۲

از اطلاعات مرکز علمی ایران

۳-۱۹-تاثیر خطاها به صورت کوپل شده در مدل C15 ۹۳
۳-۲۰-نمونه هایی از سکو های نیرو با ساختار پیشرفته Heglund ۹٤
۳-۲۰-نمونه هایی از سکو های نیرو با ساختار قدیمی Heglund ۹٥

فصل اول

۱- مفاهیم اولیه

۱-۱- مبدل نیرو (Force Transducer) [1]

برای آنکه نیروی اعمال شده توسط بدن به یک جسم خارجی را بتوانیم اندازه‌گیری کنیم احتیاج به وسایل مناسبی جهت اندازه‌گیری نیرو داریم به اینگونه وسایل مبدل نیرو مبدل نیرو گفته می‌شود که به ازاء یک مقدار نیروی مشخص یک سیگنال الکترونیکی ایجاد می‌کنند. مبدلهای نیرو انواع گوناگون دارند.

۱- کرنش‌سنجها

۲- پیزوالکتریکها (Piezoelectric)

۳- پیزورزیستیوها (Piezoresistive) و کپسیتیوها (Capacitive) و غیره

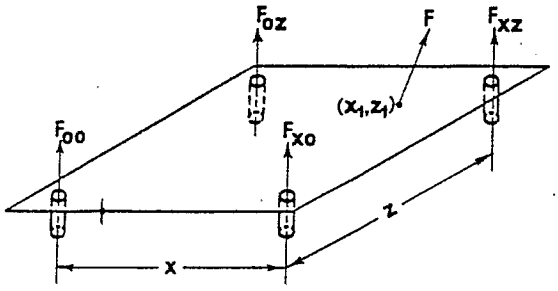
تمام این وسایل بر این اساس کار می‌کنند که نیروی وارد شونده باعث یک کرنش مشخص در داخل مبدل می‌گردد و این کرنش باعث تغییرات خواص الکترونیکی می‌گردد که این تغییر خواص باعث ایجاد یک سیگنال الکتریکی می‌گردد کرنش‌سنج از یک صفحه فلزی با یک تیر (Beam) کالیبره شده همراه با یک مبدل تشکیل شده است که این مجموعه هنگامی که تحت تاثیر یک تغییر مکان جزئی (کرنش) در یک جهت مشخص قرار می‌گیرد (تغییر شکل حدود ٪۱) باعث ایجاد یک تغییر مقدار مقاومت الکتریکی در پل وتستونی که کرنش‌سنج به آن متصل است می‌گردد و این تغییر مقاومت باعث تغییر در ولتاژ بر اثر نیرو می‌گردد. پیزوالکتریکها بر این اساس کار می‌کنند که یک تغییر جزئی در ساختار اتمی یک بلوک کریستالی باعث تغییر در خواص الکتریکی آن می‌گردد و این باعث تغییر بار الکتریکی در صفحات کریستالی می‌شود و این تغییر مقدار بار الکتریکی را توسط یک مدار الکتریکی مناسب می‌توان به یک سیگنال الکتریکی تبدیل کرد به طوری که ما به ازاء هر نیرو یک سیگنال الکتریکی داشته باشیم. کوارتز برای مثال یک ماده طبیعی پیزوالکتریکال است. پیزورزیستیوها مانند کرنش‌سنجها هستند و یک تغییر در مقدار مقاومت را نشان می‌دهند که این تغییر در مقاومت تعادل در پل و ستون را بهم می‌زنند (اطلاعات بیشتر در مورد کرنش‌سنجها در پیوست یک آورده شده است).

برای اینکه نیرو را در دو یا چند جهت اندازه‌گیری کنیم لازم است که از مبدلهای دو یا سه جهتی نیرو استفاده کنیم این وسیله چیزی نیست به جز وسیله‌ای که در آن مبدلهائی وجود دارند که این مبدلها نسبت به هم زاویه‌ای مناسب دارند.

۱-۲- سکو نیرو (Force Plate) [1]

یکی از مهمترین نیروهائی که بر بدن وارد می‌شود نیروی عکس‌العمل زمین می‌باشد که بر پاها در هنگام ایستادن، راه رفتن و دویدن وارد می‌شود. این نیروی وارد شونده یک نیروی سه بعدی است و تشکیل شده از یک مولفه قائم و دو مولفه برشی. این نیروهای برشی معمولاً در جهت حرکت و در جهت عرض در نظر گرفته می‌شوند.

متغیر چهارمی که احتیاج داریم آن را بدست آوریم محل وارد شدن نیروی عکس‌العمل زمین به پا می‌باشد. محل تماس پا با زمین یک سطحی است که این سطح در طول زمان تغییر می‌کند و بر این سطح در طول زمان فشارهای گوناگونی وارد می‌شود. حتی اگر ما مقدار فشار در هر قسمت کف پا را نیز بدانیم باز برای پیدا کردن اثر نهایی این فشار احتیاج داریم که محاسبات پیچیده‌ای را انجام بدهیم. کوششهائی انجام شده تا کفشهائی برای اندازه‌گیری فشار وارد شونده بر کف پا ساخته شوند ولی این کفشها بسیار گران هستند و تنها در مورد نیروی در جهت قائم بحث می‌کنند بنابراین لازم است تا از سکو نیرو استفاده کنیم تا تمام نیروهای مورد نیاز برای آنالیز کردن حرکت را برای ما بیان کند. دو نوع رایج سکو نیرو وجود دارد که در زیر در مورد آنها بحث خواهیم کرد. نوع اول صفحه صافی است که توسط چهار مبدل نیروی سه محوری نگه داشته می‌شود که در شکل ۱-۱ نشان داده شده است. مختصات هر کدام از مبدلها را به صورت زیر در نظر می‌گیریم (Z,X) و (O,X) و (O,Z) و (O ,O) محل مرکز فشار بر اساس نیروی قائمی که هر کدام از مبدلها نشان می‌دهند محاسبه می‌گردد. اگر نیروی قائم را به صورت f_{oo} و f_{xo} و f_{oz} و f_{xz} نشان دهیم برایند نیروی قائم و یا مولفه قائم عکس العمل زمین برابر



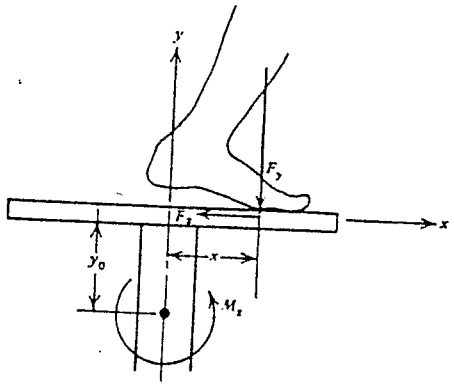
شکل ۱-۱- سکو نیرو نوع اول [1]

خواهد بود با $F_Y = f_{xz} + f_{oz} + f_{xo} + f_{oo}$ اگر هر چهار نیرو مساوی باشند مرکز فشار دقیقاً در وسط صفحه به مختصات $(x/2 , \frac{z}{2})$ قرار خواهد داشت به طور کلی می‌توان گفت.

$$x = \frac{X}{2}\left[1 + \frac{(F_{x0} + F_{xz}) - (F_{00} + F_{0z})}{F_y}\right]$$
$$z = \frac{Z}{2}\left[1 + \frac{(F_{0z} + F_{xz}) - (F_{00} + F_{x0})}{F_Y}\right]$$

نوع دوم سکو نیرو دارای یک پایه است که به وسط صفحه متصل می‌باشد. نیروهای اندازه‌گیری شونده توسط این سکو نیرو در شکل ۱-۲ نشان داده شده است. نیروی قائم وارد شونده از طرف پا به زمین به سمت پائین خواهد بود و نیروی برشی F_x یا به سمت جلو و یا به سمت عقب خواهد بود اگر معادله تعادل گشتاورها را حول محور پایه بنویسیم خواهیم داشت.

$$M_Z - F_Y \cdot x + F_X \cdot y_0 = 0$$
$$x = \frac{F_X \cdot y_0 + M_Z}{F_Y}$$



شکل ۱-۲- سکو نیرو نوع دوم [1]

که X و M_Z در شکل ۱-۲ نشان داده شده‌اند. در حالیکه F_x و F_z و M_z به طور مداوم در طول زمان تغییر پیدا می‌کنند. x را می‌توان بر اساس فرمول بالا محاسبه نمود و محل مرکز فشار را در طول زمان بدست آورد البته این موضوع را باید در نظر داشته باشیم که برای هر دو نوع سکو نیرو هنگامی که مقدار مولفه قائم عکس العمل زمین بسیار کوچک باشد (کمتر از 2% وزن بدن) آنگاه یک خطای کوچک در محاسبه F_Y باعث می‌شود تا ما در محاسبه y و x مطابق فرمولهای گفته شده در بالا دچار خطای زیادی گردیم. نمونه‌ای از اطلاعات دریافت شده از سکو نیرو نوع دوم در شکل ۱-۳ نشان داده شده است. این اطلاعات نسبت به زمان برای انسانی که با سرعت معمولی روی سکو نیرو حرکت می‌کند. نشان داده شده است مولفه قائم نیروی عکس العمل F_Y مشخصه مهمی است. همانطور که در شکل ۱-۳ نشان داده شده است. اطلاعات مربوط به سکو نیرو نوع دوم، هنگامی نشان داده می‌شود که پاشنه پا با زمین تماس پیدا می‌کند مقدار این مولفه به طور سریع تا یک مقداری بیشتر از وزن بدن افزایش پیدا می‌کند (زیرا جرم بدن در