

محاسبه زاویه پیچش در پله پیچ ساخته شده از گونه راش با روش مثلثاتی

فرخ رادفر^۱حمید زارع حسین آبادی^{۲*}محمد لایقی^۳پیام مرادپور^۴

چکیده

در این مقاله زاویه پیچش دسته نرده پله پیچ چوبی از چوب راش (*orientalis fagus*) در مقیاس یک ششم بر اساس استاندارد SMA-R311 به روش تجربی و به کمک روابط مثلثاتی محاسبه شده و تأثیر شعاع دایره بر زاویه شیب پله و تأثیر پهنای دسته نرده و زاویه شیب پله بر زاویه پیچش دسته نرده مورد بررسی قرار گرفت. شعاع بیرونی دایره (۱۶/۵ و ۴۲/۵ سانتی متر)، پهنای دسته نرده (۴/۵ و ۸ سانتی متر)، زاویه شیب پله (۱۵ و ۳۳ درجه) به عنوان فاکتورهای متغیر در نظر گرفته شدند. نتایج نشان دادند با کاهش قطر دایره زاویه شیب پله افزایش می یابد. افزایش زاویه شیب پله منجر به افزایش زاویه پیچش دسته نرده شده، ولی ازدیاد پهنای دسته نرده تأثیری بر زاویه پیچش دسته نرده نداشت. همچنین نتایج نشان دادند تغییرات زاویه شیب نسبت تغییرات شعاع دایره و تغییرات زاویه پیچش دسته نرده نسبت به زاویه شیب پله غیر خطی است.

واژگان کلیدی: روابط مثلثاتی، زاویه پیچش دسته نرده، زاویه شیب پله، پله پیچ چوبی.

^۱ کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

^۲ استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

^۳ استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

^۴ استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

مسئول مکاتبات:

hzareah@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۳/۱۷

مقدمه

تا اواسط ۱۹۴۰ میلادی تقریباً همه راه پله ها، حتی راه پله های بزرگ داخلی و خارجی در ساختمان از چوب ساخته می شد که تخریب آن ها در جنگ جهانی، ساخت این سازه از چوب را کم رنگ نمود. کاهش ساخت پله های چوبی منجر به کاهش کیفیت این صنعت شده است و صنعتگران کمتری برای این بخش باارزش آموزش دیدند. امروزه ساخت سازه ها توسط مصالح طبیعی از نظر اثرات

زیست محیطی و زیبایی دوباره مورد توجه قرار گرفته و باعث باارزش شدن این صنعت شده است. مصالح طبیعی که توسط صنعتگران ماهر مورد استفاده قرار می گرفتند، بار دیگر رایج شده اند. صنعت چوب دوباره مورد توجه قرار گرفته و از نظر اقتصادی جایگاه خاصی پیدا کرده است. با توجه به پتانسیل های فیزیکی و مکانیکی بالای چوب، بار دیگر توسط معماران داخلی مورد توجه قرار گرفته است [۱].

در ابعاد واقعی بود. مدل سازی با استفاده از عناصر محدود صورت گرفت و تحلیل بر مبنای الاستیک خطی انجام شد. نتایج نشان داد تمامی اتصالات بر روی مقاومت سازه تأثیرگذار نیست و مهم ترین فاکتور دقت ساخت قطعات است [۴]. Afifi و همکاران (۲۰۱۴) طراحی راهپله در ساختمان برای استفاده سالمندان را مورد بررسی قرار دادند. آن ها یک مدل ریاضی برای ساخت راهپله مانند زاویه شیب و نرده مناسب برای کاهش خطر سقوط سالمندان ارائه نمودند. مدل ریاضی ارائه شده قادر به یک درجه بندی و ارزیابی راهپله از نظر ایمنی بود [۵].

با توجه به این که چوب راش یکی از مهم ترین گونه های تجاری در شمال ایران است، و امروزه به دلیل ماشین کاری خوب و نقوش زیبا بسیار مورد استقبال صنعتگران قرار گرفته، در این تحقیق استفاده شده است [۶].

امروزه ساخت پله پیچ با استفاده از چوب به دلیل شکل پذیری بالا و برطرف نمودن نیاز انسان از نظر زیبایی شناختی بسیار مورد استقبال قرار گرفته است. علاوه بر این چوب در سبک سازی سازه نسبت به دیگر مصالح ساختمانی نقش بسزایی دارد. زمان و نیاز به تجربه بالا برای ساخت راهپله های چوبی منجر به هزینه بالا و محدود شدن ساخت آن ها شده است. بنابراین جهت ساخت این نوع سازه باید به دنبال راهی بود که نیاز به الگوبرداری های با دقت بالا که فرآیندی زمان بر است، نباشد. با محاسبه زاویه پیچش دسته نرده در ساخت پله پیچ چوبی باعث حذف مراحل زمان بر الگوبرداری و افزایش دقت ساخت این سازه می شود.

مواد و روش ها

ساخت دسته نرده پله پیچ به روش های مختلفی صورت می گیرد. در این تحقیق روش استفاده از چوب ماسیو که علاوه بر هزینه و زمان کمتر نسبت به روش های LVL و قطعات چوبی چسبیده شده به یکدیگر، از کارایی و زیبایی بیشتری برخوردار است، مورد بررسی قرار گرفته است.

پله های چوبی از نظر شکل ظاهری به دودسته پله های مستقیم و مدور تقسیم بندی می شوند. پله های مدور شامل پله های پیچ (مارپیچ) و پله های بیضی می باشند. پله های پیچ قسمتی از دایره و پله های بیضی تشکیل شده از مقطعی از بیضی می باشند [۱]. پله های پیچ چوبی به دلیل اشغال فضای کم و زیبایی زیاد بسیار مورد استقبال قرار گرفته اند [۲]. دسته نرده در پله های پیچ چوبی به سه روش ساخته می شوند که شامل: چوب ماسیو، LVL و قطعات چسبیده شده به یکدیگر می باشند. ساخت دسته نرده LVL بسیار هزینه بر بوده و مستلزم صرف زمان زیاد است. دسته نرده های ساخته شده با قطعات چوبی چسبیده شده به یکدیگر برای راهپله های بزرگ پیشنهاد نمی شود، چراکه از مقاومت بسیار پایینی برخوردار است. استفاده از چوب ماسیو از نظر زیبایی نسبت به موارد ذکر شده برتری و درعین حال از هزینه کمتری برخوردار است. علی رغم محاسن ذکر شده ساخت دسته نرده پله پیچ از چوب ماسیو، به دلیل نیاز به وقت و تجربه بالا مورد استقبال صنعتگران قرار نگرفته است [۱].

پله پیچ در برخی از ساختمان های بسیار قدیمی مانند برج آکیوس پطروس^۲ در جزیره یونانی آندروس^۳ (۲۰۰ تا ۴۰۰ سال قبل از میلاد) تا ارتفاع ۲۰ متر، در ساختمان بروش موسی^۴ در شتلند^۵ (۱۰۰ سال قبل از میلاد) تا ارتفاع ۱۰ متر و در ساختمان های واقع در رم تا ارتفاع ۳۰ متر مشاهده می شوند که بیانگر اهمیت این سازه از دیدگاه معماری است [۲].

Pousette (۲۰۰۳) یک راهپله پیچ چوبی را در مقیاس واقعی مورد تست عناصر محدود قرار داد. آنالیز عناصر محدود با اندازه گیری های متعدد در حین جابجایی بار و محاسبات عناصر محدود بر اساس خطی بودن رفتار الاستیک و مدل سازی اتصالات در نظر گرفته شد. نتایج نشان دادند که برای این نوع ساختار، مطالعات رفتار غیرخطی مورد نیاز است [۳]. Pousette (۲۰۰۶) مدل رفتار اتصالات در پله های چوبی را مورد بررسی قرار داد. مبنای آزمایش اندازه گیری تغییر شکل پله های ساخته شده

^۱ Laminated Veneer Lumber

^۲ Agios Petros

^۳ Andros

^۴ Broch of Mousa

^۵ Shetland

مواد

ونیل استات (PVAc) مورد استفاده نیز از شرکت رزین
سامد مشهد با مشخصاتی که در جدول شماره ۱ آمده
است خریداری شد.

الوار خشک راش (*Fagus orientalis*) با رطوبت ۱۰٪
از یک چوبفروشی در اصفهان خریداری شد. چسب پلی

جدول ۱- مشخصات چسب پلی ونیل استات مورد استفاده در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد

ویژگی رزین	مقادیر
ویسکوزیته (سانتی پواز)	۲۶۰۰۰-۲۰۰۰۰
مواد جامد (%)	۳۲-۳۳
زمان گیرایی (دقیقه)	۲۰-۳۰
چگالی (gr/cm ³)	۱/۰۴۵ ± ۰/۰۰۱

مراحل ساخت پله پیچ چوبی

یکی از اصلی ترین و مهم ترین قطعات مؤثر در ساخت پله پیچ، قطعه استوانه‌ای شکل وسط پله است که پله‌ها به آن متصل می‌شوند. قطعه سیلندری به ارتفاع ۷۵ و قطر ۱۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. برای رسیدن به قطر مورد نظر، تخته‌های خریداری شده توسط دستگاه کفرند صاف و به وسیله دستگاه گندگی به ضخامت یکنواخت رسیدند. پس از صاف نمودن سطوح، تخته‌ها با چسب و به وسیله گیره نجاری به یکدیگر متصل شدند. پس از ۲۴ ساعت که گیرایی چسب کامل شد، گیره‌ها باز و مقاطع به وسیله اهر گرد بریده و صاف شدند. سیلندی نمودن قطعات به هم چسبیده شده توسط دستگاه تراش تبریز صورت گرفت. برای اتصال بین سیلندر چوبی و حجم پله از اتصال کام و زبانه استفاده شد. اتصال کام توسط دستگاه CNC تراش هلر^۱ صورت گرفت. تعداد اتصال (معادل با تعداد پله) ۲۰ عدد، ضخامت کام یک سانتی‌متر و ارتفاع هریک دو سانتی‌متر بود؛ بنابراین ۲۰ عدد اتصال کام به دور استوانه چوبی زده شد. با توجه به این که محیط استوانه ۴۷/۱۲ سانتی‌متر و مجموع ضخامت ۲۰ کام، ۲۰ سانتی‌متر بود، فاصله بین هر کام ۱/۳۵ سانتی‌متر به دست آمد. برای اتصال حجم پله به استوانه چوبی، ابتدا زبانه به همراه چسب به سیلندر چوبی متصل، پس از آن حجم پله‌ها نیز به توسط چسب و مطابق شکل به سیلندر چوبی متصل شدند. پس از اتصال حجم پله‌ها به سیلندر چوبی، کف پله‌ها با استفاده از چسب پلی ونیل استات و میخ

بافاصله‌ی چهار سانتی‌متر از استوانه چوبی بر روی حجم پله‌ها نصب گردیدند (شکل ۱).

$$15 \times \pi = 47/12 \text{ cm}$$

$$20 \times 1 = 20 \text{ cm}$$

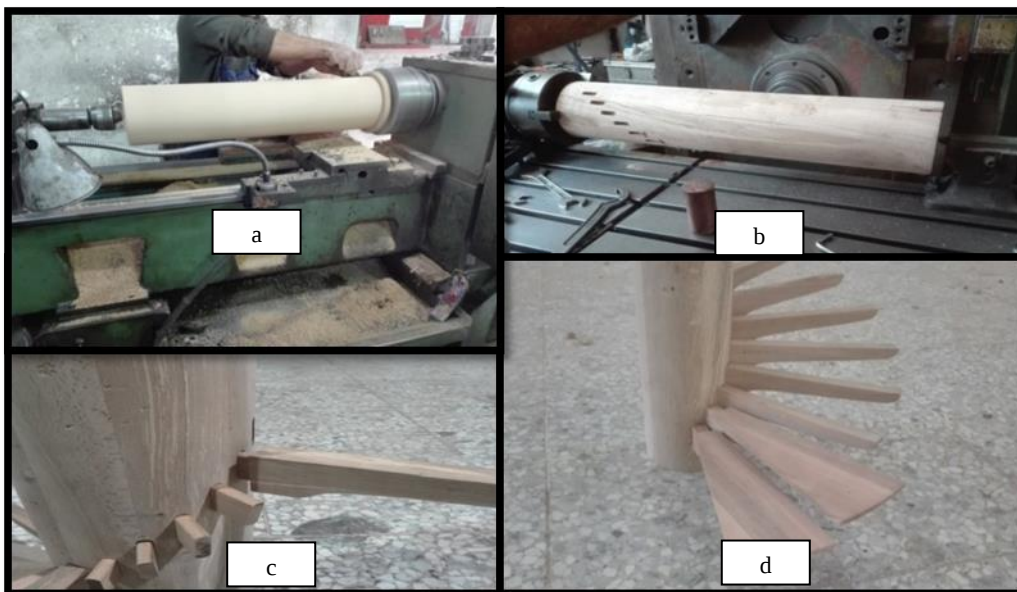
$$47/12 - 20 = 27/12 \text{ cm}$$

$$27/12 \div 20 = 1/35 \text{ cm}$$

الگو برداری هلال دسته نرده

پله پیچ ساخته شده در دونقطه، یعنی خارج دایره و نزدیک استوانه چوبی دارای دسته نرده بود و الگو برداری برای هر یک از دسته نرده‌ها به صورت جداگانه صورت گرفت. برای الگو برداری دسته نرده در قسمت‌های خارجی و داخلی سه کف پله مدنظر قرار گرفته شد. ابتدا یک تخته فیبر نازک با ضخامت سه میلی‌متر بر روی سه پله قرار داده و از زیر سه نقطه از شروع پله‌ها بر روی آن علامت گذاری شد. سپس به وسیله یک قطعه انعطاف پذیر سه نقطه به یکدیگر متصل و به پهنای دسته نرده یک خط به سمت داخل و به موازات منحنی، کشیده شد. در مرحله بعد، الگوی منتقل شده بر روی تخته فیبر با ضخامت ۱۶ میلی‌متر توسط اهر نواری برش داده شد. الگوی به دست آمده بر روی سه کف پله قرار گرفت و مقدار تغییر ارتفاع به وسیله متر اندازه گیری شد (شکل ۲).

¹ Heller



شکل ۱- مراحل ساخت پله پیچ چوبی؛ (a) سیلندری نمودن قطعات به هم چسبیده شده توسط دستگاه تراش؛ (b) اتصال زنی روی استوانه چوبی به وسیله دستگاه CNC تراش؛ (c) نحوه اتصال حجم پله به استوانه چوبی؛ (d) نحوه اتصال کف پله به حجم پله

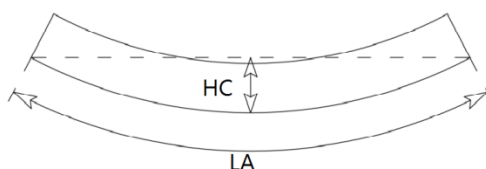


شکل ۲- نحوه الگوبرداری دسته نرده

نتایج و بحث

متر برای هر یک از دسته نرده های داخلی و خارجی مطابق با شکل ۳ اندازه گیری و یادداشت شدند (جدول ۲).

نتایج حاصل از الگوبرداری سه عدد کف پله شامل طول کمان و ارتفاع تاج قسمت خارجی دسته نرده توسط



شکل ۳- طرح شماتیک طول کمان و ارتفاع تاج خارجی دسته نرده. LA = طول کمان (cm) و HC = ارتفاع تاج (cm)

جدول ۳- طول کمان و ارتفاع تاج شعاع داخلی در الگوبرداری سه پله برای دسته نرده داخلی و خارجی

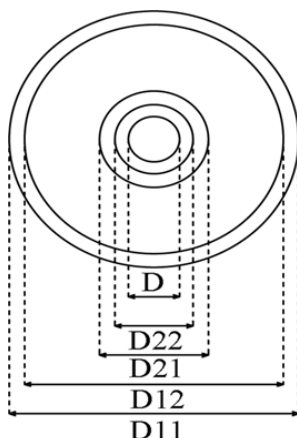
موقعیت	طول کمان (cm)	ارتفاع تاج (cm)
دسته نرده خارجی	۳۸	۴
دسته نرده داخلی	۳۸/۵	۱

دایره در هر یک از قسمت‌های خارجی و داخلی دسته نرده‌ها، محیط دایره در قسمت الگوبرداری به دست آمد. با توجه به اندازه‌گیری‌های حاصل از الگوبرداری، شعاع دسته نرده‌ها در قسمت‌های خارجی و داخلی محاسبه و در جدول شماره ۳ با شعاع دایره در قسمت‌های ذکر شد مقایسه گردید (جدول ۴).

$$D11 \times \pi + 20 \times 3$$

(۱)

پله پیچ الگوبرداری شده به ترتیب در شعاع $D11/2$ و $D21/2$ سانتی‌متر دارای دسته نرده بود (شکل ۵). پس از اعمال پهنای دسته نرده به میزان $4/5$ سانتی‌متر، شعاع قسمت‌های داخلی دسته نرده‌های خارجی و داخلی به ترتیب $D12/2$ و 12 و $D22/2$ سانتی‌متر به دست آمد (معادله ۱). با توجه به این‌که سه عدد کف پله از ۲۰ کف پله مورد الگوبرداری قرار گرفت، مطابق فرمول با محاسبه سه بیستم محیط



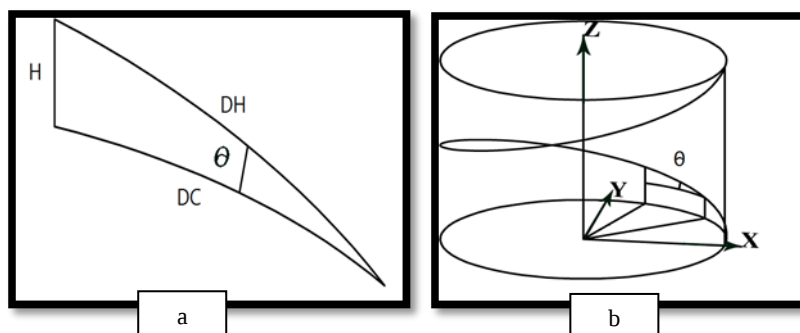
شکل ۵- طرح شماتیک مقطع عرضی پله پیچ. D = قطر سیلندر چوبی $D22$ = قطر داخلی دسته نرده داخلی $D21$ = قطر خارجی دسته نرده داخلی $D11$ = قطر خارجی دسته نرده داخلی $D12$ = قطر داخلی دسته نرده خارجی

جدول ۴- نتایج به دست آمده برای شعاع و محیط دایره و دسته نرده

دسته نرده خارجی		دسته نرده داخلی		نتایج
قسمت خارجی	قسمت داخلی	قسمت خارجی	قسمت داخلی	
۴۰/۰۵۵	۴۲/۵	۱۶/۵	۱۲	شعاع دایره (cm)
۳۵/۸۱۴	۳۸	۲۰/۵	۱۴/۳۲	شعاع دسته نرده (cm)
۴۲/۵	۴۵/۱	۱۵/۵۵	۱۱/۳۱	محیط دایره (cm)
۳۸	۴۰/۳۲	۱۹/۳	۱۳/۵	محیط دسته نرده (cm)

قسمتی از دایره با شعاع $42/5$ سانتی‌متر بود، درحالی‌که ضلع خارجی قسمتی از دایره با شعاع $45/1$ است. دلیل اصلی اختلاف شعاع به دست آمده زاویه شیب پله است (شکل ۶).

با توجه به نتایج حاصل از جدول شماره ۴ محیط خارجی دسته نرده خارجی $42/5$ سانتی‌متر ولی خط اثر آن بر روی محیط دایره با محیط $40/055$ سانتی‌متر است. همچنین خط اثر ضلع خارجی دسته نرده خارجی،

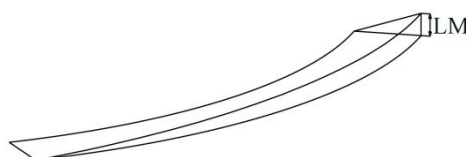


شکل ۶- طرح شماتیک از زاویه شیب و خط اثر دسته نرده. (a) دیاگرام کلی (b) قسمت الگوبرداری شده. θ = زاویه شیب پله DH = محیط دسته نرده DC = محیط دایره H = ارتفاع سه عدد پله.

میزان زاویه پیچش در دسته نرده

میزان تغییر مکانی که برای مماس شدن عرض دسته نرده در طول الگوبرداری با پله به وجود می‌آید،

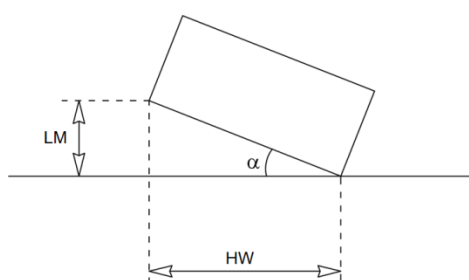
تعیین کننده زاویه پیچش است. شکل ۷ طرح شماتیک میزان تغییر مکان در دسته نرده که بیان کننده زاویه پیچش است را نشان می‌دهد.



شکل ۷- طرح شماتیک میزان تغییر مکان در دسته نرده. LM = میزان تغییر مکان در دسته نرده.

میزان تغییر مکان در دسته نرده خارجی و در دسته نرده داخلی به ترتیب $LM = 0/9 \text{ cm}$ و $LM = 3/9 \text{ cm}$ به دست آمد. با رسم مقطع دسته نرده و همچنین با در نظر گرفتن مقدار طول جابجایی به عنوان ضلع مقابل و پهنای

دسته نرده به عنوان ضلع مجاور که تعیین کننده زاویه پیچش می‌باشند، مقدار زاویه پیچش (معادله ۲) محاسبه گردید (شکل ۸).



شکل ۸- طرح شماتیک سطح مقطع دسته نرده. HW = پهنای دسته نرده α = زاویه پیچش دسته نرده.

$$\tan \alpha = \frac{LM}{HW} \quad (2)$$

نتایج حاصل برای دسته نرده با پهنای ۸ سانتی‌متر الگوبرداری دسته نرده و محاسبات زاویه پیچش برای دسته نرده داخلی با پهنای ۸ سانتی‌متر انجام و با نتایج حاصل از دسته نرده با پهنای ۴/۵ سانتی‌متر مقایسه گردید (جدول ۵).

مقدار زاویه پیچش در دسته نرده خارجی و داخلی به ترتیب $\alpha = 11/5^\circ$ و $\alpha = 41^\circ$ به دست آمد. میزان زاویه پیچش در دسته نرده داخلی بیشتر از دسته نرده خارجی بود، چراکه با نزدیک شدن به مرکز دایره، زاویه شیب پله افزایش می‌یابد.

جدول ۵- تأثیر پهنای دسته نرده بر زاویه پیچش در دسته نرده داخلی

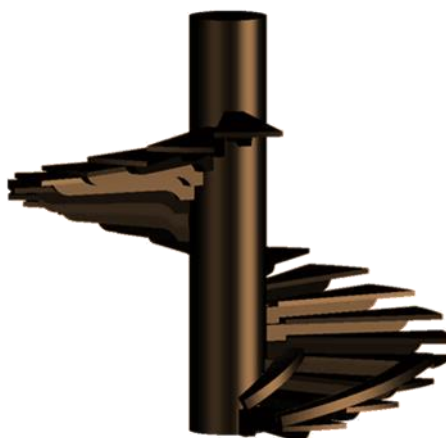
میزان پهنای دسته نرده (cm)	زاویه شیب (درجه)	زاویه پیچش (درجه)
	قسمت خارجی	قسمت داخلی
پهنای ۴/۵	۳۳	۴۳
پهنای ۸	۲۷	۴۱

افزایش پهنای دسته نرده تأثیری بر زاویه پیچش نداشت.

اعتبار سنجی محاسبات

جهت اطمینان از دقت محاسبات، پله پیچی همانند پله پیچ الگوبرداری شده به همراه دسته نرده‌های خارجی و داخلی در نرم‌افزار راینو (Rhino X64) طراحی شد (شکل

۹). سپس با استفاده از نرم‌افزار زاویه شیب و زاویه پیچش هر دودسته نرده اندازه‌گیری و با نتایج تجربی مقایسه شدند (جدول ۴).



شکل ۹- طرح شماتیک پله پیچ طراحی شده در نرم‌افزار راینو

جدول ۶- مقایسه نتایج حاصل از روش تجربی و نرم‌افزار

زوایا (درجه)		دسته نرده خارجی		دسته نرده داخلی	
نرم‌افزار	تجربی	خطای نسبی	نرم‌افزار	تجربی	خطای نسبی
۱۳	۱۵	۱۵	۳۰	۳۳	۱۰
۱۴	۱۶	۱۴/۲	۳۹	۴۳	۱۰
۱۳	۱۱/۵	۱۱/۵	۳۷	۴۱	۱۰/۸

بر اساس محاسبات انجام‌شده، در تمام نقاط شعاع ارتفاع پله یکسان و تنها پارامتر متغیر پهنای کف پله است. با کاسته شدن از شعاع، پهنای کف پله نیز کاهش می‌یابد. با توجه به این‌که پهنای کف پله ضلع مجاور زاویه شیب پله است، با کوچک‌تر شدن آن و یکسان باقی ماندن ارتفاع پله (ضلع مقابل زاویه شیب پله)، زاویه شیب پله افزایش می‌یابد. برای مثال زاویه شیب پله در شعاع ۴۲/۵ سانتی-متری ۱۵ درجه، درحالی‌که این زاویه در شعاع ۱۲ سانتی-متری، ۳۳ درجه به دست آمد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده

و محاسبات انجام‌شده با کم شدن تنها ۴/۵ سانتی‌متر از شعاع خارجی دسته نرده خارجی، زاویه شیب پله از ۱۵° به ۱۶° افزایش یافته است، درحالی‌که با کم شدن ۴/۵ سانتی‌متر از شعاع خارجی دسته نرده داخلی، زاویه شیب پله از ۳۳° به ۴۳° افزایش پیدا کرده است؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات در زاویه شیب پله به‌صورت غیرخطی بوده و با کاهش شعاع، سیر صعودی زاویه شیب پله یکنواخت نیست. با توجه به این‌که تغییرات در زاویه شیب پله بر اساس دو پارامتر ضلع مقابل و ضلع مجاور

ساخت پله پیچ علاوه بر متغیرهای ذکر شده، متغیرهایی نظیر شعاع دایره و مکان قرار گیری دسته نرده نیز وجود دارد که بر روی زاویه پیچش دسته نرده تاثیر گذار است. با افزایش زاویه شیب، پله زاویه پیچش دسته نرده افزایش یافت که بیانگر رابطه مستقیم بین این دو زاویه است. سیر صعودی زاویه شیب پله با کاهش شعاع غیر خطی بود؛ بنابراین تغییرات در زاویه پیچش دسته نرده نیز غیر خطی به دست آمد. با توجه با این که افزایش پهنای دسته نرده باعث افزایش میزان جابجایی می گردید، تاثیری بر روی زاویه پیچش دسته نرده نداشت، چرا که با افزایش پهنای دسته نرده دو ضلع تاثیر گذار بر روی زاویه پیچش دسته نرده تغییر می کنند.

سیاسگزاری

این تحقیق در قالب پایان نامه کارشناسی ارشد با حمایت مالی معاونت علمی دانشکده منابع طبیعی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران به شماره گرنت ۲۹۹۷۱/۱/۴ انجام شده است.

زاویه است، به علت تغییرات در یک ضلع (ضلع مجاور)، تغییرات غیر خطی به دست آمد. زاویه شیب پله و شعاع دایره از عوامل مؤثر بر زاویه پیچش می باشد. با افزایش زاویه شیب پله، زاویه پیچش دسته نرده نیز افزایش یافت که بیانگر رابطه مستقیم بین آنها است. با توجه به این که تغییرات در زاویه شیب پله غیر خطی بود، تغییرات در زاویه پیچش دسته نرده نیز غیر خطی است. زاویه پیچش دسته نرده با استفاده از میزان تغییر ارتفاع در دسته نرده و پهنای دسته نرده به دست می آید، بنابراین با توجه به اینکه با کاهش شعاع، میزان تغییر ارتفاع دسته نرده افزایش یافت (ضلع مقابل زاویه پیچش)، زاویه پیچش نیز افزایش می یابد. خطای نسبی زاویه پیچش محاسبه شده حدوداً ۱۱ درصد بود؛ که از دلایل آن می توان به خطای ساخت، اندازه گیری و گرد نمودن اعداد نرم افزار اشاره نمود.

نتیجه گیری

در ساخت راه پله متغیرهای زیادی همچون زاویه شیب پله، ارتفاع پله، پهنای کف پله مد نظر می باشد. در

منابع

- [1] Kazemi Najafi, S., Maleki, S., Ebrahimi, Gh. and Ghofrani, M., 2017. Determination of withdrawal resistance of staple joints constructed with various members of upholstered furniture. Iranian Journal of wood and paper industries, 8(1):95-108. (In Persian).
- [2] Hammer, O., 2016. The perfect shape: Spiral stories, Copernicus, Göttingen, Germany, 258p.
- [3] Pousette, A., 2003. Full-scale test and finite element analysis of a wooden spiral staircase. European Journal of Wood and Wood Products, 61(1): 1-7.
- [4] Pousette, A., 2006. Testing and modeling of the behavior of wooden stairs and stair joints. Journal of Wood Science, 52(4): 358-362.
- [5] Afifi, M., Parke, B. and Al-Hussein, M., 2014. Integrated approach for older adult friendly home staircase architectural design. Automation in Construction, 39: 117-125.
- [6] Moradi, M., Mohadjer, M. R. M., Sefidi, K., Zobiri, M. and Omidi, A., 2012. Over-mature beech trees (*Fagus orientalis* Lipsky) and close-to-nature forestry in northern Iran. Journal of Forestry Research, 23(2): 289-294. (in Persian).

The trigonometric calculation of twisting angle in spiral stair from beech wood

Abstract

In this study, the experimental calculation of the twisting angle in the construction of wooden spiral stairs from beech (*fagus orientalis*) on the scale of one sixth was carried out based on the SMA-R311 standard. The effect of radius on rake angle and the effect of handrail width and rake angle on twisting angle were also studied. The outer radius (11.5, 42.5 cm), handrail width (4.5, 8cm), and the door rake angle (15, 33 degree) were chosen as the variable parameters and the twisting angle was calculated using trigonometry. The results showed that as the diameter decreases, the stair rake angle increases. The results suggested that an increase in the rake angle leads to an increase in the twisting angle of the handrail, but an increase in the handrail width didn't have any effect on the twisting angle. The results showed non-linear changes of the rake and twisting angles.

Keywords: wooden spiral stair, outer radius, rake angle, twisting angle of the handrail.

F. Radfar¹
H. Zarea Hosseinabadi^{2*}
M. Layeghi³
P. Moradpour⁴

¹ M.Sc., graduated, Department of wood and paper sciences & technology, Faculty of natural resources, College of agriculture and natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran

² Assistant prof., Department of wood and paper sciences & technology, Faculty of natural resources, College of agriculture and natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran

³ Assistant prof., Department of wood and paper sciences & technology, Faculty of natural resources, College of agriculture and natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran

⁴ Assistant prof., Department of wood and paper sciences & technology, Faculty of natural resources, College of agriculture and natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran

Corresponding author:
hzareah@ut.ac.ir

Received: 2017/02/06
Accepted: 2017/06/07