ویژگیهای طراحی یک مکانیزم رباتیکی گره‌زن به منظور اتوماسیون قالیبافی سنتی ایران

علی مقداری
دانشیار، دانشکده مهندسی مکانیک
دانشگاه صنعتی شریف

علی اکبر اسدی
دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک
دانشگاه صنعتی شریف

علی اصغر اسدی
دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک
دانشگاه صنعتی شریف

چکیده

در این مقاله، ابتدا شمای کلی طرح ربات قالیباف به اختصار معرفی و تعریف شده است. سپس به بررسی انواع گره در قالیبافی سنتی ایران و مطالعه حرکات دست شخص بافنده در ارتباط با عمل گره‌زنی پرداخته، و گره ترکی به منظور طراحی مکانیزم گره‌زنی انتخاب شده است.

باتوجه به چگونگی حرکات دست شخص بافنده و بهینه سازی عملیات گره‌زنی، عمل پیچیده گره‌زنی، طوری شبیه سازی شده که توسط مکانیزم‌های ساده قابل بازسازی باشد. برای این منظور بازسازی گره ترکی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته که در سه مرحله تغذیه نخ پرز، قطع نخ پرز و عمل گره‌زنی انجام می‌شود. درنهایت مکانیزم‌هایی که قادر به انجام عملیات فوق می‌باشند طراحی شده‌اند، و در این راستا نیز شبیه سازی‌های کامپیوتری به عمل آمده است.

Conceptual Design of a Robotics Knotting Mechanism to Automate The Traditional Persian Carpet Weaving

A. Meghdari
Associate Professor School of Mech. Eng. Sharif Univ. of Tech.

A.A Asadi
Graduate Student School of Mech. Eng. Sharif Univ. of Tech.

A. A. Asadi
Graduate Student School of Mech. Eng.
Sharif Univ. of Tech.

Abstract

This paper presents a general overview of a carpet weaving robot and briefly describes its features. In this context, one of the traditional persian knots (symmetric knot) and the carpet weavers hands motion in producing such a knots of dyed woolen yarn is studied. These motions are then simplified and simulated such that they could be duplicated by a simple mechanism. Finally, a robotics knotting mechanism has been designed to duplicate the symmetric knot, and a laboratory model was fabricated.

۱ـ مقدمه

قالی سنتی ایرانی دستمایه زحمت و کوشش سالیان سال مردان و زنان و کودکان هنرمند جای جای شهرها و روستاهای میهن عزیزمان است که به طور عمده درشرایط سخت و محیط های نامناسب در راه ارتقاء و زنده نگه داشتن این هنر اصیل ایرانی و عرضه آن به جامعه بین المللی، زحمات فراوانی را متحمل گشته و می گردند.

با پیشرفت تکنولوژی و استفاده وسیع از اتوماسیون، مخصوصاً درکارهای تکراری، نیکوست کشورمان که بنیانگزار صنعت قالیبافی سنتی در جهان است، برای بالا بردن نرخ تولید وعرضه آن به بازارهای بین المللی به عنوان یکی از مهمترین محصولات صادراتی کشور، بنیانگزار طرح جدید قالیبافی سنتی اتوماتیک نیز باشد.

این مقاله به بحث پیرامون قسمتی از نتایج به دست آمده از یک پروژه مادر تحت عنوان «اتوماسیون قالیبافی سنتی ایران توسط ربات ها» پرداخته که شامل طراحی و ساخت یک مکانیزم رباتیکی گره زن (که نهایتاً به انتهای بازوی ربات قالیباف متصل می گردد) می باشد [۱].

اصولاً یک قالی را می توان به یک ماتریس (n×m) تشبیه نمود که هر گره از آن با رنگ دلخواه خود، حکم یک درآیه از ماتریس را داشته و با دو مختصه "i" و "j" مشخص می شود. بنابراین ربات قالیباف را می توان به صورت یک سیستم دو درجه آزادی (شبیه به پلاترهای xy) مطرح نمود، که مختصات هر گره (هردرآیه ماتریس) در آن مشخص می باشد.

سیستم رباتیکی در نظر گرفته شده، شامل یک دار قالی با حرکتی در جهت قائم می باشد. به طوری که پس از اتمام هر رج از گره ها، دار قالی به سطر بعدی می لغزد و مکانیزم گره زن پس از اتمام هرگره برای زدن گره بعدی حرکتی در راستای افق دارد. بدین ترتیب مکانیزم گره زن در موقعیت مناسب قرار گرفته و با نخ پرزی با رنگ مورد نظر، عمل گره زنی را به روی دوتار انجام می دهد.

نقشه قالی به روی کامپیوتر به صورت یک ماتریس (n×m) ذخیره می گردد، و هر رنگ ازنخ های پرز نیز توسط یک کد شماره گذاری شده (مثلاً برای قالی ۱۶ رنگ از کد شماره ۱ تا ۱۶) و به هر گره به عنوان یک درآیه از ماتریس یکی از این کدها (بسته به رنگی که در نقشه است) نسبت داده می شود.

نخ های پرز با رنگ های مختلف به روی دیسک دواری قرار می گیرند و بسته به اینکه از کامپیوتر کد مربوط به کدام رنگ فرمان داده شده باشد، دیسک چرخیده و پرز با رنگ مورد نظررا مقابل مکانیزم تغذیه نخ قرار می دهد. پس از تغذیه نخ پرز عمل گره زنی به روی دو تاری که توسط میل میلک ها مقابل مکانیزم گره زن آورده شده اند، انجام می گیرد.

سایر سیستم های جانبی مانند مکانیزم شانه زن، پودگذار و شیرازه باف همانند عملیات قالی های ماشینی امروزی قابل طراحی و انجام است.

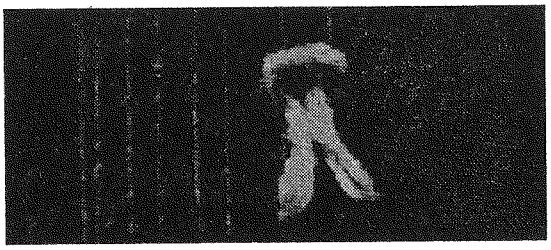
۲ـ معرفی گره های معمول در قالیبافی

۲-۱ـ گره ترکی (متقارن)

قالی و قالیچه های مناطق مختلفی مثل شیروان، گنجه، قره باغ، قفقاز، تبریز، هریس و همدان و انواع مختلف دستباف های عشایر فارس، با این گره بافته می شوند [۵-۲]. طرز عمل گره زنی ترکی به شرح زیر می باشد:

این گره روی دو تار رو و زیر به کار می رود. بدین ترتیب که بافنده خامه یا پرز را دردست چپ گرفته و به صورت عمود یا خط مستقیم به روی تارهای رو و زیر قرار می دهد. هر یک از دو سر خامه به پشت یکی از تارها رفته و پس از پیچیدن به دور آنها از بین دو تار بیرون آمده به طرف بافنده کشیده می شود. این نوع گره که ترکی (متقارن) نامیده می شود بیشتر به کمک قلاب انجام می گیرد و نسبت به سایربافت ها محکم تر است.

این گره با استفاده از قلاب تبریزی بدین صورت انجام می شود که ابتدا یک جفت چله زیر و رو را به کمک قلاب جلو کشیده، بخشی از خامه مورد نظر را دردست چپ گرفته یک سر خامه را به کمک قلاب بین دو چله برده و آن را از پشت تار اول بیرون آورده از روی دو تار عبور می دهیم، آنگاه آن را پشت تار دوم برده و سپس سر خامه را از بین دو تار مجدداً بیرون می آوریم و هر دو سر را با هم به طرف پایین می کشیم و اضافه آن را با لبه تیز قلاب قطع می کنیم. باید دقت شود که در موقع جلو کشیدن دوسر هر گره اندازه آنها یکسان باشدو یکی کوتاه تر و دیگری بلند نباشد. شکل (۱) نمونه ای از گره ترکی را نشان می دهد.



شکل (۱) گره ترکی

۲-۲ـ گره فارسی (نامتقارن)

گره‌ای است که به وسیله قالیبافان ایرانی نژاد و فارسی زبان مانند اراک، مشهد، بیرجند، کرمان، اصفهان، نائین، کاشان و قم به کار می‌رود [۵-۲].

در این نوع گره خامه یا پرز گره تنها به دور یک تار پیچیده و سر دیگر آن از پشت تار دومی آزاد می‌گذرد. بدین طریق که بافنده ابتدا مقداری از خامه (نخ پشمی) را از توپک جدا کرده در حالی که چاقوی فارسی بافت را به دست راست دارد وبا دو انگشت سبابه و میانی دست چپ سرخامه جدا شده را نگه می دارد. سپس به وسیله سرانگشت سبابه دست راست یک جفت چله (زیر و رو) را جلو آورده و ضمن اینکه حدود دوسانتیمتر خامه از بین انگشتان دست چپ بیرون آمده، آن را از پشت چله اول رد نموده و پس از خم کردن سر آن، خامه را از روی چله دوم به سمت پشت آن عبور داده و از مابین دو تار به سمت روی فرش جلو کشیده و کاملاً پایین می‌آورد. این کار با انگشت میانی و انگشت سبابه دست راست صورت می‌گیرد، سپس به وسیله لبه کاردک سرنخ اضافی را می‌برند. گره فارسی را گره نامتقارن نیز می‌نامند، زیرا گره به طور متقارن به دور هر تار پیچیده نمی‌شود و تنها به دور یک تار پیچیده می‌شود. شکل (۲) نمونه‌ای از گره فارسی را نشان می‌دهد.

شکل (۲) گره فارسی

۳ـ مطالعه حرکات دست بافنده در ارتباط با عمل گره‌زنی سنتی

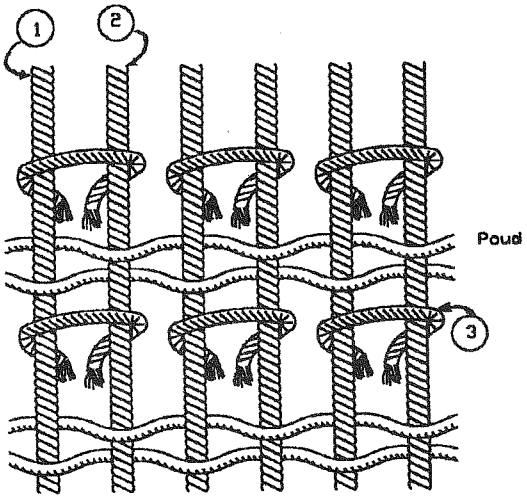
پس از مطالعه و بررسی انواع گره و گره‌زنی، «گره ترکی» از میان سایر گره‌ها، به دلیل محاسن ذیل برگزیده شد:

۱ـ تقارن ساختمان گره به روی تارها

۲ـ انجام گره به وسیله قلاب

۳ـ زیبایی و استحکام قالی‌هایی که از این نوع گره در بافت آنها استفاده شده

در ادامه مراحل و چگونگی حرکات مربوط به گره‌زدن (گره ترکی) مورد بررسی قرار گرفته است. برای سادگی هر یک از تارهای زیر و رو و نخ پرز به ترتیب با شماره‌های ۱، ۲ و ۳ مطابق شکل (۳) مشخص شده‌اند:



۱) تار زیر ۲) تار رو ۳) نخ پرز

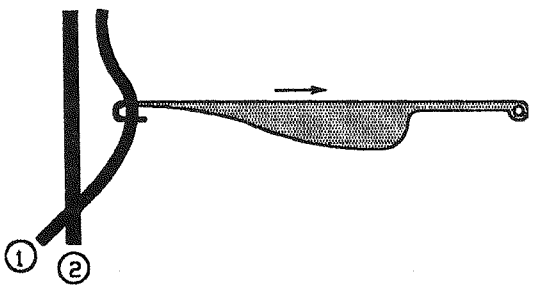
شکل (۳) شمای گره ترکی

۳-۱ـ مراحل انجام گره ترکی

مرحله اول:

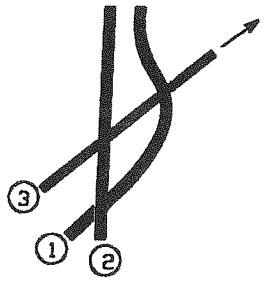
تار شماره (۱)، «زیر»، توسط قلاب گرفته شده و به جلو کشیده می‌شود:

شکل (۴)



مرحله دوم:

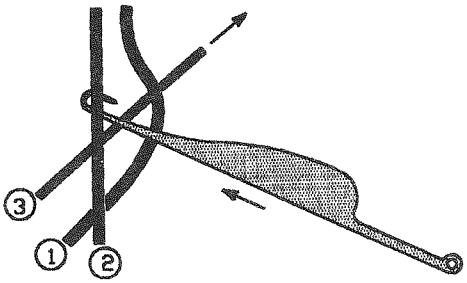
نخ پرز را از پشت تار شماره (۱)، «زیر»، رد کرده و آن را به صورت کشیده نگه می‌داریم.



شکل (۵)

مرحله سوم:

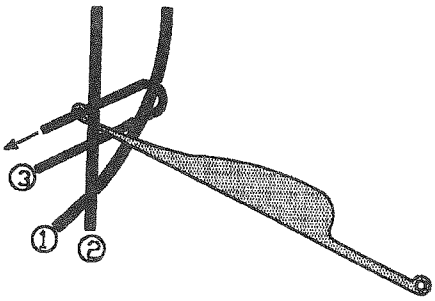
قلاب را از روی نخ پرز به پشت تار شماره (۲)، «رو»، می بریم.



شکل (۶)

مرحله چهارم:

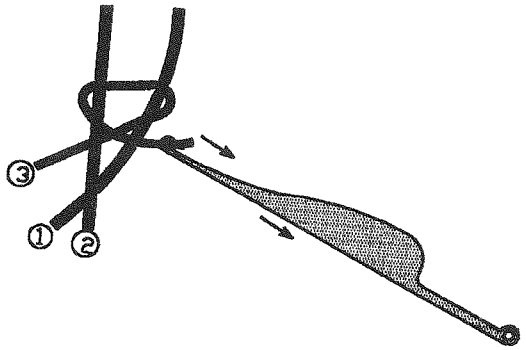
سر آزاد نخ پرز، (۳)، به روی قلاب برمی‌گردد و با سر آن درگیر می‌شود.



شکل (۷)

مرحله پنجم:

قلاب را که نخ پرز به سر آن گیر کرده است به طرف بیرون می کشیم تا سر نخ پرز از بین دو تار بیرون آید.



شکل (۸)

مرحله ششم:

سر دیگر نخ پرز را توسط قسمت تیز چاقو قطع می‌کنیم.

۳-۲-بهینه سازی عملیات گره زنی

با بررسی عملیات گره زنی ترکی و چگونگی حرکات دست و قلاب نتایج زیر حاصل می‌گردد:

۱-بافنده سنتی محدودیت های زیر را در انجام عملیات گره زنی دارد:

الف) تنها می‌تواند از یک قلاب استفاده نماید.

ب) باید با یک دست قلاب و با دست دیگر نخ پرز را به صورت کشیده شده نگه دارد.

۲-در ماشین می‌توان از چند قلاب که به طور همزمان کار می‌کنند، استفاده نمود، بدین ترتیب می‌توان عمل گرفتن تارها و رد کردن نخ پرز و انجام گره را که شخص بافنده تنها با یک قلاب انجام می دهد، با چند قلاب میسر نمود.

۳-دست انسان به علت دارا بودن انعطاف پذیری بسیار بالا قادر است حرکات پیچیده‌ای را در حین گره زنی انجام دهد که شبیه سازی آنها با مکانیزم های ماشین دشوار می باشد. بنابر این باید به گونه ای حرکات را طراحی نمود که به سادگی توسط ماشین انجام پذیر باشند. برای این منظور بررسی دقیق تری روی عملیات گره زنی و چگونگی حرکات نخ برای تکمیل یک گره انجام گرفت. پس از بررسی حرکات مختلف و آزمایش راه های گوناگون درزدن یک گره ترکی به

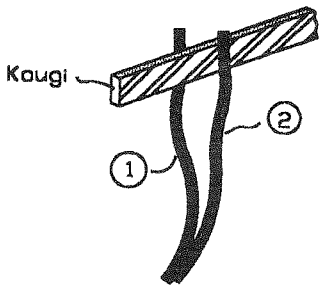
روی دار قالی، موفق شدیم گره‌زنی ترکی را که معمولاً در شش مرحله انجام می شود (همانطور که در بخش قبل اشاره نمودیم) به سه مرحله حرکتی با حرکات ساده‌تر کاهش دهیم. بنابر این طراحی و ساخت مکانیزمی که بتواند این سه حرکت را بازسازی نماید به مراتب ساده‌تر خواهد شد.

ذکر این نکته ضروری است که در راه حل ارائه شده، نتیجه عمل همان گره ترکی سنتی می‌باشد و از لحاظ ساختمان گره هیچگونه تفاوتی با آن ندارد.

۳-۲-۱ ـ مراحل انجام گره ترکی به روش بهینه

مرحله اول:

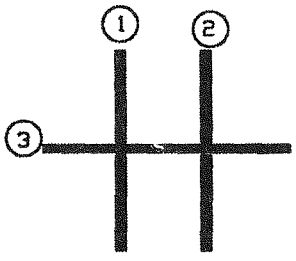
دو تار زیر و رو را با هم به سمت جلو می‌کشیم. به دلیل وجود کوجی (چوب بین تارهای زیر و رو). تار رو جلوتر از تار زیر قرار می‌گیرد و فاصله لازم جهت عملیات گره‌زنی بوجود می‌آید.



شکل (۹)

مرحله دوم:

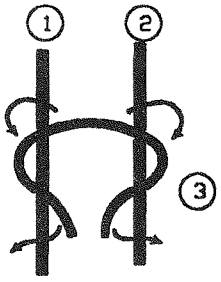
نخ پرز به روی دو تار (کشیده شده به سمت جلو) توسط دو گیره قرار گرفته و در حین گرفتن به اندازه مورد نیاز برای عمل گره‌زنی قطع می‌گردد.



شکل (۱۰)

مرحله سوم:

دو سر نخ پرز با هم پس از دور زدن دو تار، از فضای بین دو تار عبور کرده و مطابق شکل (۱۱) به سمت پایین (به طرف بیرون) کشیده می‌شود. بدین ترتیب گره ترکی با حفظ کلیه خصوصیات، کامل می‌گردد.



شکل (۱۱)

با توجه به مراحل انجام گره‌زنی بهینه که تعداد حرکات عمل گره‌زنی را کاهش داده و به صورت ساده ارائه می‌دهد، از سه مکانیزم جهت عمل گره‌زنی ترکی استفاده می‌گردد:

۱ ـ *مکانیزم تغذیه نخ پرز*
۲ ـ *مکانیزم قطع کننده نخ پرز*
۳ ـ *مکانیزم اصلی گره‌زن (قلاب)*

توجه فرمایید که برای جلوآوردن دوتار که گره، روی آن دو انجام می‌گیرد از میل میلک‌ها استفاده می‌گردد. بدین ترتیب که به ازاء هر نخ تار، یک میل میلک تعبیه می شود که با حرکت خود، تارهای قالی را جابجا می‌کند و فضای مورد نیاز را جهت گره زدن و عبور دادن پودهای کلفت و نازک ایجاد می‌کند و نیازی به چوب کوجی نخواهد بود. شایان ذکر است که سیستم میل میلک‌ها در بافت قالی‌های ماشینی امروزی نیز استفاده می‌گردد.

٤ـ طراحی مکانیزم گره‌زن

٤-١ـ مکانیزم تغذیه نخ پرز (Feeder)

عملیاتی که مکانیزم تغذیه نخ پرز انجام می‌دهد عبارت از قرار دادن مقدار مورد نیاز نخ پرز عمود بر تارها می‌باشد. برای این منظور این مکانیزم از سه قسمت اساسی تشکیل شده است:

الف) مکانیزمی که با دامنه حرکتی مشخص به صورت

خط راست حرکت کرده تا نخ پرز را از سر کلاف بگیرد.

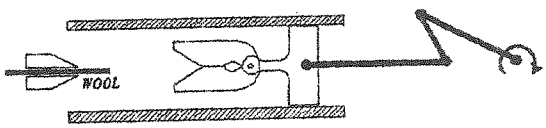
ب) گیره‌ای که در سر مکانیزم قرار دارد و نخ پرز را ضمن گرفتن به صورت کشیده شده به روی تارها نگه می‌دارد.

ج) مکانیزم تعویض نخ پرزها با رنگ های مختلف

نحوه عمل این مکانیزم را می‌توان به صورت زیر توصیف نمود:

۱ـ دو تار توسط میل میلک ها به سمت جلو کشیده می‌شوند و فضای لازم جهت انجام عمل گره بوجود می‌آید.

۲ـ نخ پرز توسط گیره‌ای که به یک مکانیزم لغزنده لنگی متصل است، گرفته می‌شود و به میزان مورد نیاز برای عمل گره زدن به عقب برده می‌شود. دو سر گیره طراحی شده توسط یک فنر پیچشی به یکدیگر فشرده می شوند. مکانیزم باز شدن گیره نیز همانطور که در شکل (۱۲) مشاهده می‌شود بدین صورت است که به هنگام جلو آمدن گیره (که متصل به یک لغزنده است) شیب های بوجود آمده روی دو سر گیره با شیب مخالفی (به حالت گوه) که بر روی تغذیه کننده تعبیه شده است برخورد کرده و با لغزیدن به روی آن بالا رفته، دو سر گیره را باز می‌کند. این نقطه، نقطه مرگ بالای مکانیزم لغزنده لنگی است، سپس گیره شروع به پایین آمدن از سطح شیب دار (گوه) را کرده و نخ پرز را بین دو سر خود می‌فشارد و نخ پرز گرفته شده به اندازه مورد نیاز (فاصله بین نقطه مرگ بالا و پایین لغزنده لنگی) به عقب برده می‌شود [۸ـ۶].



شکل (۱۲)

۴ـ۲ـ تحلیل حرکتی مکانیزم تغذیه نخ پرز

برای اینکه ربات قالی باف از بازده خوبی برخوردار باشد، با مقایسه زمان قالیبافی سنتی یک قالیباف ماهر با ربات، زمان ۱ ثانیه برای زدن هر گره در نظر گرفته شده است. بنابراین مکانیزم لغزنده لنگی با سرعت یک دور در ثانیه یا ۶۰ دور در دقیقه باید بچرخد. طبق بررسی ها و آزمایش های گوناگون، اندازه نخ پرز مورد نیاز جهت گره زدن ترکی ۵ سانتیمتر تعیین و انتخاب گردید. بنابر این با توجه به مطالب ذکر شده در طراحی توصیفی دامنه حرکت مکانیزم لغزنده لنگی (فاصله بین نقطه مرگ بالا و نقطه مرگ پایین) ۵ سانتیمتر تعیین می‌گردد.

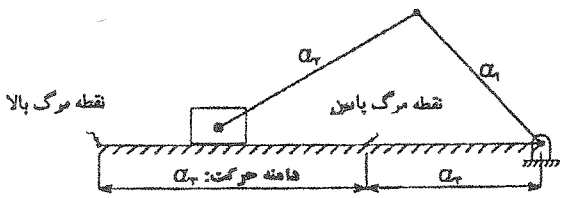
با توجه به شکل زیر ومعادلات مربوطه، ابعاد مکانیزم مورد نظر محاسبه می‌شوند:

نقطه مرگ بالا: $a_1 + a_2 = a_3 + a_4$

نقطه مرگ پایین: $a_2 - a_1 = a_4$

$$a_1 = \frac{a_3}{2}$$

$$a_2 = \frac{a_3}{2} + a_4$$

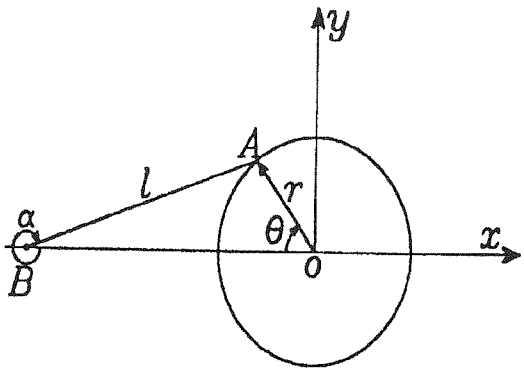


شکل (۱۳)

با داشتن اندازه a_3 و انتخاب a_4 (با توجه به محدودیت های فضائی سیستم) ابعاد مکانیزم حاصل می‌گردد:

$a_3 = 5\,cm$
$a_1 = 2.5\,cm$
$a_4 = 2.5\,cm$
$a_2 = 2 + 2.5 = 4.5\,cm$

و معادله موقعیت اسلایدر (لغزنده) به صورت تابعی از L, r و θ به شرح زیر به دست می‌آیند (شکل ۱۴).



$$OB = r\cos\theta + L\cos\alpha$$

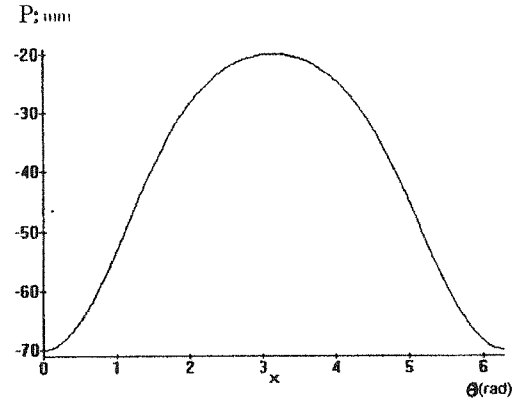
$$OB = r\cos\theta + \sqrt{L^2 - r^2\sin^2\theta}$$

شکل (۱۴)

بنابر این می‌توان منحنی موقعیت اسلایدر را بر حسب تغییرات زاویه ورودی، θ، رسم نموده و با مشتق‌گیری از معادله موقعیت، می‌توان منحنی سرعت و شتاب را برحسب زاویه (θ) رسم کرد. شکل (۱۵) منحنی تغییرات موقعیت اسلایدر را برحسب زاویه θ نشان می‌دهد. کورس اسلایدر، ۵ سانتیمتر و زاویه ورودی (θ)، $2\pi\ \text{rad}=360^\circ$ در نظر گرفته شده است.

معادله موقعیت اسلایدر عبارتست از:

$$P(\theta) = r\cos(\theta) + \sqrt{L^2 - r^2\sin^2\theta}$$

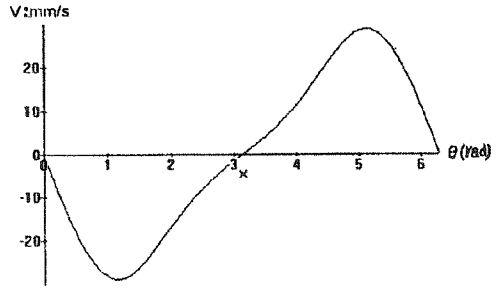


شکل (۱۵) نمودار جابجایی اسلایدر (لغزنده)

شکل (۱۶) منحنی تغییرات سرعت اسلایدر را بر حسب زاویه (θ) نشان می‌دهد. چنانچه از رابطه موقعیت، نسبت به زمان مشتق بگیریم، خواهیم داشت:

$$V_{[\theta]} = \frac{d}{dt}\left[r\cos(\theta) + \sqrt{L^2 - (r^2\sin^2(\theta))}\right] \rightarrow$$

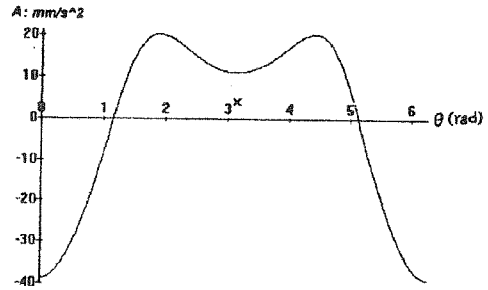
$$V_{[\theta]} = \frac{r\sin(\theta)\cos(\theta)}{\sqrt{L^2 - r^2\sin^2(\theta)}} - r\sin(\theta)$$



شکل (۱۶) نمودار تغییرات سرعت اسلایدر (لغزنده)

شکل (۱۷) منحنی شتاب اسلایدر را بر حسب زاویه (θ) نشان می‌دهد. چنانچه از رابطه سرعت نسبت به زمان مشتق بگیریم، خواهیم داشت:

$$A_{(\theta)} = \left[\frac{r^2}{\sqrt{L^2 - r^2\sin^2(\theta)}} - \frac{r^4\sin^2(\theta)}{\sqrt{(L^2 - r^2\sin^2(\theta))^{3/2}}}\right]\cos^2(\theta)$$
$$- r\cos(\theta) + \frac{r^2\sin^2(\theta)}{\sqrt{L^2 - r^2\sin^2(\theta)}}$$



شکل (۱۷) نمودار تغییرات شتاب اسلایدر (لغزنده)

۴-۳-مکانیزم قطع کننده نخ پرز (Cutter)

این مکانیزم بعد از آنکه مکانیزم اسلایدر نخ پرز را به اندازه کورس کاری خود به روی دو تار قرار داد، نخ پرز را قطع کرده و سر قطع شده را ثابت به روی دو تار نگه می‌دارد.

در این روش از یک سلونوئید با دامنه کاری بزرگتر از ارتفاع گیره استفاده می‌گردد و طرز عملکرد آن به شرح زیر می باشد:

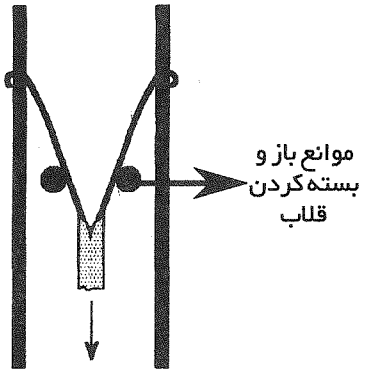
هنگامی که گیره به سمت جلو حرکت می‌کند تا نخ را بگیرد، سلونوئید در حالت جمع شده می باشد و پس از آن که گیره نخ را گرفت و به سمت عقب حرکت کرد و اسلایدر به نقطه مرگ پایین رسید، میکروسوئیچ تعبیه شده تحریک شده و جریان سلونوئید قطع می‌گردد وسلونوئید آزاد می‌گردد. با وجود فنر پشت هسته آهنی، تیغه برش (که به هسته آهنی متصل است) با ضربه به روی نخ پرز برخورد نموده و آن را به اندازه تعیین شده قطع می‌کند. به علاوه، از وزن هسته آهنی برای گرفتن سر نخ پرز قطع شده استفاده می‌گردد.

از ویژگی‌های این طرح، سادگی آن و کنترل نیروی برش با تغییر سختی فنر پشت هسته آهنی می‌باشد. همچنین می‌توان از میکروسوئیچ برای همزمانی و تقدم و تأخر حرکت مکانیزم‌ها نیز استفاده نمود. زمانی که میکروسوئیچ تحریک نشده، مدار موتور مکانیزم لغزنده لنگی بسته است و مکانیزم حرکت کرده و نخ را از سر مکانیزم تغذیه می‌گیرد و مقابل تارها می‌کشد. در این زمان مدار موتور مکانیزم چهار میله‌ای باز است و پس از تحریک میکروسوئیچ، کاتر، نخ پرز را قطع می‌کند. در نهایت موتور لغزنده لنگی می‌ایستد و مدار موتور مکانیزم چهارمیله بسته شده و عمل گره‌زنی را انجام می‌دهد.

٤-٤-مکانیزم اصلی گره زن (قلاب)

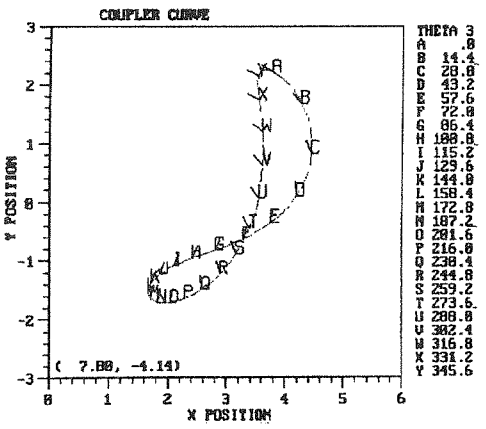
برای زدن گره ترکی همانطوری که تشریح شد، دو سر نخ پرز باید همزمان از بین تار به بیرون کشیده شوند. برای این منظور از یک قلاب دو سر استفاده می‌شود، بدین صورت که در ابتدا و انتهای کار (در لحظه ورود به داخل فضای بین دو تار و لحظه خروج از بین دو تارهمراه با دو سر نخ پرز) دوقلاب باید به هم نزدیک شوند ولی در لحظه گرفتن نخ پرز از پشت دو تار دو قلاب باید از هم دور باشند.

بدین منظور جنس قلاب‌ها باید حالت ارتجاعی داشته باشد تا به اندازه مورد نیاز از هم باز گردند و با قرار دادن دو مانع در هنگام ورود و خروج به سادگی به هم نزدیک شوند. شکل (۱۸) نمونه‌ای ساده از یک قلاب دو سر را نشان می‌دهد.



شکل (۱۸) قلاب دو سر با موانع

بر طبق ایده مورد نظر، قلاب دوسری ساخته شد وبر طبق آزمایشات عملی که به روی دار قالی انجام گرفت، بر حسب چگونگی انجام عمل گره زدن به وسیله این قلاب حرکت مکانیزم مورد نظر توسط دست شبیه‌سازی گردید، و منحنی حرکت قلاب به طریق تجربی به دست آمد.



شکل (۱۹) منحنی حرکتی «کوپلر» قلاب دو سر

با توجه به شکل (۱۹) نقاط منحنی حرکت قلاب را بررسی می‌کنیم:

الف) شروع حرکت قلاب به روی منحنی از نقطه T که خارج از فضای دوتار می‌باشد، است.

ب) قلاب از نقطه T به سمت نقطه R (قبل از فضای بین دو تار) حرکت کرده و برای آنکه وارد فضای بین دو تار گردد بایستی در نقطه R دو سرقلاب بسته شوند. در نقطه Q دو سر قلاب از بین دو تار به حالت بسته عبور کرده است.

ج) حرکت قلاب از نقطه Q تا L در پشت دو تار بوده و در نقطه L دو سر قلاب که کاملاً باز شده‌اند، آماده گرفتن نخ پرز از طرفین دو تار می‌باشد.

د) حرکت قلاب از نقطه L به سمت H برای گرفتن نخ پرز از طرفین دو تار می‌باشد.

هـ) از نقطه G تا E قلاب به منظور هدایت کردن دو سر نخ پرز به پشت دو تار حرکت می‌کند.

و) از نقطه D تا A قلاب ضمن بسته شدن دو سر نخ پرز را به سمت خارج از فضای بین دو تار می‌کشد و گره کامل می‌شود.

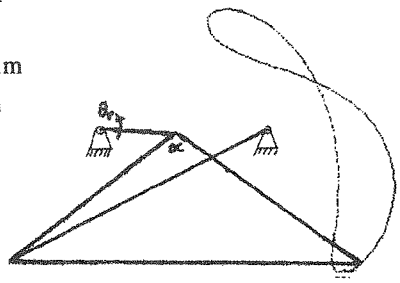
پس از بررسی‌های مختلف برای یافتن مکانیزمی که بتواند منحنی حرکت قلاب را برای انجام گره ترکی شبیه‌سازی نماید، مکانیزم ۴ میله‌ای انتخاب گردید [۸ و ۷].

در این راستا توسط شبیه‌سازی کامپیوتری و استفاده از برنامه کامپیوتری نوشته شده به زبان پاسکال، منحنی حرکتی قلاب و همچنین با استفاده از بسته‌های نرم‌افزاری به روش سعی و خطا، مکانیزم چهار میله‌ای مورد نظر به دست آمد. سپس مکانیزم هم اصل (cognate) مکانیزم اصلی را که قادر به کار کردن با آن خارج از منحنی حرکتی قلاب مورد نظر باشد و عمل گره‌زنی را بدون تداخل انجام دهد، به دست آورده، اقدام به ساخت مدل‌های اولیه نمودیم.

با ساخت نمونه فلزی مکانیزم نهایی توسط ورق آهن و پرچ (در مقیاس مطلوب) و نصب قلاب به طور موقت به روی مکانیزم بود که به عملکرد دقیق مکانیزم به دست آمده پی بردیم. در این راستا با استفاده از بسته‌های نرم‌افزاری و شبیه‌سازی‌های کامپیوتری یکی از مکانیزم‌ها (به دلیل آن که خودمکانیزم با منحنی حرکتی تداخل نداشت و فضای کاری مناسبی داشت) مناسب تشخیص داده شد و پس از به دست آوردن ابعاد آن و نمونه‌سازی به عنوان «مکانیزم اصلی گره زن» انتخاب گردید (شکل ۲۰).

ابعاد مکانیزم نهایی عبارتند از:

$a_1 = 27\ mm$
$a_2 = 12\ mm$
$a_3 = 31.5\ mm$
$a_4 = 45\ mm$
$a_5 = 34\ mm$
$\alpha = 108^{\circ}$

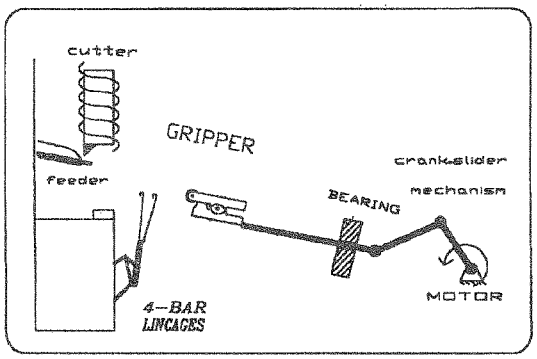


شکل (۲۰) مکانیزم چهار میله‌ای مورد نظر

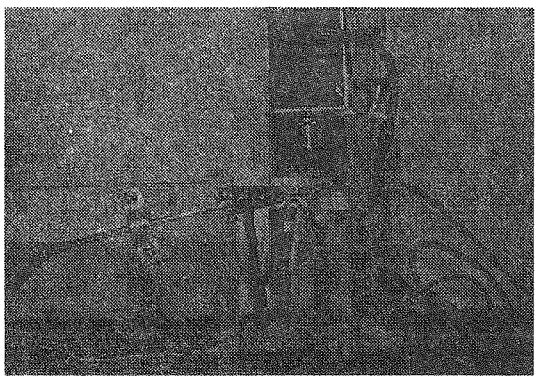
شکل (۲۱) طرح شماتیک کلی مکانیزم گره‌زن را نشان می‌دهد و شکل (۲۲) تصویری از مدل اولیه ساخته شده آن را نشان می‌دهد. نمودارهای ارائه شده در شکل (۲۳) که با استفاده از بسته نرم‌افزاری "Mechdes" به دست آمده است در طراحی مکانیزم چهار میله‌ای ما را یاری می‌کنند.

با استفاده از جداول و با داشتن مختصات دقیق موقعیت‌های قلاب، فضای کاری قلاب، مختصات پایه‌های مکانیزم نسبت به قلاب و محل نصب سایر اجزاء مانند موانع (اینکه چه موقع قلاب‌ها باز و بسته شوند) مشخص می‌گردد.

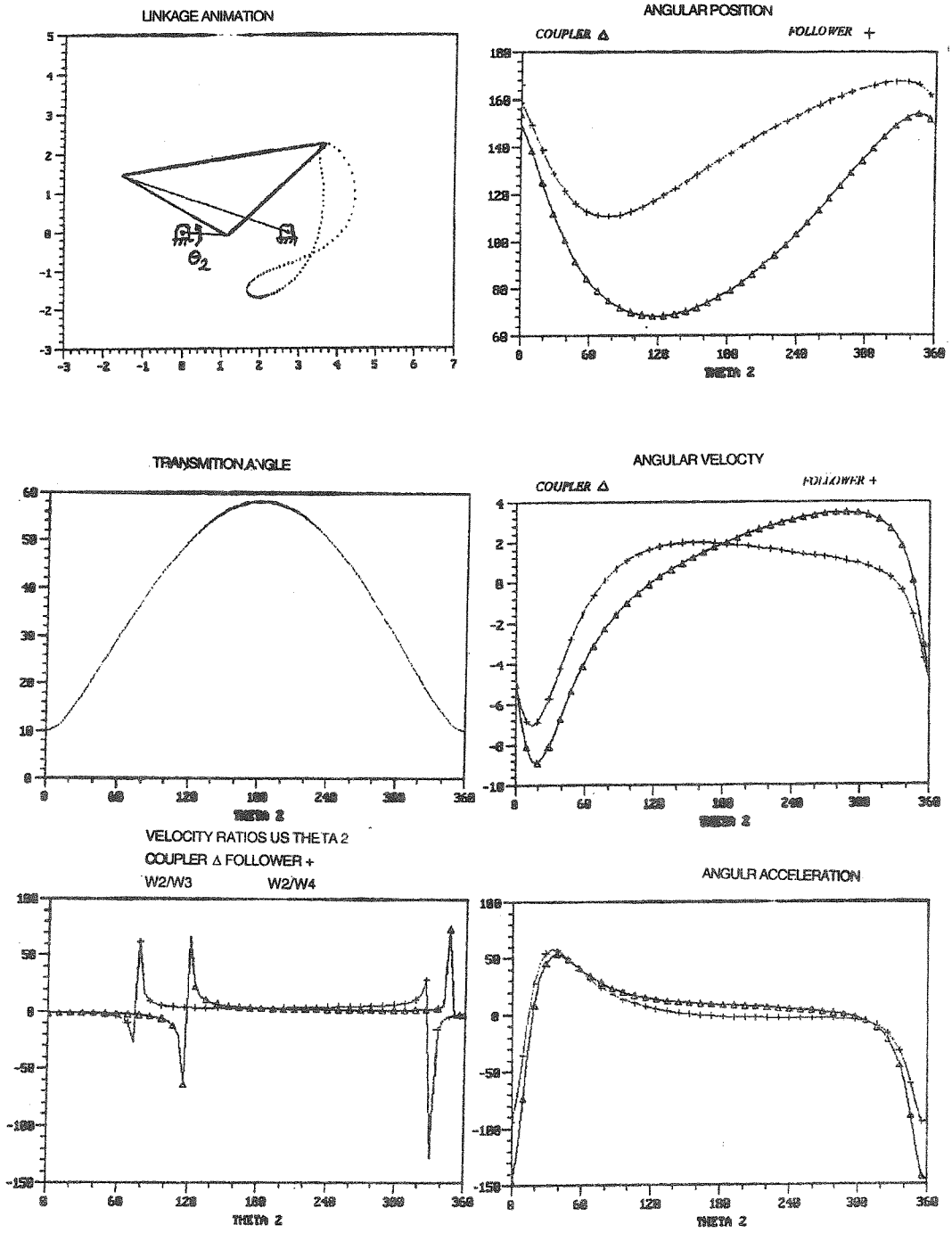
نمودارهای رسم شده نیز اطلاعاتی در رابطه با سرعت‌ها و شتاب‌های اجزاء مکانیزم چهار میله‌ای و تجزیه و تحلیل حرکتی آن را ارائه می‌دهند که در طراحی مکانیزم و مسائل کنترلی و همزمانی (برای موتورها و ...) مورد استفاده قرار خواهند گرفت.



شکل (۲۱) طرح شماتیک کلی مکانیزم گره‌زن



شکل (۲۲) مدل اولیه ساخته شده از مکانیزم گره‌زن



شکل (۲۳) منحنی های حرکتی و سینماتیکی مکانیزم چهارمیله ای مورد نظر

۵ـ نتیجه گیری

قالی ایرانی از دیرباز به عنوان یکی از نمونه های اصیل هنر ایرانی و یکی از شاخص های ارقام صادراتی کشور، مورد توجه خاص و عام بوده است و مقصود و منظور از اتوماسیون آن کاهش ارزش هنری این صنعت نخواهد بود. قالی را که ربات می بافد، جایگاهی بین قالی دست باف و قالی های ماشینی امروزی خواهد داشت، و به دلیل اینکه امکان بافت قالی های معمولی با ربات قالیباف بیشتر ممکن به نظر می رسد، لذا با افزایش میزان تولید قالی های معمولی که جایگاه خود را در بازار دارند، هنرمندان قالیباف ترغیب می شوند تا به بافتن قالی ها و قالیچه های هنرمندانه تر و یا به اصطلاح درجه یک بپردازند. بدین ترتیب با بالا رفتن نرخ تولید قالی های معمولی و در نتیجه ارزان تر شدن قیمت آنها و افزایش تولید فرش های درجه یک و هنرمندانه تر، امید آن دارد که قالی ایرانی از مقام هفدهم بازار فرش جهانی به مقام پیشین خود (رده اول) صعود یابد.

منابع

[۱] علی اکبر اسدی، علی اصغر اسدی، «طراحی و ساخت مکانیزم رباتیکی گره زن به منظور اتوماسیون قالیبافی سنتی»، پروژه کارشناسی مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف، شهریور ۱۳۷۳.

[۲] جواد یساولی، «مقدمه ای بر شناخت قالی ایران»، ۱۳۷۰، انتشارات فرهنگ سرا.

[۳] شیرین صوراسرافیل، «کتاب فرش ایران»، ۱۳۶۶، انتشارات فرهنگ سرا.

[۴] محمد ستاری، «قالیبافی»، ۱۳۶۷، انتشارات امیرکبیر.

[۵] منصور ورزی، «هنر و صنعت قالی در ایران»، ۱۳۵۰، انتشارات رز.

[6] Chironis, N.P., "Mechanicms, Linkages, and Mechanical Control", Mc Graw-Hill, 1991.

[7] Martin, G.H., "Kinematics and Dynamics of Machincs", 1969.

[8] Shigley, J.E., "Mechanical Engineering Design", 1986.

[۹] بهزاد وزیر دفتری، «مکانیزم و تکنولوژی ماشین های بافندگی، جلد اول و دوم، ۱۳۶۶.

[۱۰] جان جی کریگ، «رباتیک، مکانیک و کنترل» ترجمه به فارسی توسط علی مقداری، انتشارات دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۷۴.