طراحی و ساخت سیستم تراز لیزری دوار دوبعدی با جاذب نوسانات

مسعود تیموری بک[1]، مهدی خداویردی زاده[2]

۱ مربی گروه مهندسی برق، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه، m.teymouri@uut.ac.ir

۲ مربی گروه مهندسی برق، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۳/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۰۲

چکیده

در این مقاله یک سیستم تراز لیزری دوار دوبعدی معرفی شده است. این دستگاه می‌تواند یک سطح تراز با استفاده از پرتو لیزر در محیط ایجاد کند که می‌توان از آن در فعالیت‌های عمرانی از جمله ایجاد خطوط مرجع افقی، انتقال کد ارتفاعی یک نقطه (سطح تراز) به دیگر نقاط، کنترل صفحهٔ تراز نقاط و تعیین اختلاف سطوح استفاده کرد. در این پروژه از لیزر قرمز دیودی با طول موج ۶۵۰ نانومتر با توان ۵ میلی‌وات و موتور ۱۲ ولت DC ۵۴۰۰ دور استفاده شده است که پرتو لیزری دارای برد مطلوب حداقل ۱۰۰ متر و سرعت چرخش قابل تنظیم از ۳۰۰ تا ۶۰۰ دور در دقیقه می‌باشد. هدف از ساخت این دستگاه، معرفی سیستمی با قیمت پایین جهت عملیات تراز در فعالیت‌های عمرانی و معدنی است. دستگاه ساخته‌شده در محیط‌های سرپوشیده و روباز تست و بررسی شده است؛ نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که این سیستم می‌تواند سطح لیزری با دقت یک سانتی‌متر در برد ۱۰۰ متر ایجاد کند.

واژگان کلیدی

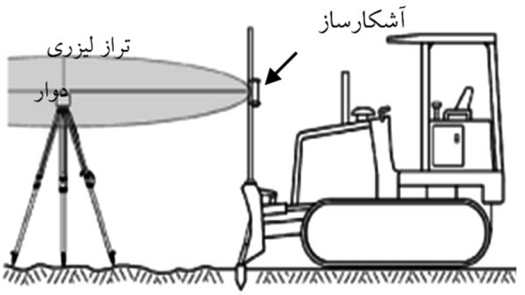
تراز، سطح تراز، آونگ، لیزر، فعالیت‌های عمرانی

۱. مقدمه

بدنهٔ طرح‌های عمرانی به‌واسطهٔ دقت یا وسعت کار معمولاً به نقشه‌برداری دقیق وابسته‌اند. ایجاد شیب مناسب در طرح‌ها و فعالیت‌های عمرانی کاربرد بسیار وسیعی دارد که از جمله می‌توان به جاده و راه‌سازی، محوطه‌سازی، ساختمان‌سازی، پل ، سد، تونل‌سازی و آماده‌کردن زمین‌های کشاورزی جهت آبیاری بهینه اشاره نمود [۱-۳]. برای پیاده‌سازی شیب مورد نظر و یا عملیات تسطیح در اجرای طرح‌ها باید از تجهیزاتی استفاده کرد که دارای دقت بالا باشند. یکی از این ابزارها ترازیاب‌های لیزری است. هدف از به‌کار بردن این تجهیزات جدید عبارت است از به حداقل رساندن خطای انسانی، افزایش چشمگیر سرعت کار، دقت عملیات، اجتناب از دوباره‌کاری و مصرف بی‌مورد مصالح ساختمانی، کاهش هزینه‌های اجرا و نیروی انسانی. از جمله علومی که در این زمینه کاربرد کاملاً مناسبی از لحاظ دقت و سهولت کار دارد، استفاده از سیستم‌های اپتیکی و لیزری است. پرتو لیزر به‌علت دارابودن خواص همدوسی طولی و فضایی مناسب دارای دقت بسیار بالا در فواصل دور می‌باشد [۴]. با

استفاده از سیستم‌های لیزری با طول موج و توان‌های مختلف می‌توان دقت‌های مورد نیاز در عملیات عمرانی را پیاده نمود [۵]. اساس عملکرد ترازیاب‌های لیزری دوار بر پایهٔ انتشار پرتو لیزری کاملاً مسطح حول محور اصلی، به‌صورت صفحهٔ دایره‌ای می‌باشد. از این خاصیت می‌توان جهت تعیین اختلاف سطوح، انتقال کد ارتفاعی یک نقطه (سطح تراز) به دیگر نقاط، کنترل صفحه تراز نقاط و جز این‌ها استفاده نمود. همچنین با استفاده از سیستم گیرندهٔ لیزری مخصوص لات عمرانی (با اتصال آن به بازوی بیل مکانیکی، لودر، اسکریپر) می‌توان کلیهٔ عملیات تسطیح، خاک‌برداری، گودبرداری، محوطه‌سازی را در کوتاه‌ترین زمان ممکن و با بالاترین دقت انجام داد.

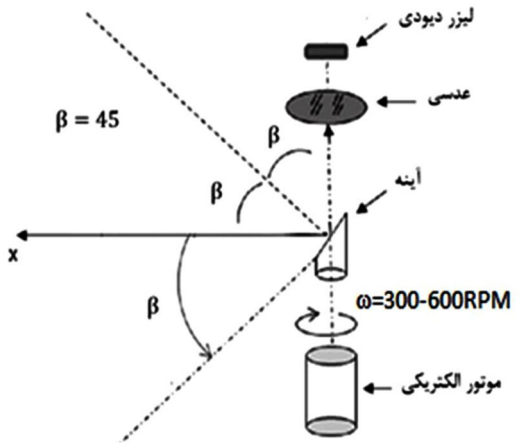
در این مقاله یک سیستم تراز لیزری دوار جهت تولید یک صفحهٔ لیزری معرفی شده است که توضیح آن در بخش‌های بعد آورده شده است. یکی از کاربردهای دستگاه ساخته‌شده، ایجاد سطح تراز لیزری با شیب‌بندی مورد نظر می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۱ نمایش داده شده است، آشکارساز نصب‌شده روی ماشین عمرانی با شناسایی تراز لیزری می‌تواند اطلاعات مربوط به ارتفاع، شیب عرضی و طولی از سطح زمین را در اختیار واحد کنترل دستگاه قرار دهد.



شکل ۱. سیستم تسطیح لیزری

۲.تراز لیزری دوار

تراز لیزری دوار وسیله‌ای است که می‌تواند یک سطح تراز را در فاصله‌ای مشخص از زمین با شیب عرضی و طولی مورد نظر ایجاد نماید. اساس عملکرد دستگاه مطابق شکل ۲ به‌صورتی است که پرتو لیزر توسط آینه متصل به شفت موتور DC به‌گونه‌ای بازتابیده می‌شود که یک باریکهٔ لیزری را در فضا ایجاد نماید. حال با چرخش موتور که باعث دوران آینه حول شفت موتور می‌شود، این پرتو لیزری یک سطح دایره‌ای را در فضا جاروب می‌نماید، به‌طوری‌که در سرعت های بالا از دید انسان این خط پرتو به‌صورت یک سطح پیوسته دیده می‌شود. برای پیاده‌سازی سیستم باید لیزر دیودی، لنز موازی‌ساز و شفت موتور در یک راستا بوده و جهت جلوگیری از خطا در بازتابش، از یک آینه جلو بازتابنده استفاده شود. زاویهٔ سطح آینه با شفت موتور β، زاویهٔ سطح تراز با سطح افق را مشخص می‌کند. به‌طوری‌که اگر β=45 انتخاب گردد، سطح لیزری ایجادشده موازی با سطح افق خواهد بود.



شکل ۲. ساختار سیستم لیزر دوار

۳. طراحی و ساخت دستگاه

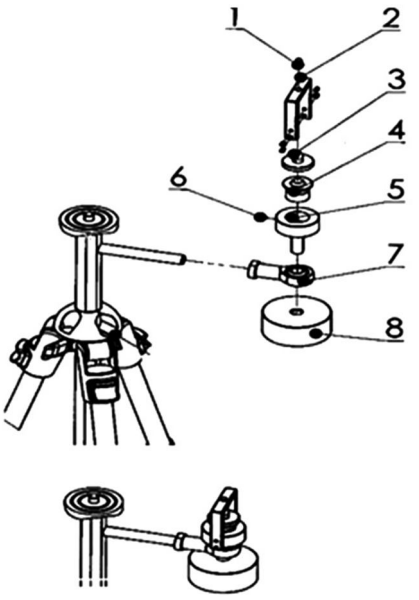
دستگاه تراز لیزری دوار براساس ساختار شکل ۲ طراحی شده و ملاک طراحی بر این اصل استوار است که باید توانایی حمل‌ونقل آسان و در شعاع عملیاتی تا ۱۰۰ متر کارایی بهینه داشته باشد. لذا دارابودن وزن کم و ابعاد کوچک ملاک اصلی برای طراحی دستگاه می‌باشد. جهت پیاده‌سازی تراز لیزری دوار براساس شکل ۲، فریمی مورد نیاز می‌باشد که بتواند قطعات را در وضعیت مناسب آزمایش قرار دهد؛ همچنین برای هم‌راستا نمودن شفت موتور کافی است از سیستم آونگ مکانیکی استفاده شود. در این صورت کل المان‌های سیستم روی محور آونگ قرار گرفته و چون آونگ همواره در راستای شعاع زمین قرار می‌گیرد، پس محور موتور و پرتو لیزر نیز در راستای شعاع زمین خواهد بود. در شکل ۳ نمای انفجاری و اسمبل‌شده از دستگاه مشاهده می‌شود.

۳-۱. اجزای تشکیل‌دهندهٔ دستگاه

در شکل ۳ نمای انفجاری و اسمبل‌شده نمایش داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، دستگاه از المان‌های متنوعی تشکیل شده که جزئیات آن بدین شرح است.

۳-۱-۱. نگه‌دارندهٔ دیود لیزری و عدسی محدب

همان‌گونه که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، جهت نگه‌داری لیزر دیودی و عدسی، قطعه‌ای به‌صورت شکل ۴ به نام نگه‌دارندهٔ دیود لیزری طراحی شده است. این قطعه در شکل ۳ با شماره‌های ۱ و ۲ قابل مشاهده است. با توجه به اینکه هدف طراحی دستگاهی است که در شعاع عملیاتی حدوداً ۱۰۰ متری بتواند کارایی داشته باشد، از یک لیزر دیودی قرمز با توان ۵ میلی‌وات استفاده شده و با تنظیم لنز موازی‌ساز نصب‌شده روی لیزر، واگرایی کمتر از ۱۰ میلی‌متردر فاصلهٔ ۱۰۰ متری حاصل می‌گردد. پایهٔ نگه‌دارندهٔ لیزر براساس قطر بدنهٔ لیزر دیودی طراحی شده و چون قطر بدنهٔ لیزر ۱۲ میلی‌متر است، سوراخ تعبیه‌شده روی پایه، قطر ۱۲ میلی‌متر و ضخامت کناره‌های نگه‌دارنده ۳ میلی‌متر در نظر گرفته شده است. اندازهٔ محفظهٔ داخلی نگه‌دارندهٔ دیود لیزر از روی ابعاد نگه‌دارندهٔ موتور DC، که در داخل آن جاگذاری می‌گردد، مشخص می‌شود. ابعاد نگه‌دارنده موتور در بخش ۳-۱-۲ آورده شده است. لذا قطر محفظهٔ داخلی نگه‌دارندهٔ دیود لیزر در حدود ۳۵ میلی‌متر انتخاب شده است. برای اینکه بتوان نگه‌دارندهٔ موتور را در داخل محفظهٔ نگه‌دارنده لیزر نصب نمود، سوراخی به قطر ۲۰ میلی‌متر و عمق ۱۵ میلی‌متر در کف آن ایجاد شده است.



شکل ۳. نمای انفجاری و اسمبل‌شدهٔ فریم

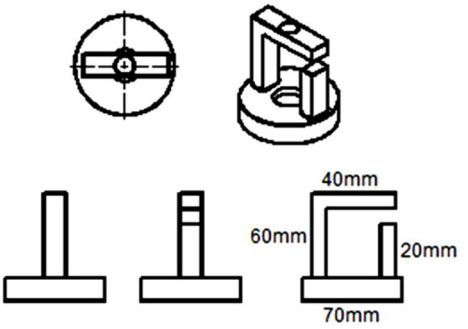
۳-۱-۲. نگه‌دارندهٔ موتور

با توجه به اینکه شفت موتور باید با محور آونگ هم‌راستا شود، نگه‌دارندهٔ موتور مطابق شکل ۵ به‌گونه‌ای طراحی شده است که در امتداد محور آونگ قرار گیرد. این قطعه در شکل ۳ با شماره‌های ۳، ۴ و ۵ قابل مشاهده است. اندازه و شکل داخلی نگه‌دارندهٔ موتور از روی ابعاد موتور و ابعاد خارجی آن از روی اندازهٔ محفظهٔ داخلی نگه‌دارندهٔ لیزر دیودی طراحی شده است. چون قطر موتور ۲۴ و طول آن ۲۲ میلی‌متر بوده و قطر داخلی محفظهٔ نگه‌دارندهٔ دیود لیزر ۳۵ میلی‌متر است، به‌همین منظور شکل و ابعاد داخلی نگه‌دارندهٔ موتور، استوانه‌ای به قطر ۲۴ و عمق ۱۴ میلی‌متر و قطر خارجی آن ۳۲ و طول ۲۰ میلی‌متر انتخاب شده است. هشت میلی‌متر از طول موتور الکتریکی بیرون از نگه‌دارندهٔ موتور قرار دارد.

برای نگه‌داری آینهٔ بازتابندهٔ پرتو لیزر، یک گوهٔ ۴۵ درجه طراحی شده است، که جهت اتصال به شفت موتور الکتریکی یک سوراخ ۱ میلی‌متری در مرکز آن ایجاد شده است. ابعاد این گوه متناسب با ابعاد آینهٔ بازتاب‌کننده انتخاب شده است. چون قطر پرتو لیزر خروجی از دیود لیزر ۵ میلی‌متر است، لذا سطح آینه و درپی آن سطوح گوه ۱۲×۱۰ میلی‌متر مربع انتخاب شده است.

۳-۱-۳. گوی کاسه

برای اینکه سیستم بتواند آزادانه حرکت کند، کل سیستم از طریق یک گوی کاسه مطابق شکل ۶ به پایه متصل می‌شود. این قطعه در شکل ۳ با شمارهٔ ۷ قابل مشاهده است. چون کوچک‌بودن ابعاد دستگاه ملاک طراحی است، از یک گوی کاسه با ابعاد مشخص شده در شکل ۶ استفاده شده است.

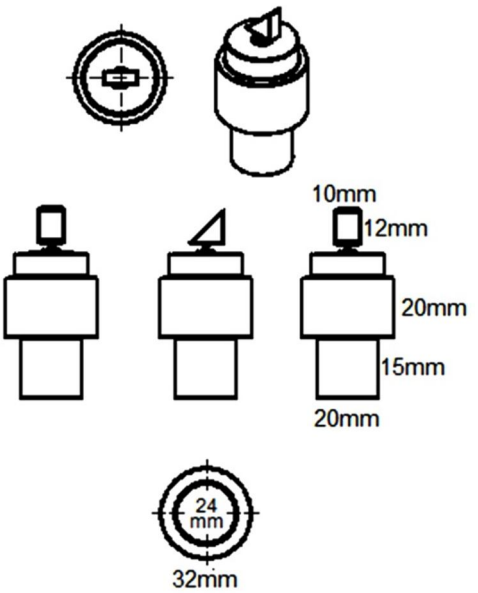


شکل ۴. نگه‌دارندهٔ دیود لیزری از نمای مختلف

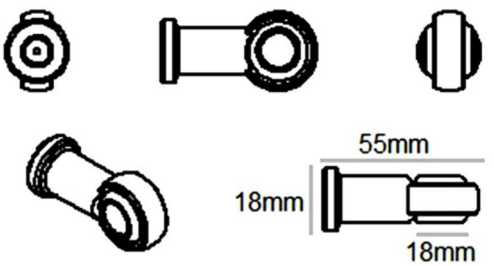
۳-۱-۴. آونگ

کل سیستم زمانی عمود بر راستای افق قرار می‌گیرد که توسط وزنه‌ای به تعادل برسد. لذا طول بازوی آونگ و وزنهٔ تعادل آن به‌گونه‌ای طراحی شده است که بتواند گشتاور کافی برای تعادل

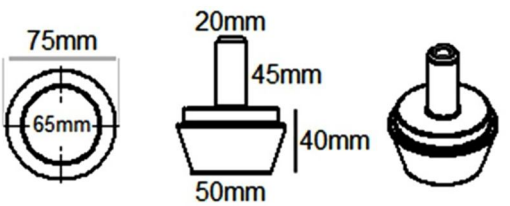
دستگاه در راستای شعاع زمین ایجاد نماید. وزنهٔ مورد استفاده در این سیستم به‌صورت شکل ۷ طراحی شده و این قطعه در شکل ۳ با شمارهٔ ۸ قابل مشاهده است.



شکل ۵. نگه‌دارندهٔ موتور از نمای مختلف



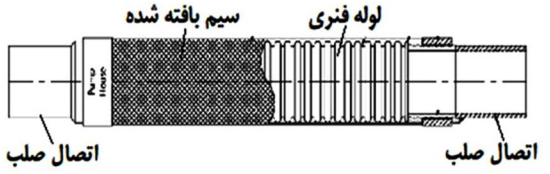
شکل ۶. گوی کاسه از نمای مختلف



شکل ۷. آونگ از نمای مختلف

۳-۱-۵. نوسان‌گیر دوبعدی

با توجه به اینکه در هنگام استفاده از دستگاه ممکن است عوامل خارجی سبب ایجاد نوسانات ناخواسته در آونگ و اعوجاج در سطح تراز لیزری شود، لذا از یک روش جدید برای جذب سریع نوسانات و تسریع در پایدارکردن آونگ استفاده شده است. در این روش به‌جای استفاده از یک بازوی صلب فلزی از یک شیلنگ جاذب ارتعاشات استفاده شده، که تصویر آن در شکل ۸ نمایش شده است.



شکل ۸. ساختار کلی شیلنگ نوسانگیر

۴. روش ساخت

دستگاه تراز لیزری از اجزاء و قطعات متنوعی ساخته شده است که نمای حقیقی اسمبل‌شده آن در شکل ۹ نایش داده شده است. بعضی از قطعات دستگاه به‌صورت آماده تهیه شده و بقیهٔ قطعات طراحی و ساخته شده است. قطعات تهیه‌شده عبارت‌اند از: لیزر دیودی، موتور الکتریکی، گوی کاسه، شیلنگ نوسان‌گیر و سه‌پایه دستگاه. قطعاتی که طراحی و ساخته شده‌اند عبارت‌اند از:

۱. نگه‌دارندهٔ لیزر: از شمش آلومینیوم و با استفاده از دستگاه فرز CNC ساخته شده است
۲. نگه‌دارندهٔ موتور: از جنس ارتالون و با استفاده از دستگاه تراش ساخته شده است
۳. وزنهٔ تعادل: از شمش آلومینیوم و با استفاده از دستگاه تراش ساخته شده است

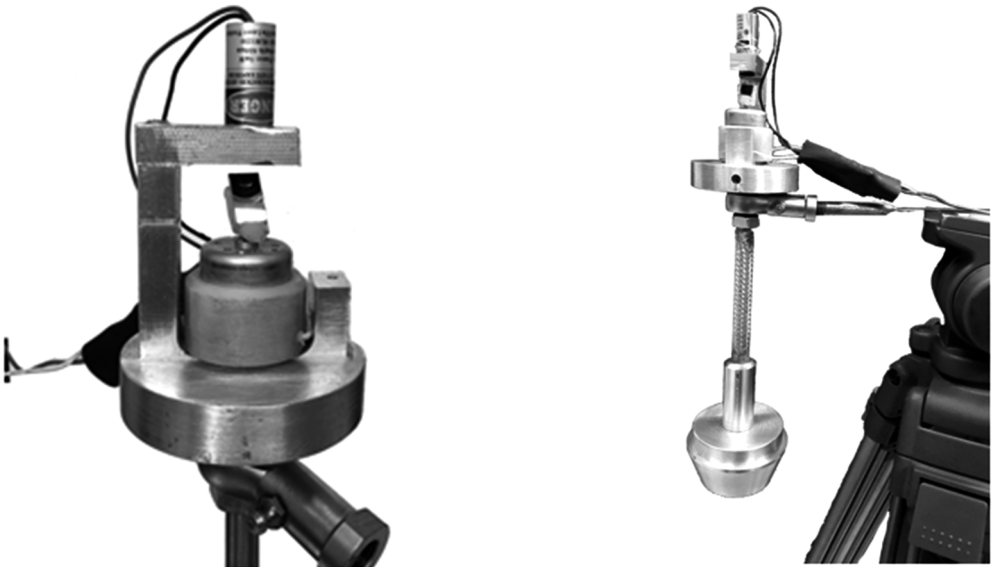
۵. نتایج و بحث

نور لیزر دیودی به‌علت دارا بودن همدوسی فضایی نسبتاً پایی [۶]، پس از طی مسافتی مقداری واگرا شده و توان نور لیزر کاهش می‌یابد و درپی آن برد مفید دستگاه محدود می‌گردد. همچنین به‌دلیل چرخش پرتو لیزر (شکل ۱۰) علاوه بر توان لحظه‌ای باید توان متوسط نیز محاسبه گردد. رابطهٔ ۱ نشان‌دهندهٔ توان متوسط دریافت‌شده توسط گیرنده است.

$$P_{av} = \frac{1}{T}\int_0^{t_0} P(t)dt = \frac{P_0 t_0}{T} \qquad (۱)$$

در رابطهٔ ۱، P_{av} توان متوسط روی توان‌سنج یا گیرنده، $P(t)$ توان لحظه‌ای دریافت‌شده توسط گیرنده، P_0 ماکزیمم توان لیزر بر روی گیرنده، T دوره تناوب چرخش و t_0 مدت زمان عبور پرتو لیزر دوار از مقابل گیرنده می‌باشد. برای آزمایش دقت دستگاه و بررسی شعاع عملیاتی مفید آن از یک توان‌سنج با دقت بالا (با قابلیت اندازه‌گیری توان در حد میکروووات) استفاده شده است.

به‌عنوان نمونه در شکل ۱۱، اندازه‌گیری توان پرتو لیزر دوار از فاصلهٔ یک متری نماژش داده شده است. دستگاه ساخته‌شده در محیط‌های سرپوشیده و روباز در فاصله‌های متفاوت از یک متر تا صد متر مورد آزمایش عملی قرار گرفته است.



شکل ۹. نمای حقیقی دستگاه

جدول ۱. مشخصات دستگاه

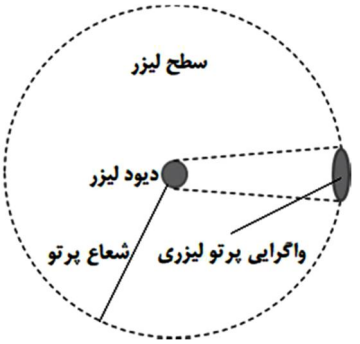
پارامتر	مشخصات
دیود لیزر	650 nm, 5mw
موتور الکتریکی	12 v DC, 5400 RPM
شعاع عملیات	100 m
سرعت چرخش	300-600 RPM
دقت تراز	10 mm @100 m

در شکل ۱۲ نحوهٔ تغییرات توان لیزر دیودی در فواصل مختلف در شرایط بدون چرخش پرتو لیزر نمایش داده شده است. نتایج به‌دست آمده از آزمایش نشان می‌دهد با افزایش فاصله به‌دلیل وجود واگرایی در پرتو لیزر، توان به‌صورت خطی کاهش پیدا می‌کند و در فاصلهٔ ۱۰۰ متری به ۲ میلی‌وات می‌رسد. این عامل سبب محدودیت برد مفید و تعیین شعاع عملکرد مناسب دستگاه می‌شود. در شکل ۱۳ نحوهٔ تغییرات توان متوسط اندازه‌گیری شده توسط توان‌سنج برحسب فاصله نمایش داده شده است. نتایج به‌دست آمده از آزمایش دستگاه در حال دوران نشان می‌دهد، توان در فاصلهٔ ۱۰۰ متری ۸۰ میکروووات می‌باشد و در صورتی‌که گیرندهٔ پرتو لیزری توانایی شناسایی توان ۵۰ میکروووات را داشته باشد، می‌توان نتیجه گرفت برد مفید دستگاه حداقل ۱۰۰ متر با دقت ۱۰ میلی‌متر خواهد بود.

۶. نتیجه‌گیری

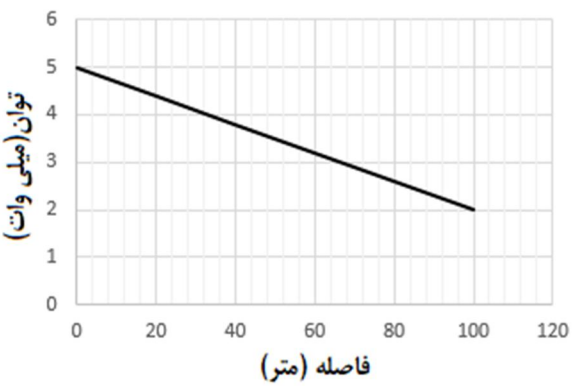
در این مقاله هدف طراحی و ساخت یک دستگاه تراز لیزری دوار دوبعدی با قابلیت میرانمودن سریع ارتعاشات ناخواستهٔ محیطی می‌باشد. این دستگاه از دو قسمت مکانیکی و الکترونیکی تشکیل شده است؛ به‌طوری‌که قسمت الکترونیکی آن قابلیت کار با باتری را دارد و از لیزر دیودی با طول موج ۶۵۰ نانومتر با توان ۵ میلی‌وات و موتور الکتریکی ۱۲ ولت ۵۴۰۰ دور تشکیل شده است. قسمت مکانیکی دستگاه نیز با استفاده از ساختار آونگ، توانایی ایجاد سطح تراز لیزری را ممکن می‌سازد. پرتو لیزری تولیدشده در شعاع عملیاتی ۱۰۰ متر می‌تواند صفحهٔ تراز لیزری را ایجاد نموده و سرعت چرخش آن می‌تواند مابین ۳۰۰ تا ۶۰۰ دور در دقیقه قابل تنظیم باشد. هدف از ساخت این دستگاه معرفی سیستمی با قیمت پایین (در حدود کمتر از ده میلیون ریال) جهت عملیات تراز

در فعالیت‌های عمرانی و معدنی می‌باشد. دستگاه ساخته‌شده در محیط‌های سرپوشیده و روباز مورد تست و بررسی قرار گرفته و نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که این سیستم می‌تواند سطح افقی با دقت ۱۰ میلی‌متر در برد ۱۰۰ متر ایجاد نماید.

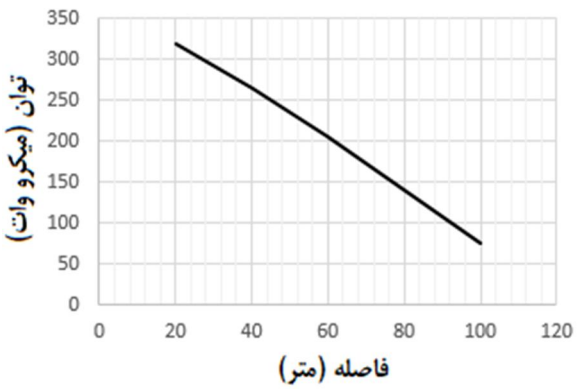


شکل ۱۰. نمای سطح لیزری

شکل ۱۱. نمونهٔ اندازه‌گیری توان لیزر با بازوی صلب



شکل ۱۲. نمودار توان متوسط اندازه‌گیری



شکل ۱۳. نمودار توان متوسط اندازه‌گیری‌شده در حال چرخش

۷. مآخذ

[1] N. Larson, S. Sekhri, R. Sidhu, Adoption of water-saving technology in agriculture: The case of laser levelers, *Water Resources and Economics*, Vol. 14, pp. 44-64, 2016.

[2] Sh. Tahouni, *Bridge design reinforced concret*, 8th Eddition, Tehran University Publication Center, 2006. (in Persian فارسی)

[3] M. Azhari, S. R. Mir Gaderi, *Design of steel* Structures, 5th Edition, Arkan Danesh Publication, 2013. (in Persian فارسی)

[4] W. T. Silfvast, *Laser fundamentals*, Cambridge University press, 2003.

[5] M. Zolfaghari, *Mapping*, 21th Edition, Amir Kabir University of Technology Publication, 2005, (in Persian فارسی)