



۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی برق

گزارش پروژه ابزار دقیق

عنوان پروژه:

سنسورهای فاصله سنج (Ultra-Sonic)

نام و نام خانوادگی دانشجو:

علی اکبر محسن نژاد - ۴۰۰۸۸۷۳

ایمیل: pooyamohsennjad@gmail.com

نام و نام خانوادگی استاد درس:

دکتر بابک توسلی

تاریخ انجام پروژه:

۱۴۰۳/۰۹/۱۱ لغایت ۱۴۰۳/۱۰/۳۰



فهرست مطالب

۱-مقدمه	۳
۲-توضیحاتی در رابطه با سنسور فاصله‌سنج اولتراسونیک	۳
2-1 نحوه عملکرد سنسور فاصله‌سنج اولتراسونیک	۳
2-2 کاربردهای سنسورهای فاصله‌سنج اولتراسونیک	۶
2-3 محدودیت‌ها و روش‌های بهبود عملکرد سنسورهای فاصله‌سنج اولتراسونیک	۷
2-3-1 محدودیت‌ها	۷
2-3-2 روش‌های بهبود عملکرد	۸
3-بخش عملی پیاده سازی اولتراسونیک با آردوینو	۱۰
3-1 تجهیزات مورد نیاز و مدار الکتریکی آن	۱۰
۱-۱-۳ معرفی سنسور HC-SR04	۱۱
2-3-1 مدار الکترونیکی	۱۲
۲-۳ کدنویسی آردوینو	۱۳
۳-۳ آزمایش اول - بررسی عملکرد سنسور در شرایط عادی	۱۸
۳-۳-۱ فاصله ۵ سانتی متر	۲۰
۳-۳-۲ فاصله ۱۵ سانتی متر	۲۱
3-3-3 فاصله ۳۰ سانتی متر	۲۲
4-3 تحلیل آزمایش اول - بررسی عملکرد سنسور در شرایط عادی	۲۳
۵-۳ آزمایش دوم - بررسی عملکرد سنسور در شرایط دما و رطوبت غیر عادی	۲۴
۳-۵-۱ فاصله ۵ سانتی متر	۲۴
3-5-2 فاصله ۱۵ سانتی متر	۲۵
۳-۵-۳ فاصله ۳۰ سانتی متر	۲۶
6-3 تحلیل آزمایش دوم - بررسی عملکرد سنسور در شرایط غیر عادی	۲۷
۷-۳ آزمایش سوم - ارایه راحل برای بهبود عملکرد سنسور در شرایط غیرطبیعی به کمک سنسور DHT22	۲۸
3-7-1 کد آردوینو تغییر یافته	۲۸
3-7-2 فاصله ۵ سانتی متر	۳۱
۳-۷-۳ فاصله ۱۵ سانتی متر	۳۲
3-7-4 فاصله ۳۰ سانتی متر	۳۳
۸-۳ تحلیل آزمایش سوم - ارایه راحل برای بهبود عملکرد سنسور در شرایط غیرطبیعی به کمک DHT22	۳۴
۴-جمع‌بندی	۳۵
5-منابع	۳۶

۱- مقدمه

پروژه حاضر با هدف بررسی عملکرد، دقت و خطای سنسور اولتراسونیک HC-SR04 طراحی شده است. در این پروژه، با استفاده از یک سنسور اولتراسونیک متصل به برد آردوینو، یک ابزار اندازه‌گیری عملی شبیه‌سازی می‌شود. در این راستا، چندین آزمایش عملی در شرایط محیطی مختلف انجام شد تا تأثیر عواملی مانند دما، رطوبت و ویژگی‌های سطح موانع بر دقت اندازه‌گیری بررسی شود. علاوه بر این، با تحلیل داده‌های به‌دست‌آمده، روش‌هایی برای کاهش خطا و بهبود عملکرد این سنسور ارائه شد. این پروژه، شبیه‌سازی عملی عملکرد سنسور را با استفاده از برد آردوینو انجام داده و نتایج آن می‌تواند در طراحی سیستم‌های دقیق اندازه‌گیری مفید باشد.

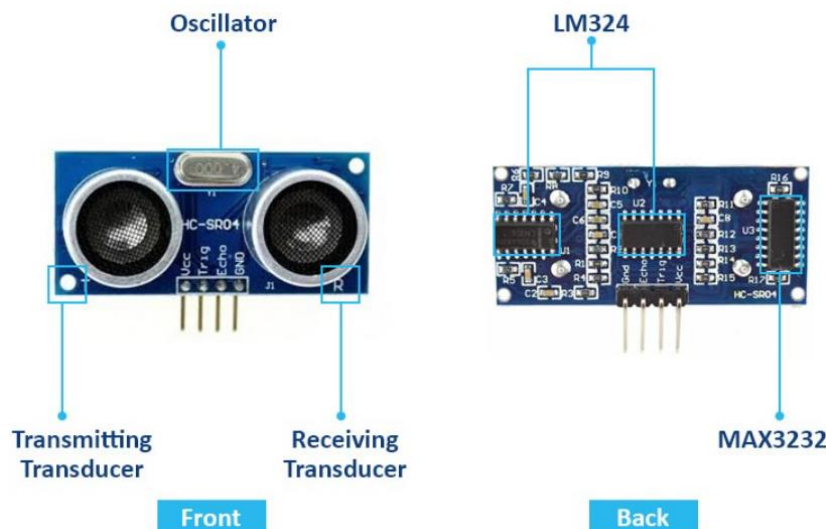
با توجه به اهمیت ابزار دقیق در علوم مهندسی، این پروژه تلاش دارد تا جنبه‌های کیفی و کمی عملکرد سنسور اولتراسونیک را بررسی کند و شرایطی فراهم آورد تا نقاط قوت و محدودیت‌های این فناوری به طور کامل مورد ارزیابی قرار گیرد.

۲- توضیحاتی در رابطه با سنسور فاصله‌سنج اولتراسونیک

در دنیای امروز، فناوری‌های اندازه‌گیری به عنوان یکی از ارکان مهم در طراحی و توسعه سیستم‌های هوشمند شناخته می‌شوند. سنسورهای فاصله‌سنج اولتراسونیک به عنوان ابزاری ساده، کارآمد و مقرون‌به‌صرفه، نقش کلیدی در اندازه‌گیری دقیق فاصله و تشخیص موانع ایفا می‌کنند. این سنسورها که بر اساس امواج صوتی فرکانس بالا کار می‌کنند، در زمینه‌های متنوعی مانند رباتیک، خودروهای هوشمند، صنایع تولیدی، پزشکی و حتی اینترنت اشیا (IoT) کاربرد دارند.

۱-۲ نحوه عملکرد سنسور فاصله‌سنج اولتراسونیک

یک سنسور اولتراسونیک شامل چندین المان ضروری است. این المان‌ها برای اندازه‌گیری فاصله یا شناسایی اشیا با هم همکاری کرده و از امواج صوتی فرکانس بالا استفاده می‌کنند. در مرکز سنسور، یک مبدل وجود دارد که معمولاً از کریستال پیزوالکتریک ساخته شده و می‌تواند امواج اولتراسونیک را ساطع یا دریافت کند.



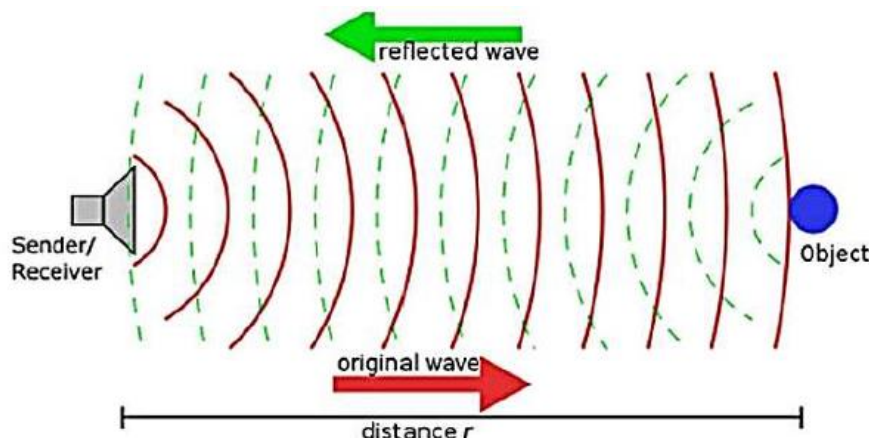
شکل ۱) جزئیات سنسور اولتراسونیک

کار سنسور با فرستنده اولتراسونیک شروع میشود. این فرستنده امواج صوتی فرکانس بالا را به محیط میفرستد. درست راست پشت سنسور اولتراسونیک، سنسور MAX3232 قرار گرفته که سیگنال الکتریکی دریافتی از پایه trig را به پالس اولتراسونیک تبدیل کرده و از طریق فرستنده، ارسال میکند.

این امواج از اشیا موجود در مسیر منعکس شده، توسط گیرنده اولتراسونیک شناسایی میشوند. دو تراشه یا آی سی LM324 موجود در سمت چپ، این پالس اولتراسونیک را به سیگنال الکتریکی تبدیل کرده و به پایه های echo میفرستند. گیرنده، امواج انعکاسی را به سیگنال های الکتریکی تبدیل میکند.

سنسورهای فاصله‌سنج اولتراسونیک بر مبنای ارسال و دریافت امواج صوتی با فرکانس بالا عمل می‌کنند. این امواج که معمولاً در محدوده فرکانس ۴۰ کیلوهرتز قرار دارند (بالتر از محدوده شنوایی انسان)، به وسیله یک مولد صوتی تولید و به محیط ارسال می‌شوند. زمانی که این امواج به مانعی برخورد می‌کنند، بخشی از انرژی صوتی آنها به سمت سنسور بازتاب می‌شود.

عملکرد این سنسور بر اساس اندازه‌گیری دقیق زمان رفت و برگشت امواج صوتی است. سنسور، لحظه‌ای که موج صوتی ارسال می‌شود را ثبت کرده و به طور مداوم محیط را برای دریافت موج بازتابی پایش می‌کند. زمان بین ارسال و دریافت موج که به **زمان رفت و برگشت (Time of Flight)** شناخته می‌شود، اطلاعات لازم برای محاسبه فاصله را فراهم می‌کند.



شکل ۲) نحوه عملکرد سنسور اولتراسونیک

برای محاسبه فاصله، از رابطه‌ای استفاده می‌شود که سرعت صوت در محیط را با زمان رفت و برگشت مرتبط می‌کند. سرعت صوت در هوا معمولاً برابر ۳۴۳ متر بر ثانیه است، اما این مقدار به شرایط محیطی مانند دما و رطوبت وابسته است و ممکن است تغییر کند. با استفاده از فرمول زیر، فاصله D محاسبه می‌شود:

	Distance = Speed x Time
	Time = $\frac{\text{Distance}}{\text{Speed}}$
	Speed = $\frac{\text{Distance}}{\text{Time}}$

$$D = \frac{t \times v}{2}$$

در این فرمول، v سرعت صوت و t زمان رفت و برگشت موج است. مقدار تقسیم بر ۲ به این دلیل انجام می‌شود که زمان رفت و برگشت شامل دو برابر فاصله واقعی است (رفت به مانع و بازگشت به سنسور).

عملکرد سنسور اولتراسونیک به شدت به دقت در اندازه‌گیری زمان و همچنین شرایط محیطی وابسته است. عواملی مانند نویز صوتی، جنس سطح مانع و زاویه برخورد موج با سطح می‌توانند در دقت و کیفیت اندازه‌گیری تأثیر بگذارند. به عنوان مثال، سطوح صاف و عمود بر مسیر امواج، بازتاب بهتری ارائه می‌دهند، در حالی که سطوح ناهموار یا شیب‌دار ممکن است بخشی از موج را به جهات دیگری منعکس کنند.

۲-۲ کاربردهای سنسورهای فاصله‌سنج اولتراسونیک

سنسورهای فاصله‌سنج اولتراسونیک، به دلیل دقت بالا، قابلیت اندازه‌گیری بدون تماس، و عملکرد مستقل از شرایط نوری، در طیف گسترده‌ای از صنایع و فناوری‌ها استفاده می‌شوند. این سنسورها با بهره‌گیری از امواج صوتی فرکانس بالا، قادرند فاصله تا موانع یا سطوح مختلف را به طور دقیق محاسبه کرده و اطلاعات لازم را برای تصمیم‌گیری‌های سیستم‌های کنترلی یا نمایشگرها فراهم کنند.

یکی از رایج‌ترین کاربردهای این سنسورها در **خودروهای هوشمند** و سیستم‌های پارک خودکار است. در این زمینه، سنسورهای اولتراسونیک به عنوان چشم‌های خودرو عمل می‌کنند و با اندازه‌گیری فاصله تا موانع اطراف، به راننده یا سیستم‌های خودکار در جلوگیری از برخورد کمک می‌کنند. این فناوری در خودروهای مدرن معمولاً به صورت مجموعه‌ای از سنسورها در جلو و عقب خودرو نصب می‌شود تا دید کاملی از محیط اطراف فراهم گردد.

در حوزه **رباتیک**، سنسورهای اولتراسونیک برای **تشخیص موانع و ناوبری خودکار** استفاده می‌شوند. این سنسورها به ربات‌ها اجازه می‌دهند که محیط اطراف خود را شناسایی کرده و بر اساس اطلاعات به‌دست‌آمده، مسیر حرکت را تنظیم کنند. ربات‌های خودمختار در صنایع تولیدی، حمل‌ونقل و حتی در مصارف خانگی مانند جاروبرقی‌های رباتیک از این فناوری بهره می‌برند.



شکل ۳) کاربرد سنسور اولتراسونیک در ربات جاروبرقی

یکی دیگر از کاربردهای مهم این سنسورها در **صنایع تولیدی و کنترل کیفیت** است. سنسورهای اولتراسونیک می‌توانند برای اندازه‌گیری فاصله، عمق، یا حتی ضخامت مواد استفاده شوند. به عنوان مثال، در خطوط تولید، این سنسورها می‌توانند موقعیت دقیق قطعات را تشخیص داده و به تجهیزات کنترلی اطلاع دهند تا عملیات مورد نیاز به‌درستی انجام شود.

در **اندازه‌گیری سطح مایعات و مواد جامد**، این سنسورها جایگزینی مناسب برای روش‌های سنتی محسوب می‌شوند. با نصب یک سنسور اولتراسونیک در بالای مخازن، می‌توان ارتفاع مایع یا ماده درون مخزن را بدون تماس با آن اندازه‌گیری کرد.

این روش به‌ویژه در صنایع شیمیایی، غذایی، و دارویی که تماس مستقیم با مواد ممکن است خطرناک یا غیر بهداشتی باشد، بسیار مفید است.

در حوزه پزشکی و سلامت، سنسورهای اولتراسونیک برای تجهیزات تصویربرداری پزشکی مانند سونوگرافی استفاده می‌شوند. هرچند این کاربرد نیازمند فناوری پیچیده‌تری است، اصول عملکرد مشابهی در تولید و دریافت امواج صوتی و تحلیل بازتاب‌ها وجود دارد.

در فناوری‌های مدرن اینترنت اشیا (IoT)، سنسورهای اولتراسونیک برای جمع‌آوری داده‌های محیطی و کنترل خودکار سیستم‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. به عنوان مثال، در سیستم‌های هوشمند مدیریت ترافیک، این سنسورها می‌توانند تعداد خودروها را در یک مسیر مشخص شمارش کرده و اطلاعات را به سرورهای مرکزی ارسال کنند.

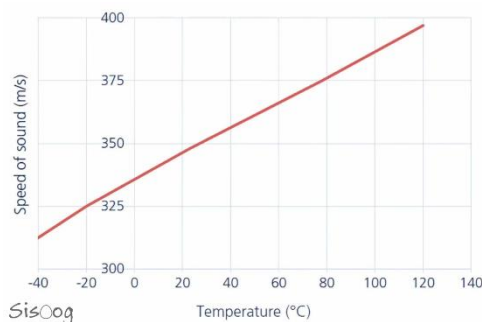
مزایای کلیدی سنسورهای اولتراسونیک، مانند قابلیت اندازه‌گیری دقیق در شرایط نوری مختلف، سازگاری با محیط‌های صنعتی و هزینه پایین، آن‌ها را به یکی از ابزارهای ضروری در علوم و فناوری تبدیل کرده است. این گستردگی کاربردها نشان‌دهنده پتانسیل بالای این فناوری در طراحی و توسعه سیستم‌های هوشمند است.

۳-۲ محدودیت‌ها و روش‌های بهبود عملکرد سنسورهای فاصله‌سنج اولتراسونیک

سنسورهای اولتراسونیک به دلیل ویژگی‌های منحصربه‌فرد خود، ابزاری کاربردی در اندازه‌گیری فاصله هستند. با این حال، عملکرد آن‌ها تحت تأثیر عوامل محیطی و طراحی قرار می‌گیرد. آگاهی از این محدودیت‌ها و به‌کارگیری روش‌های بهبود می‌تواند دقت و کارایی آن‌ها را افزایش دهد.

۳-۲-۱ محدودیت‌ها

حساسیت به شرایط محیطی: سرعت صوت در هوا وابسته به دما، رطوبت و فشار است. این تغییرات می‌توانند خطاهایی در اندازه‌گیری ایجاد کنند.



شکل ۴) نمودار تقریبی بین سرعت صوت و دما در رطوبت و فشار ثابت

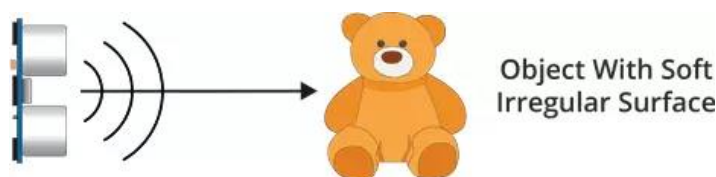
نویز محیطی، به‌ویژه در فرکانس‌هایی مشابه امواج اولتراسونیک، می‌تواند باعث اختلال در دریافت سیگنال بازتابی شود.

زاویه و جنس سطح مانع: برای بازتاب مناسب، امواج باید با زاویه‌ای نزدیک به عمود به سطح مانع برخورد کنند. سطوح شیب‌دار یا ناهموار ممکن است امواج را به جهات دیگری منعکس کنند، که باعث عدم دریافت سیگنال بازتابی توسط سنسور می‌شود.



شکل ۵) تاثیر زاویه قرار گیری سنسور با سطح

جنس مانع نیز اهمیت دارد. سطوح نرم یا جاذب صوت (مانند پارچه یا فوم) ممکن است بخش زیادی از انرژی صوتی را جذب کنند، که باعث کاهش شدت بازتاب می‌شود.



شکل ۶) تاثیر سطح نرم و نامنظم مانند عروسک در دقت سنسور

محدوده اندازه‌گیری: سنسورهای اولتراسونیک برای محدوده مشخصی طراحی شده‌اند. در فاصله‌های بسیار نزدیک یا بسیار دور، ممکن است دقت اندازه‌گیری کاهش یابد یا سنسور نتواند فاصله را تشخیص دهد.

تداخل امواج: در محیط‌هایی که چندین سنسور اولتراسونیک به طور همزمان فعال هستند، ممکن است امواج ارسال شده توسط یک سنسور، با امواج بازتابی سنسور دیگر تداخل پیدا کند، که منجر به نتایج نادرست می‌شود.

۲-۳-۲ روش‌های بهبود عملکرد

جبران‌سازی شرایط محیطی: استفاده از سنسورهای دما و رطوبت برای تصحیح سرعت صوت بر اساس شرایط محیطی می‌تواند دقت اندازه‌گیری را بهبود بخشد. این داده‌ها می‌توانند به صورت بلادرنگ در محاسبات سنسور اعمال شوند.

بهبود طراحی مکانیکی: استفاده از مکانیزم‌هایی که زاویه برخورد امواج را به طور خودکار تنظیم می‌کنند (مانند هدایت‌کننده‌های صوتی) می‌تواند بازتاب مناسب‌تری ایجاد کند.

در محیط‌هایی با سطوح جاذب صوت، استفاده از تقویت‌کننده‌های صوتی یا چندین سنسور برای جمع‌آوری داده‌های مکمل، کارایی را افزایش می‌دهد.

کاهش نویز و تداخل: طراحی سیستم‌های ضدنویز (Noise Filtering) در مدار دریافت سیگنال می‌تواند اثر امواج ناخواسته را کاهش دهد.

در محیط‌هایی با چند سنسور اولتراسونیک، استفاده از کدگذاری زمانی یا فرکانسی برای ارسال امواج هر سنسور به‌طور منحصربه‌فرد، از تداخل جلوگیری می‌کند.

افزایش دقت در اندازه‌گیری زمان: استفاده از تایمرهای دقیق‌تر در پردازنده یا آردوینو می‌تواند زمان رفت و برگشت امواج را با دقت بیشتری اندازه‌گیری کند.

سیگنال‌های بازتابی ضعیف می‌توانند به اشتباه شناسایی شوند؛ بنابراین، تقویت‌کننده‌های مناسب و فیلترهای پیشرفته برای حذف بازتاب‌های نامطلوب بسیار موثر هستند.

کالیبراسیون دقیق: کالیبراسیون سنسور در شرایط آزمایشگاهی و تنظیم پارامترهای آن بر اساس محیط کاری واقعی می‌تواند خطاهای سیستماتیک را کاهش دهد.

استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته: به‌کارگیری الگوریتم‌های پردازش سیگنال، مانند روش‌های یادگیری ماشین یا فیلتر کالمن، می‌تواند نتایج اندازه‌گیری را در حضور نویز و بازتاب‌های چندگانه بهبود بخشد.

۳- بخش عملی پیاده سازی اولتراسونیک با آردوینو

در این بخش، نحوه استفاده از سنسور اولتراسونیک برای اندازه گیری فاصله با آردوینو شرح داده می شود. این پروژه شامل اتصال سخت افزاری، برنامه نویسی آردوینو، جمع آوری داده ها، و تحلیل خطا، دقت و رزولوشن است. برای این کار از سنسور رایج **HC-SR04** استفاده می کنیم.

۱-۳ تجهیزات مورد نیاز و مدار الکتریکی آن

- برد آردوینو UNO یا هر مدل دیگر
- سنسور اولتراسونیک HC-SR04
- کابل های اتصال (Jumper Wires)
- برد مورد (Breadboard)
- نمایشگر OLED ، برای نمایش فاصله
- کامپیوتر با نرم افزار Arduino IDE



۳-۱-۱ معرفی سنسور HC-SR04



شکل ۷) پین‌های سنسور SR04

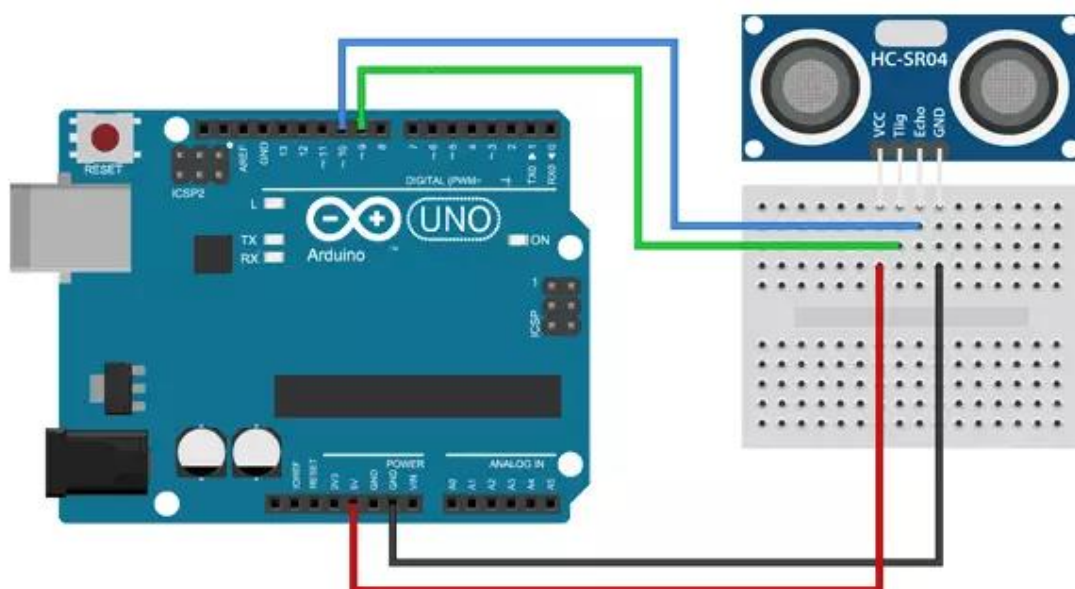
- **VCC:** تغذیه (5V)
- **GND:** زمین
- **TRIG:** ارسال پالس صوتی
- **ECHO:** دریافت پالس بازتابی

نحوه عملکرد: با ارسال یک پالس ۱۰ میکروثانیه‌ای از طریق پین TRIG، سنسور شروع به تولید امواج صوتی می‌کند. پس از برخورد به مانع و بازتاب، این امواج از طریق پین ECHO به آردوینو بازگردانده می‌شوند.

ولتاژ کاری	DC 5V
جریان کاری	15mA
فرکانس کاری	40KHz
ماکزیمم رنج فاصله سنجی	4m
مینیمم رنج فاصله سنجی	2cm
دقت فاصله سنجی	3mm
زاویه اندازه گیری	15degree
سیگنال ورودی تریگر	10μS TTL pulse
ابعاد	45x20x15mm

شکل ۸) جدول مشخصات فنی سنسور SR04

۳-۱-۲ مدار الکترونیکی



شکل ۹) سیم‌کشی - راه اندازی سنسور آلتراسونیک SR04 با آردوینو

پین **VCC** سنسور به پین **5V** آردوینو متصل شود.

پین **GND** سنسور به پین **GND** آردوینو متصل شود.

پین **TRIG** سنسور به یکی از پین‌های دیجیتال آردوینو مثلاً **D9** متصل شود.

پین **ECHO** سنسور به یکی دیگر از پین‌های دیجیتال آردوینو مثلاً **D10** متصل شود.

۲-۳ کدنویسی آردوینو

این کد به زبان آردوینو برای راه‌اندازی یک سنسور اولتراسونیک نوشته شده و مقادیر فاصله را محاسبه و نمایش می‌دهد. علاوه بر این، فاصله اندازه‌گیری شده و میانگین فاصله‌ها را روی نمایشگر **OLED** و مانیتور سریال نشان می‌دهد. کد را بخش به بخش توضیح می‌دهیم:

بخش کتابخانه‌ها

```
1 #include <SPI.h>
2 #include <Wire.h>
3 #include <Adafruit_GFX.h>
4 #include <Adafruit_SSD1306.h>
5
```

SPI و **Wire** برای ارتباط با ماژول‌ها از طریق پروتکل‌های **SPI** و **I2C** استفاده می‌شود.

Adafruit_GFX: کتابخانه گرافیکی برای رسم متن و اشکال بر روی نمایشگر **OLED**.

Adafruit_SSD1306: کتابخانه مختص نمایشگرهای **OLED** مبتنی بر درایور **SSD1306**.

تعریف پین‌ها و اشیاء

```
6 #define trig A3
7 #define echo A2
8 |
9 Adafruit_SSD1306 display(-1);
```

trig و **echo** پین‌های مورد استفاده برای فرستنده و گیرنده سنسور اولتراسونیک.

Adafruit_SSD1306 display(-1) شیء مربوط به نمایشگر OLED مقدار 1- نشان می‌دهد که از پین مربوط به reset استفاده نمی‌کنیم.

تابع setup

```

11 void setup()
12 {
13
14 //----- for display-----begin
15   display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C);
16   display.clearDisplay();
17   display.setTextColor(WHITE);
18 //----- for display-----end
19
20 //Ultrasonic
21   pinMode(trig, OUTPUT);
22   pinMode(echo, INPUT);
23
24 //serial begin
25   Serial.begin(9600);
26 }
```

نمایشگر: OLED

display.begin: راه‌اندازی نمایشگر با آدرس I2C 0x3C0x3C.

clearDisplay: پاک کردن محتوای نمایشگر.

setTextColor: تعیین رنگ متن (سفید).

سنسور اولتراسونیک:

pinMode(trig, OUTPUT) تنظیم پین trig به عنوان خروجی.

pinMode(echo, INPUT) تنظیم پین echo به عنوان ورودی.

مانیتور سریال:

Serial.begin(9600) آغاز ارتباط سریال با نرخ ۹۶۰۰.

تابع loop

```

28 void loop() {
29
30     float d=dis_once();
31     delay(50);
32     float md=dis_mean();
33     show_oled(d,md,1000);
34     show_monitor(d,md);
35     delay(2000);
36
37 }

```

اندازه‌گیری فاصله:

dis_once: فاصله لحظه‌ای اندازه‌گیری می‌شود.

dis_mean: میانگین چند اندازه‌گیری محاسبه می‌شود.

نمایش مقادیر:

show_oled: مقادیر فاصله و میانگین فاصله روی OLED نمایش داده می‌شود.

show_monitor: مقادیر روی مانیتور سریال چاپ می‌شوند.

تابع dis_once

```

38 //for callucate distance (once)
39 float dis_once() {
40
41     digitalWrite(trig, LOW);
42     delayMicroseconds(2);
43     digitalWrite(trig, HIGH);
44     delayMicroseconds(10);
45     digitalWrite(trig, LOW);
46
47     float duration = pulseIn(echo, HIGH, 30000); //max 30ms
48     if(duration==0 || duration>30000) return -1; //error
49
50     float dis= duration*0.034/2;
51     return dis;
52 }

```


فعال سازی سنسور:

trig ابتدا به مدت ۲ میکروثانیه در حالت LOW و سپس به مدت ۱۰ میکروثانیه در حالت HIGH قرار می گیرد تا پالس التراسونیک ارسال شود.

دریافت پاسخ:

pulseIn(echo, HIGH, 30000);:: مدت زمان پالس HIGH برگشتی را اندازه گیری می کند. محدودیت زمانی 30ms30ms تعریف شده است.

محاسبه فاصله:

فرمول فاصله: $distance = duration \times 0.034 / 2$

تابع dis_mean

```

53 //for calculate means distance
54 float dis_mean()
55 {
56   float total=0.0;
57   const int numberOfSamples=5;
58   int cnt=0;
59   while (cnt<numberOfSamples)
60   {
61     float d=dis_once();
62     if (d>=0)
63     {
64       total+=d;
65       cnt++;
66     }
67     delay(50);
68   }
69
70   float mean=total/(float)cnt;
71   return mean;
72 }
```

اندازه گیری چندگانه 5: بار فاصله اندازه گیری می شود.

محاسبه میانگین: مقادیر معتبر (بزرگتر از صفر) جمع و میانگین محاسبه می شود.

تابع show_oled

```

75 void show_oled(float x,float mean_x,int t)
76 {
77     display.clearDisplay();
78     display.setCursor(0,0);
79     display.setTextSize(1);
80     display.println("dist:\n");
81     display.setTextSize(2);
82     display.print(x);
83     display.setTextSize(1);
84     display.println("cm\n");
85
86     display.setTextSize(1);
87     display.println("mean dist:\n");
88     display.setTextSize(2);
89     display.print(mean_x);
90     display.setTextSize(1);
91     display.print("cm");
92     display.display();
93     delay(t);
94 }

```

نمایش مقدار فاصله و میانگین فاصله با قالب بندی مختلف روی نمایشگر OLED.

تابع show_monitor

```

97 void show_monitor(float x,float mean_x)
98 {
99     Serial.print("distance is:");
100     Serial.print(x);
101     Serial.print(", mean distance is:");
102     Serial.print(mean_x);
103     Serial.println("cm");
104 }

```

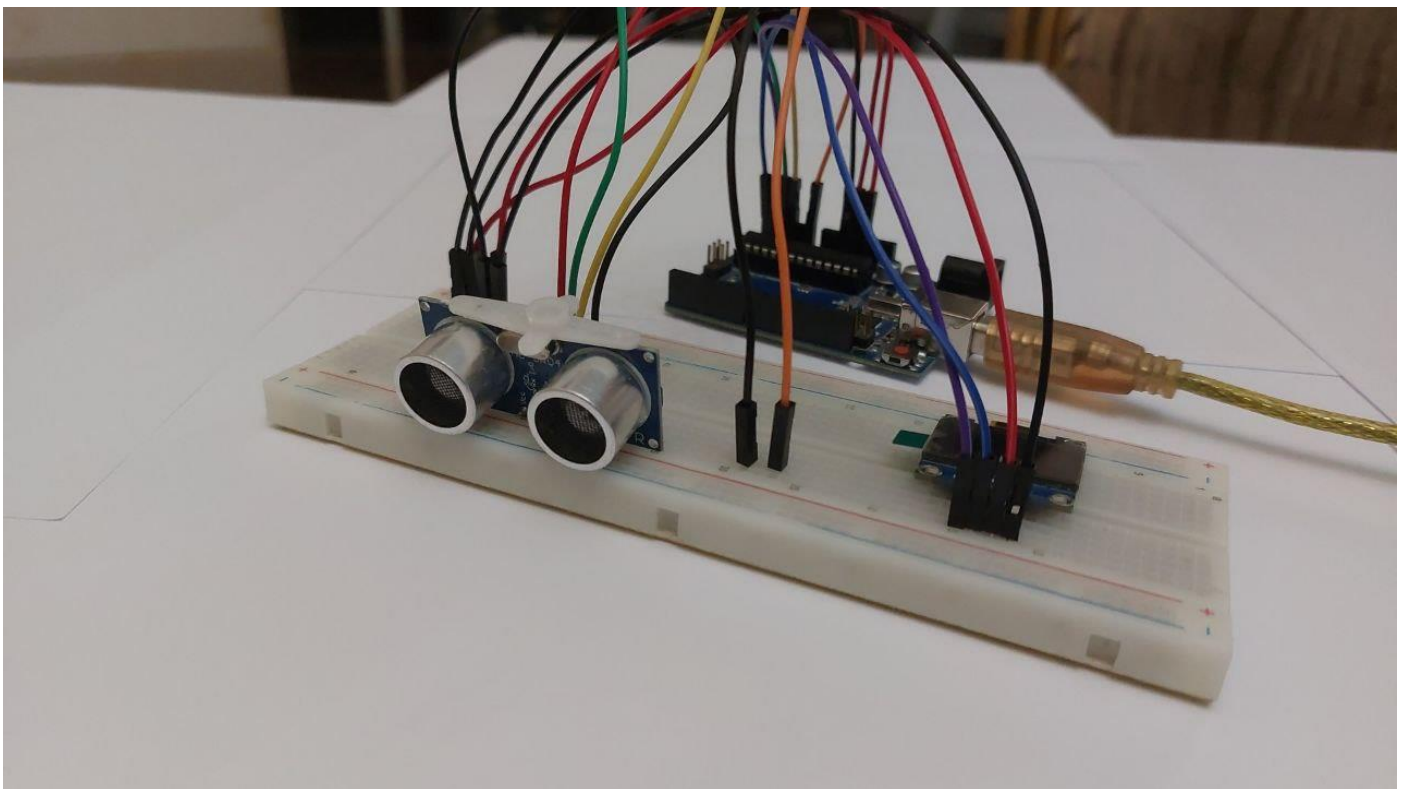
چاپ مقادیر فاصله و میانگین فاصله روی مانیتور سریال.

خلاصه عملکرد کلی

- سنسور اولتراسونیک فاصله را اندازه گیری می کند.
- میانگین چند اندازه گیری محاسبه می شود.
- مقادیر روی نمایشگر OLED و مانیتور سریال نمایش داده می شود.

۳-۳ آزمایش اول - بررسی عملکرد سنسور در شرایط عادی

در این آزمایش عملکرد سنسور در شرایط عادی، دما و فشار و رطوبت اتاق در سه مختصات مختلف انجام می شود:



مدار را به صورت تصویر بالا و با توجه به توضیحات ذکر شده در قسمت های قبلی می بندیم و برد را به کمک نرم افزار آردوینو پروگرام می کنیم.

در این صورت با گذاشتن مانع بر سر سنسور هر دو ثانیه یکبار، دو مقدار بر روی اولد نمایش داده میشود که شامل:

(۱) Distance: فاصله جسم با سنسور

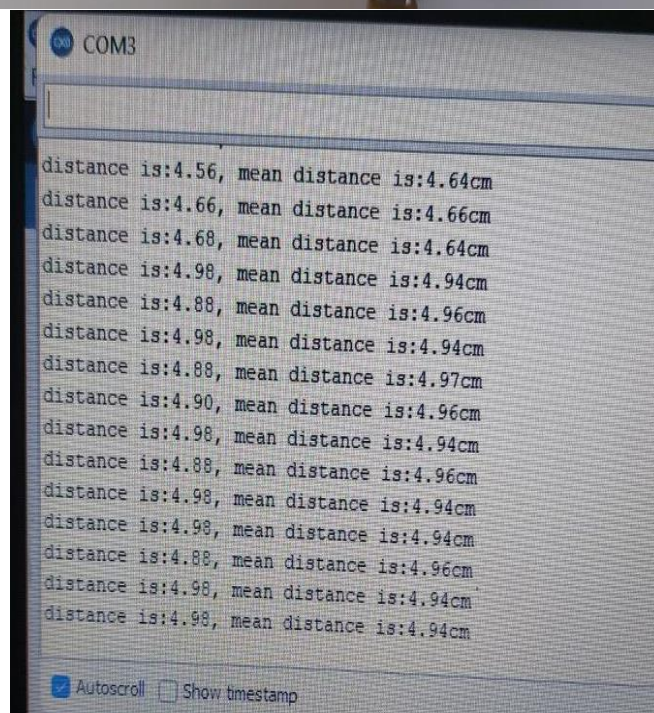
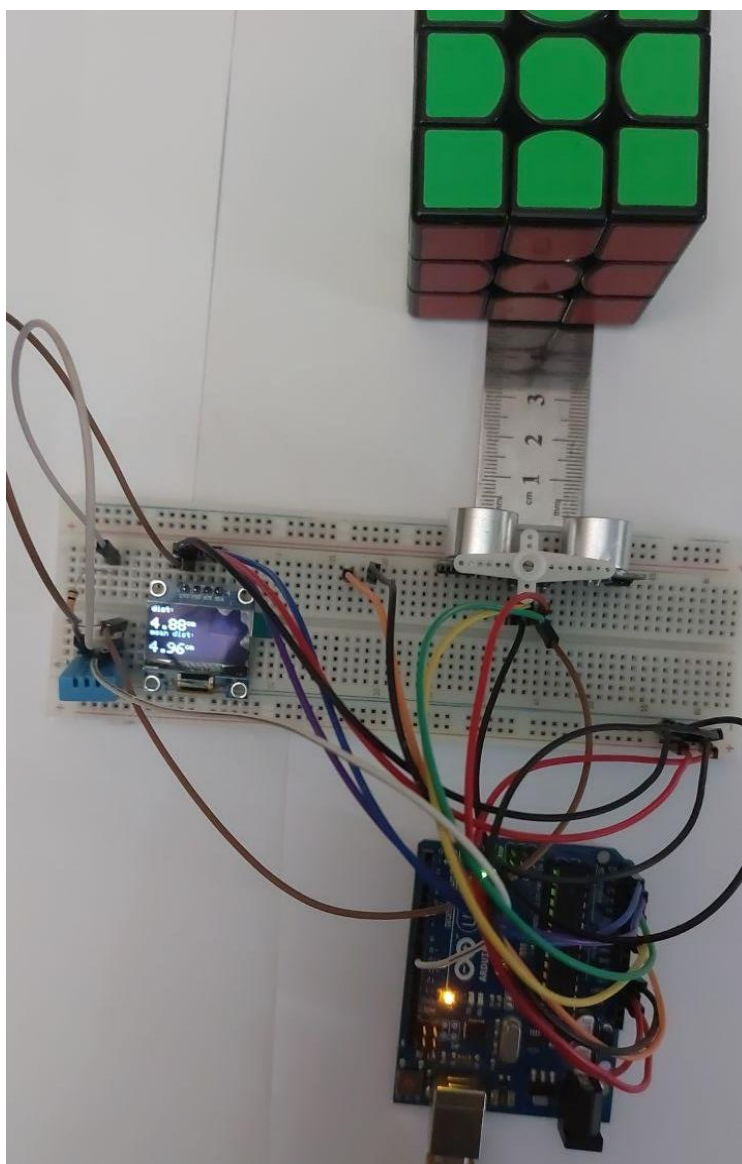
(۲) Average Distance: میانگین فاصله پنج مقدار اندازه گیری شده جسم با سنسور

است و در ادامه نمونه هایی از خروجی های اندازه گیری شده در سه مختصات ۵ و ۱۵ و ۳۰ سانتی متر در دو بخش مختلف نمایش داده میشود:

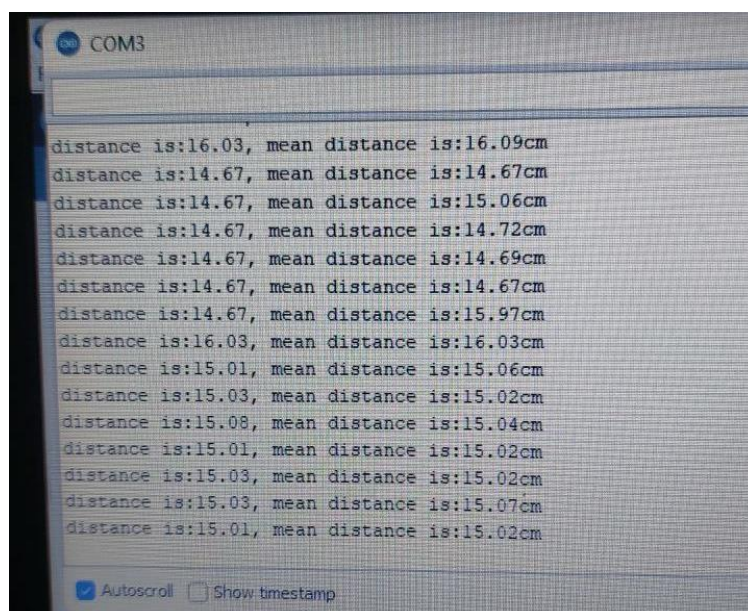
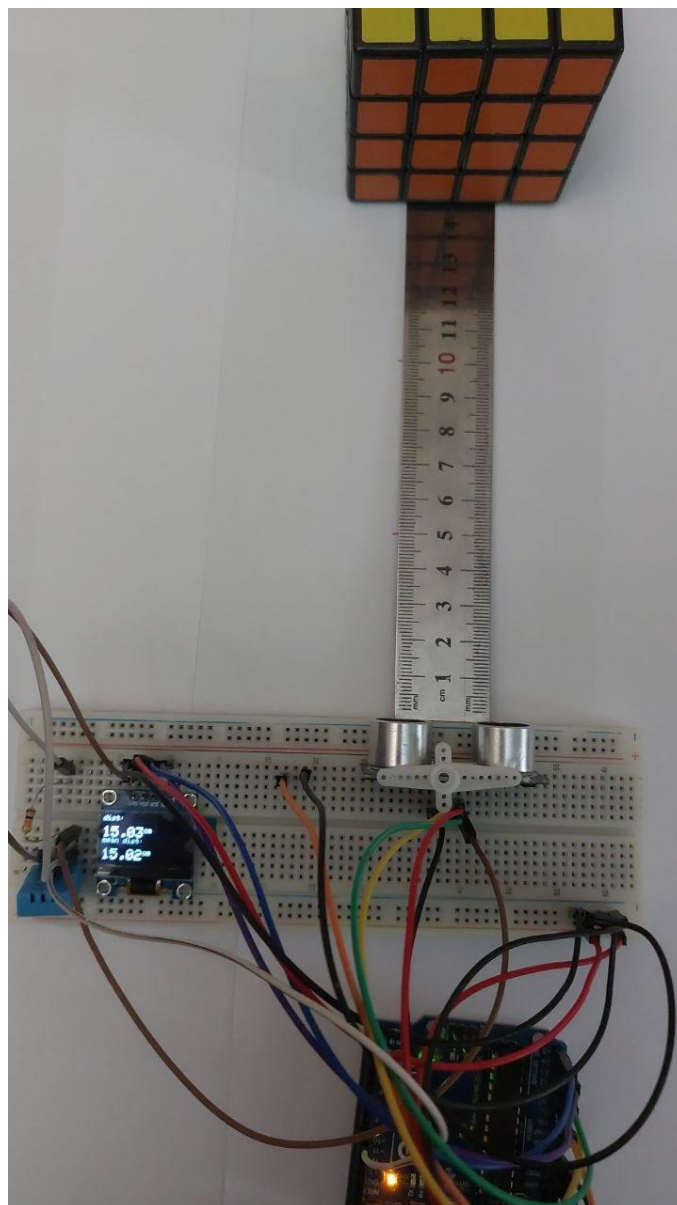
(۱) بر روی OLED (۲) بر روی سریال مانیتور

- قابل ذکر است تصاویر قرار داده شده از این جهت حرفه ای و استاندارد نیست که نماینده عملی بودن پروژه توسط شخص دانشجو باشد.

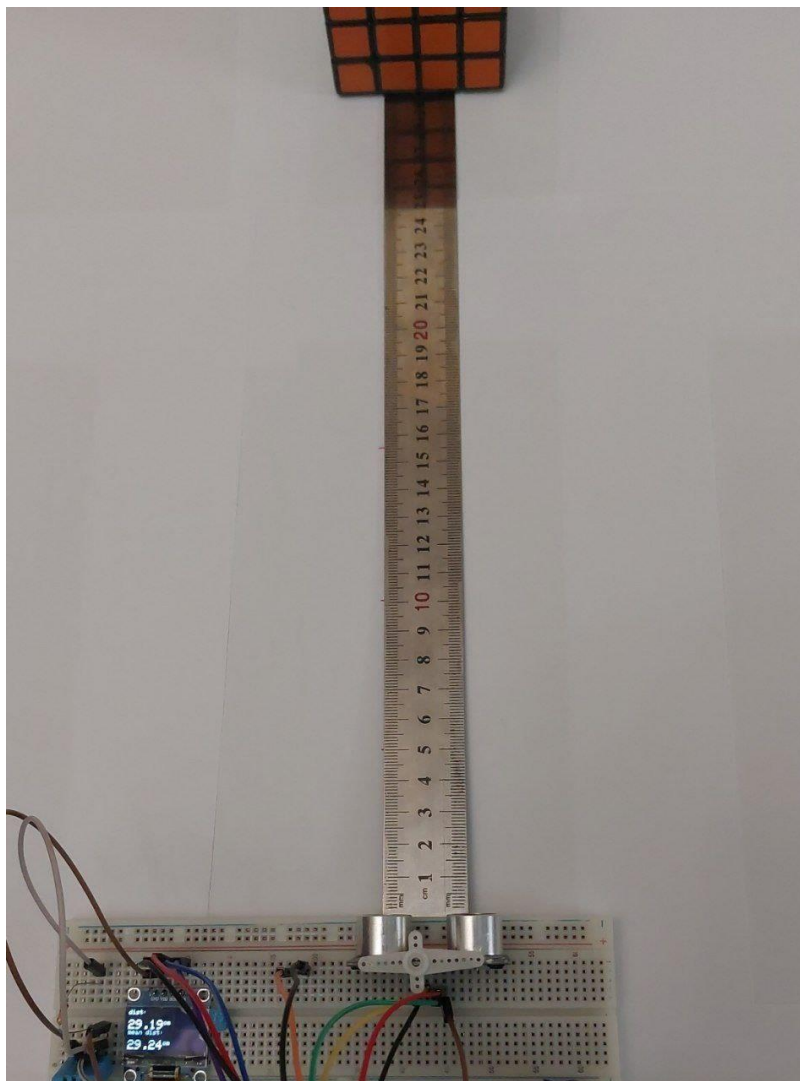
۳-۱-۳ فاصله ۵ سانتی متر



۳-۲-۳ فاصله ۱۵ سانتی متر



۳-۳-۳ فاصله ۳۰ سانتی متر



```
distance is:28.92, mean distance is:28.95cm
distance is:29.02, mean distance is:28.99cm
distance is:29.44, mean distance is:29.26cm
distance is:28.63, mean distance is:29.36cm
distance is:29.46, mean distance is:29.31cm
distance is:28.44, mean distance is:29.22cm
distance is:29.19, mean distance is:29.24cm
distance is:29.19, mean distance is:29.23cm
distance is:29.29, mean distance is:29.24cm
distance is:29.21, mean distance is:29.22cm
distance is:29.31, mean distance is:29.22cm
distance is:29.21, mean distance is:29.24cm
distance is:29.19, mean distance is:29.24cm
distance is:29.31, mean distance is:29.21cm
distance is:29.31, mean distance is:29.22cm
```

☒ Autoscroll ☐ Show timestamp

Serial Monitor - (trig, HIGH);

۳-۴ تحلیل آزمایش اول - بررسی عملکرد سنسور در شرایط عادی

در ادامه فایل اکسلی آماده کردیم که طبق فرمول های زیر مقادیر Error و Reading accuracy % را طبق نمونه خروجی های سه مختصات ۵ و ۱۵ و ۳۰ سانتی متر محاسبه کرده و در جدول ارایه شده برای تحلیل بهتر جایگذاری می کنیم:

$$\text{Error} = \text{abs}[\text{Reading} - X(\text{distance})]$$

$$\% \text{Reading accuracy} = \max\left(\frac{\text{error}}{\text{Reading}}\right) \times 100$$

Reading (cm)	distance (cm)	Error (cm)	Reading accuracy (%)	avgrage distance (cm)	Error (cm)	Reading accuracy (%)
5	4.88	0.12	2.4	4.96	0.04	0.8
15	15.03	0.03	0.2	15.02	0.02	0.133333333
30	29.19	0.81	2.7	29.24	0.76	2.533333333

با توجه به اعداد بدست آمده از محاسبات انجام شده در اکسل، متوجه می شویم که مقدار خطای بدست آمده از روش میانگین فواصل (روش دومش) کمتر از مقدار خطای بدست آمده از اندازه گیری عادی (روش اول) است و در نتیجه مقدار Reading accuracy روش دوم نیز کمتر از روش اول بدست آمده و می توان نتیجه گرفت که:

زمانی که میانگین فواصل در یک بازه زمانی به عنوان خروجی محاسبه می شود، ابزار اندازه گیری (سنسور اولتراسونیک) دقت بیشتری خواهد داشت.

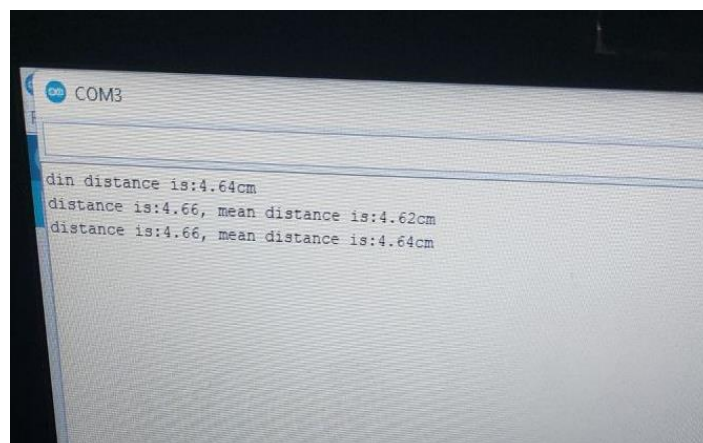
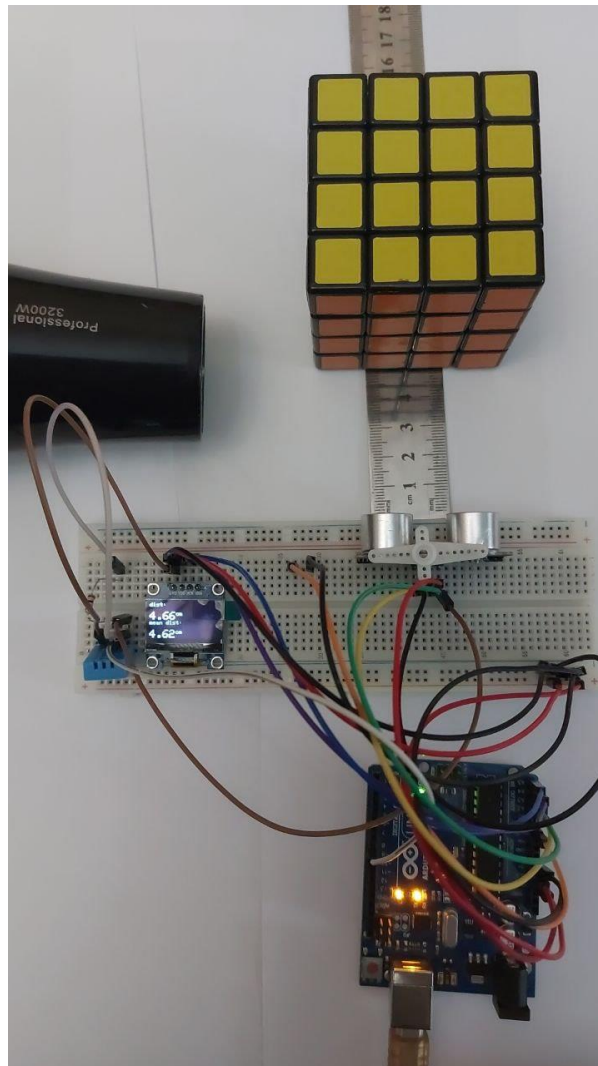
از طرفی قابل شهود است که با افزایش فاصله جسم از سنسور خطای اندازه گیری در هر دو روش افزایش یافته و دقت ابزار کاهش میابد.

۵-۳ آزمایش دوم – بررسی عملکرد سنسور در شرایط دما و رطوبت غیر عادی

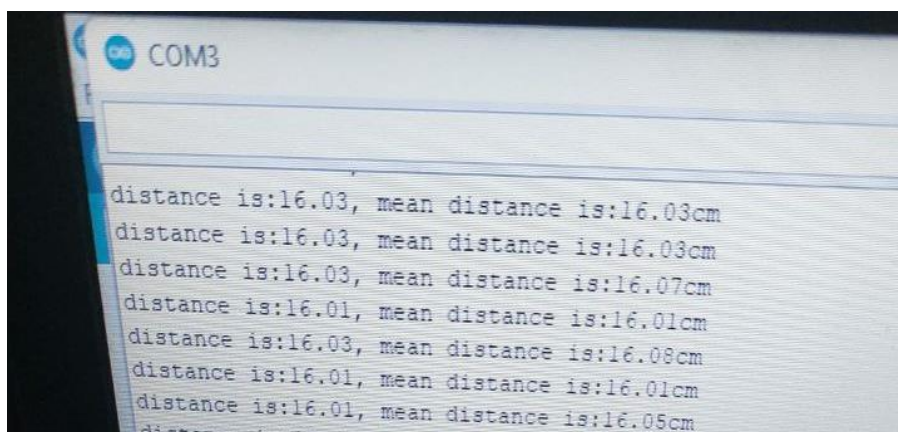
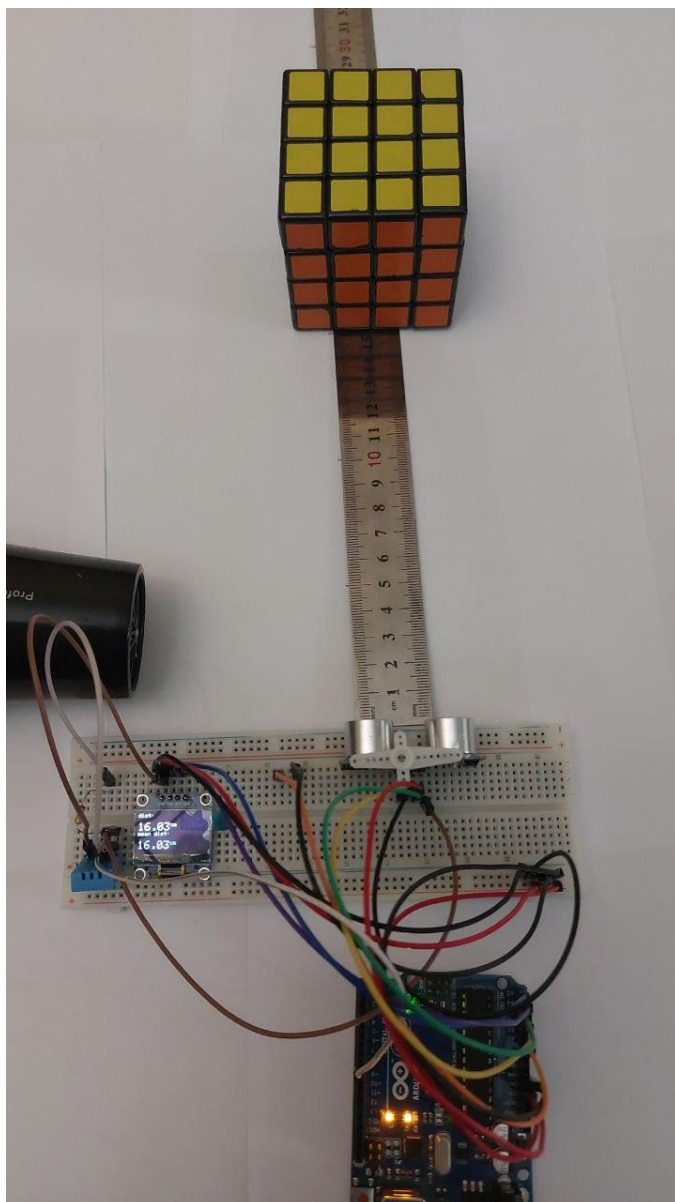
بدین منظور برای شبیه سازی یک محیط با دما و رطوبت فشار متفاوت با محیط از یک سشوار استفاده کردیم تا تاثیر تغییر دما، فشار و رطوبت را بر دقت سنسور اولتراسونیک بررسی کنیم.

لذا به مانند آزمایش اول سنسور را در این شرایط غیر عادی در سه مختصات ذکر شده بررسی میکنیم:

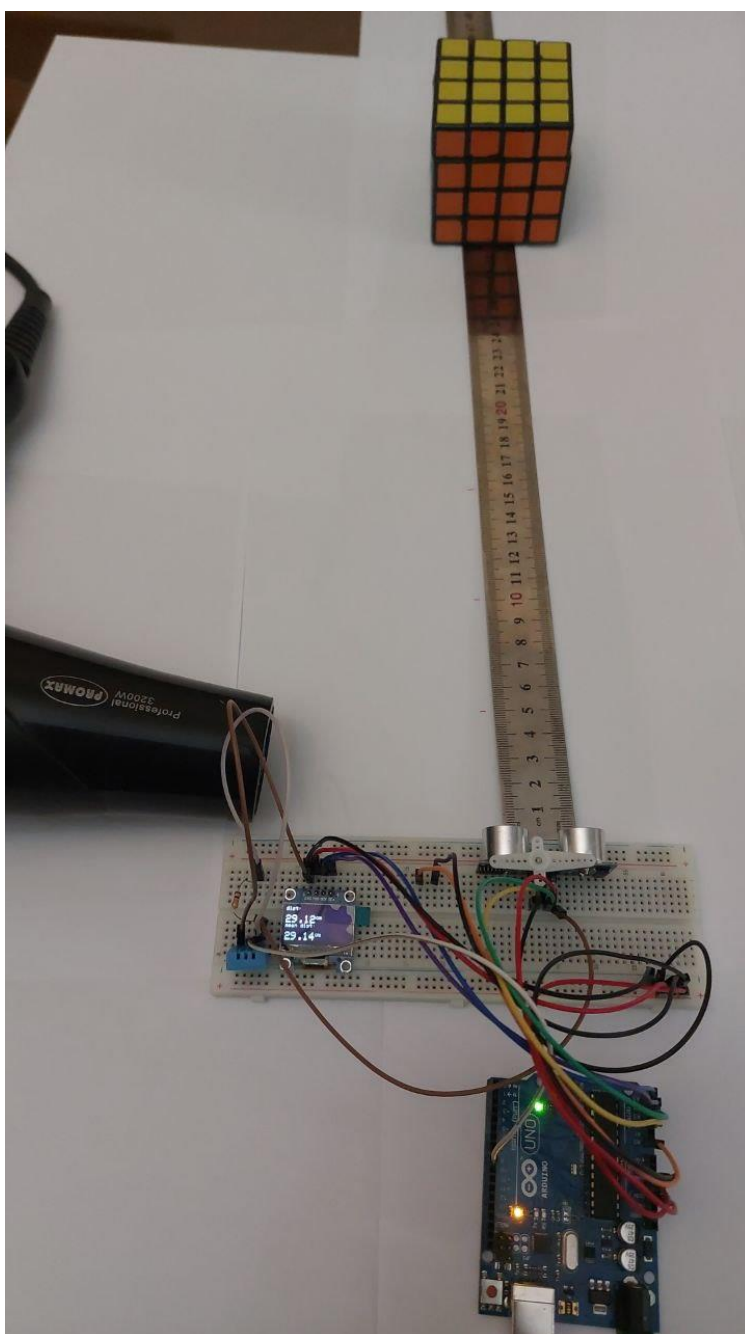
۳-۵-۱ فاصله ۵ سانتی متر



۳-۵-۲ فاصله ۱۵ سانتی متر



۳-۵-۳ فاصله ۳۰ سانتی متر



```

distance is:29.68, mean distance is:30.47cm
distance is:29.92, mean distance is:29.94cm
distance is:29.92, mean distance is:29.96cm
distance is:30.02, mean distance is:29.94cm
distance is:29.99, mean distance is:29.79cm
distance is:29.12, mean distance is:29.18cm
distance is:29.12, mean distance is:29.14cm
distance is:30.40, mean distance is:29.15cm

Autoscroll ☐ Show timestamp
display.print(mean_x);
display.setTextSize(1);
display.println("cm");
display.display();

```

۳-۶ تحلیل آزمایش دوم - بررسی عملکرد سنسور در شرایط غیر عادی

در ادامه فایل اکسلی آماده کردیم که طبق فرمول های زیر مقادیر Error و %Reading accuracy را طبق نمونه خروجی های سه مختصات ۵ و ۱۵ و ۳۰ سانتی متر محاسبه کرده و در جدول ارایه شده برای تحلیل بهتر جایگذاری می کنیم:

$$\text{Error} = \text{abs}[\text{Reading} - X(\text{distance})]$$

$$\% \text{Reading accuracy} = \max\left(\frac{\text{error}}{\text{Reading}}\right) \times 100$$

Reading (cm)	distance (cm)	Error (cm)	Reading accuracy (%)	avgrage distance (cm)	Error (cm)	Reading accuracy (%)
5	4.64	0.36	7.2	4.66	0.34	6.8
15	15.03	0.03	0.2	15.03	0.03	0.2
30	29.12	0.88	2.933333333	29.14	0.86	2.866666667

با توجه به خروجی های بدست آمده در شرایط غیر طبیعی و مقایسه آن با شرایط طبیعی متوجه میشویم که مقدار خطا با تغییرات دما یا فشار و رطوبت افزایش یافته و در نتیجه دقت ابزار کاهش میابد به طوری که حتی با روش میانگین گرفتن از فواصل نمیتوان خطای ایجاد شده را جبران کرد.

این ایجاد خطا به دلیل آن است که سرعت صوت با تغییرات دما یا فشار و رطوبت تغییر میکند. لذا با توجه به کد نوشته شده برای بهبود دقت ابزار اندازه گیری مان باید ثابت 0.034 سانتی متر بر میلی ثانیه را در فرمول فاصله $[\text{distance} = \text{duration} \times 0.034 / 2]$ با توجه به تغییرات دما و رطوبت، تغییر داد.

در ادامه راه حلی برای این موضوع ارایه خواهیم کرد.

۷-۳ آزمایش سوم = ارایه راه حل برای بهبود عملکرد سنسور در شرایط غیرطبیعی به کمک سنسور DHT22

با توجه به رابطه بین سرعت صوت در هوا با دما و رطوبت داریم:

$$\text{Speed of sound } \frac{\text{cm}}{\mu\text{s}} = [331.4 + (0.606 \times \text{Temp}) + (0.0124 \times \text{Humidity})] \times 0.0001$$

این رابطه به ما میگوید که هر چقدر دما و رطوبت در یک محیط افزایش یابد، سرعت صوت نیز در آن محیط (به نسبت بسیار کمی) افزایش میابد.

لذا برای حل مشکل آزمایش دوم میتوانیم از یک سنسور اندازه گیری دما و رطوبت (مانند سنسور DHT22) استفاده کرده و دما و رطوبت را بدست آورده و طبق فرمول ذکر شده سرعت صوت در محیط غیر طبیعی را بازیابی کنیم.

۷-۳-۱ کد آردوینو تغییر یافته

در کد جدید، چندین تغییر و به روز رسانی نسبت به کد قبلی صورت گرفته است که هر کدام کارکرد جدیدی به برنامه اضافه می کند یا بهبودهایی را ارائه می دهد. توضیحات بخش های تغییر یافته به شرح زیر است:

کتابخانه های جدید :

```
1 #include <SPI.h>
2 #include <Wire.h>
3 #include <DHT11.h>
4 #include <Adafruit_GFX.h>
5 #include <Adafruit_SSD1306.h>
```

این کتابخانه ها برای کار با سنسور DHT11 (اندازه گیری دما و رطوبت) و صفحه نمایش OLED اضافه شده اند .

DHT11.h برای خواندن داده های دما و رطوبت از سنسور.

تعریف متغیرهای جدید

```

7 #define trig A3
8 #define echo A2
9 #define dataPin 8
10
11 DHT11 dht11(dataPin);
12 Adafruit_SSD1306 display(-1);
13
14 //t for temp h for humidity
15 float t,h;
16

```

dataPin مشخص کننده پین مربوط به سنسور DHT11:

dht11(dataPin): تعریف یک نمونه از کلاس DHT11 برای سنسور دما و رطوبت.

display(-1): نمونه‌ای از کلاس Adafruit_SSD1306 برای مدیریت OLED.

t و h متغیرهایی برای ذخیره مقدار دما و رطوبت به ترتیب.

تغییرات در تابع dis_once

```

58 float dis= duration*(331.4+(0.606*t)+(0.0124*h))*0.0001/2;

```

در کد جدید، سرعت صوت به صورت دمای وابسته و رطوبت وابسته محاسبه می‌شود.

تغییرات در show_monitor

```

105 void show_monitor(float x,float mean_x)
106 {
107     Serial.print("distance is:");
108     Serial.print(x);
109     Serial.print(", mean distance is:");
110     Serial.print(mean_x);
111     Serial.print(", t:");
112     Serial.print(t);
113     Serial.print(", h:");
114     Serial.print(h);|
115     Serial.print(", v:");
116     Serial.println((331.4+(0.606*t)+(0.0124*h))*0.0001);
: 117 }

```

در این نسخه :

مقادیر دما (t) و رطوبت (h) نیز در مانیتور سریال نمایش داده می شود.
سرعت صوت محاسبه شده بر اساس دما و رطوبت نیز به نمایش درمی آید.

اضافه شدن کد خواندن دما و رطوبت :

```

35 void loop() {
36     dht11.read(h,t);
~

```

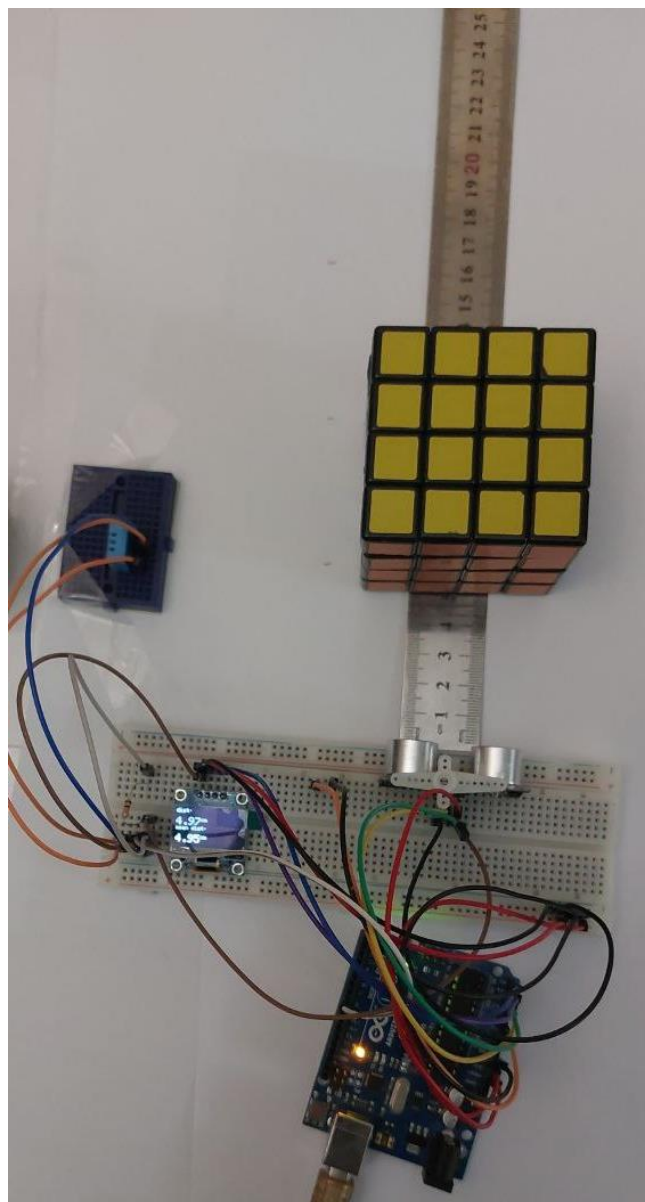
این دستور مقدار دما و رطوبت را از سنسور DHT11 می خواند و در متغیرهای t و h ذخیره می کند.

کاربردهای جدید:

این کد نه تنها برای اندازه گیری فاصله کاربرد دارد، بلکه با توجه به دما و رطوبت محیط، دقت بیشتری را فراهم می کند.
مناسب برای پروژه هایی که داده های محیطی نیز اهمیت دارند، مثل سیستم های تهویه یا نظارت بر محیط.

در ادامه آزمایش دوم را با اغییرات انجام شده تکرار خواهیم کرد تا بهبود دقت سنسور را بررسی کنیم.

۳-۷-۲ فاصله ۵ سانتی متر

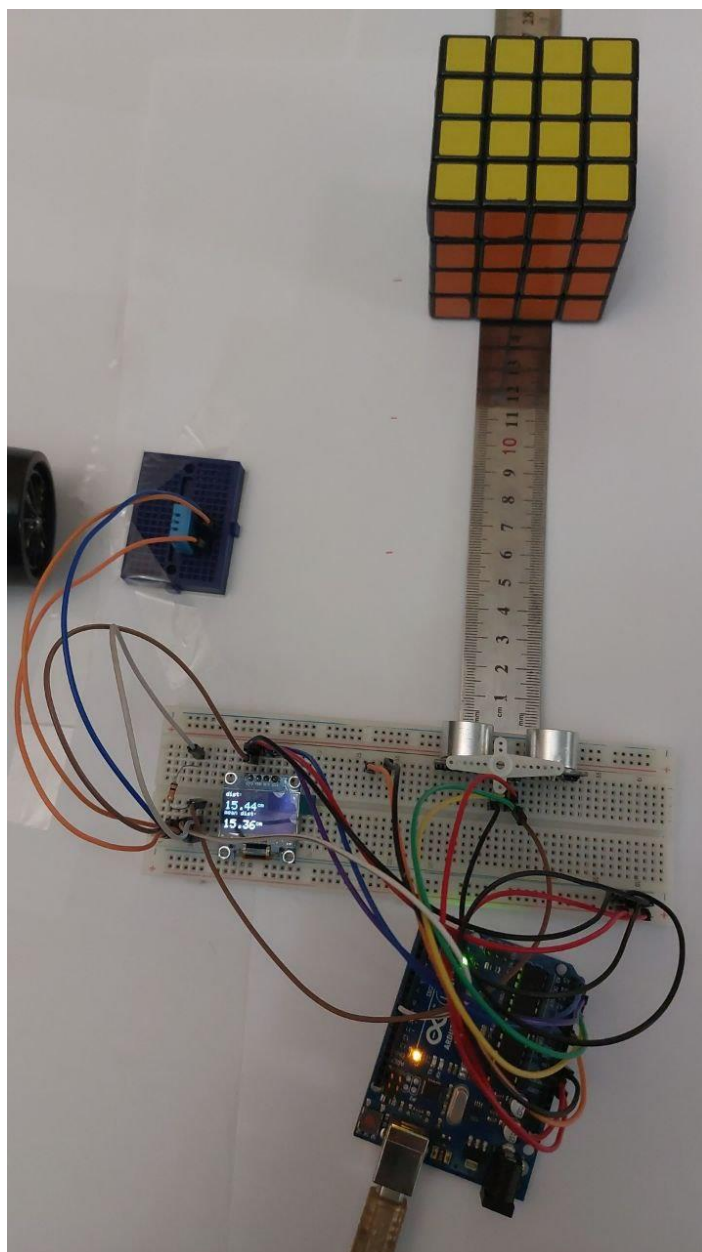


```

COM3
distance is:4.36, mean distance is:4.45, t:31.02, h:22.00, v:0.04
distance is:4.36, mean distance is:4.45, t:31.00, h:22.00, v:0.04
distance is:5.69, mean distance is:4.99, t:30.09, h:22.00, v:0.03
distance is:4.46, mean distance is:4.42, t:30.07, h:22.00, v:0.03
distance is:4.79, mean distance is:4.71, t:30.06, h:23.00, v:0.03
distance is:4.85, mean distance is:4.83, t:37.05, h:22.00, v:0.04
distance is:4.80, mean distance is:4.89, t:44.02, h:19.00, v:0.04
distance is:4.94, mean distance is:4.92, t:48.00, h:16.00, v:0.04
distance is:4.96, mean distance is:4.91, t:50.02, h:13.00, v:0.04
distance is:4.97, mean distance is:4.92, t:51.05, h:12.00, v:0.04
distance is:4.97, mean distance is:4.95, t:52.03, h:11.00, v:0.04
distance is:4.97, mean distance is:4.93, t:52.08, h:11.00, v:0.04
distance is:4.98, mean distance is:4.94, t:53.00, h:10.00, v:0.04
Autoscroll Show timestamp

```


۳-۷-۳ فاصله ۱۵ سانتی متر



```

Adaf distance is:15.72, mean distance is:15.71, t:54.03, h:10.00, v:0.04
Adaf distance is:15.81, mean distance is:15.71, t:54.02, h:10.00, v:0.04
trig A distance is:15.70, mean distance is:15.68, t:54.02, h:10.00, v:0.04
echo A distance is:17.16, mean distance is:16.03, t:54.02, h:10.00, v:0.04
dataPi distance is:16.08, mean distance is:16.08, t:54.02, h:10.00, v:0.04
distance is:16.45, mean distance is:16.30, t:54.02, h:10.00, v:0.04
distance is:16.45, mean distance is:16.45, t:54.02, h:10.00, v:0.04
dht11(da distance is:15.34, mean distance is:15.34, t:54.03, h:10.00, v:0.04
quit_SSD13 distance is:15.34, mean distance is:15.45, t:54.02, h:10.00, v:0.04
distance is:15.34, mean distance is:15.34, t:54.01, h:10.00, v:0.04
distance is:15.32, mean distance is:15.33, t:54.01, h:10.00, v:0.04
distance is:15.44, mean distance is:15.36, t:54.01, h:10.00, v:0.04
distance is:15.34, mean distance is:15.34, t:54.01, h:10.00, v:0.04

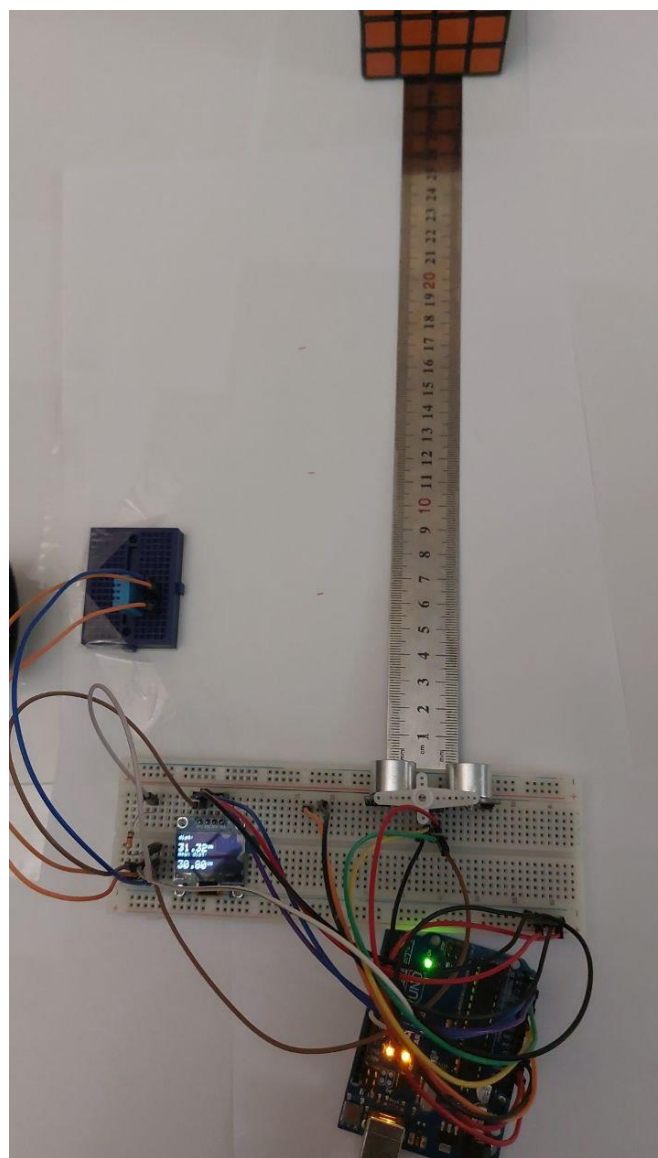
```

☒ Autoscroll ☐ Show timestamp

Nextline

--- I2C address: 0x3C
 pinMode(SSD1306_SWITCHCAPVCC, OUTPUT);

۳-۷-۴ فاصله ۳۰ سانتی متر



```

COM3
distance is:31.29, mean distance is:31.34, t:55.09, h:9.00, v:0.04
distance is:31.42, mean distance is:31.31, t:55.06, h:10.00, v:0.04
distance is:30.98, mean distance is:30.49, t:55.01, h:9.00, v:0.04
distance is:30.95, mean distance is:31.04, t:54.07, h:10.00, v:0.04
distance is:30.94, mean distance is:30.96, t:54.02, h:11.00, v:0.04
distance is:26.69, mean distance is:30.93, t:53.07, h:10.00, v:0.04
distance is:31.57, mean distance is:29.33, t:53.02, h:11.00, v:0.04
distance is:25.09, mean distance is:25.04, t:52.07, h:11.00, v:0.04
distance is:30.53, mean distance is:30.56, t:52.02, h:11.00, v:0.04
distance is:30.59, mean distance is:30.81, t:51.06, h:12.00, v:0.04
distance is:30.59, mean distance is:30.50, t:51.01, h:12.00, v:0.04
distance is:31.32, mean distance is:30.80, t:50.06, h:11.00, v:0.04
distance is:30.43, mean distance is:30.45, t:50.00, h:12.00, v:0.04
distance is:31.28, mean distance is:31.10, t:49.05, h:12.00, v:0.04
distance is:30.38, mean distance is:30.45, t:49.00, h:12.00, v:0.04
Autoscroll Show timestamp
Newline

```

۸-۳ تحلیل آزمایش سوم – ارایه راه حل برای بهبود عملکرد سنسور در شرایط غیرطبیعی به کمک DHT22

طبق خروجی بدست آمده از سنسور DHT22 متوجه میشویم که دما از حالت طبیعی (۲۵ درجه سانتی گراد) به حالت غیر طبیعی (۵۰ درجه سانتی گراد) رسیده است و همین موضوع باعث شده که سرعت صورت در این محیط از ۰.۰۳۴ سانتی متر بر میکرو ثانیه به مقدار تقریباً ۰.۰۴ سانتی متر بر میکرو ثانیه برسد.

حال با تغییرات انجام شده در برنامه ابزار اندازه گیری داریم:

Reading (cm)	distance (cm)	Error (cm)	Reading accuracy (%)	avgrage distance (cm)	Error (cm)	Reading accuracy (%)
5	4.95	0.05	1	4.97	0.03	0.6
15	15.24	0.24	1.6	15.2	0.2	1.333333333
30	31.12	1.12	3.733333333	30.8	0.8	2.666666667

طبق خروجی های بدست آمده میتوان نتیجه گرفت که به صورت تقریبی ابزار اندازه گیری ما به کمک سنسور DHT22 کمی بهبود یافته. قابل ذکر است این آزمایش در شرایط مناسبی شبیه سازی نشده، زیرا میزان دمایی که در مقابل سنسور DHT22 به واسطه باد سشوار تغییر میکند کمی متفاوت تر از تغییر دمایی مقابل سنور اولتراسونیک هست و در شرایط یکسان (برای مثال تغییرات دمایی یکسان برای دو سنسور) میتوان نشان داد که افزایش دقت این ابزار بسیار بیشتر بهبود خواهد یافت.

۴- جمع‌بندی

در این پروژه، عملکرد سنسور اولتراسونیک HC-SR04 در شرایط مختلف محیطی و با تغییر ویژگی‌های موانع مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش‌ها نشان دادند که عواملی مانند دما، رطوبت، زاویه برخورد امواج با مانع و جنس سطح می‌توانند به‌طور قابل توجهی بر دقت اندازه‌گیری تأثیر بگذارند. در شرایط ایده‌آل، سنسور دقت بالایی از خود نشان داد، اما در حضور عوامل محیطی نامطلوب، میزان خطا افزایش یافت.

برای کاهش خطا و بهبود عملکرد، راه‌حلهایی مانند استفاده از سنسورهای مکمل (مانند سنسور دما و رطوبت برای تصحیح سرعت صوت)، الگوریتم‌های پردازش داده برای بهبود دقت ارائه شد. همچنین، انجام کالیبراسیون دقیق و استفاده از سطوح صاف و مناسب برای بازتاب امواج، از دیگر پیشنهادات این پروژه برای بهبود عملکرد سنسور بود.

در مجموع، این پژوهش نشان داد که سنسورهای اولتراسونیک می‌توانند در صورت بهینه‌سازی و تصحیح خطاها، ابزارهای دقیق و کارآمدی برای اندازه‌گیری فاصله در کاربردهای متنوع باشند. آزمایش‌ها و تحلیل‌های انجام‌شده در این پروژه، مبنایی برای توسعه فناوری‌های پیشرفته‌تر در زمینه ابزارهای اندازه‌گیری فراهم می‌آورد.

- قابل ذکر است که ویدیو انجام آزمایش متعاقباً در تالار گفتگو قرار می‌گیرد.

۵- منابع

- I. <https://hpi.co.com/ultrasonic-sensors/>
- II. <https://sisoog.com/what-is-ultrasonic-sensor/>
- III. <https://irenx.ir/electronic/ultrasonic-sensors/>
- IV. <https://irenx.ir/arduino/arduino-ultrasonic-sensor/>
- V. <https://roboeq.ir/blog/>
- VI. <https://hpi.co.com/ultrasonic-sensors/>