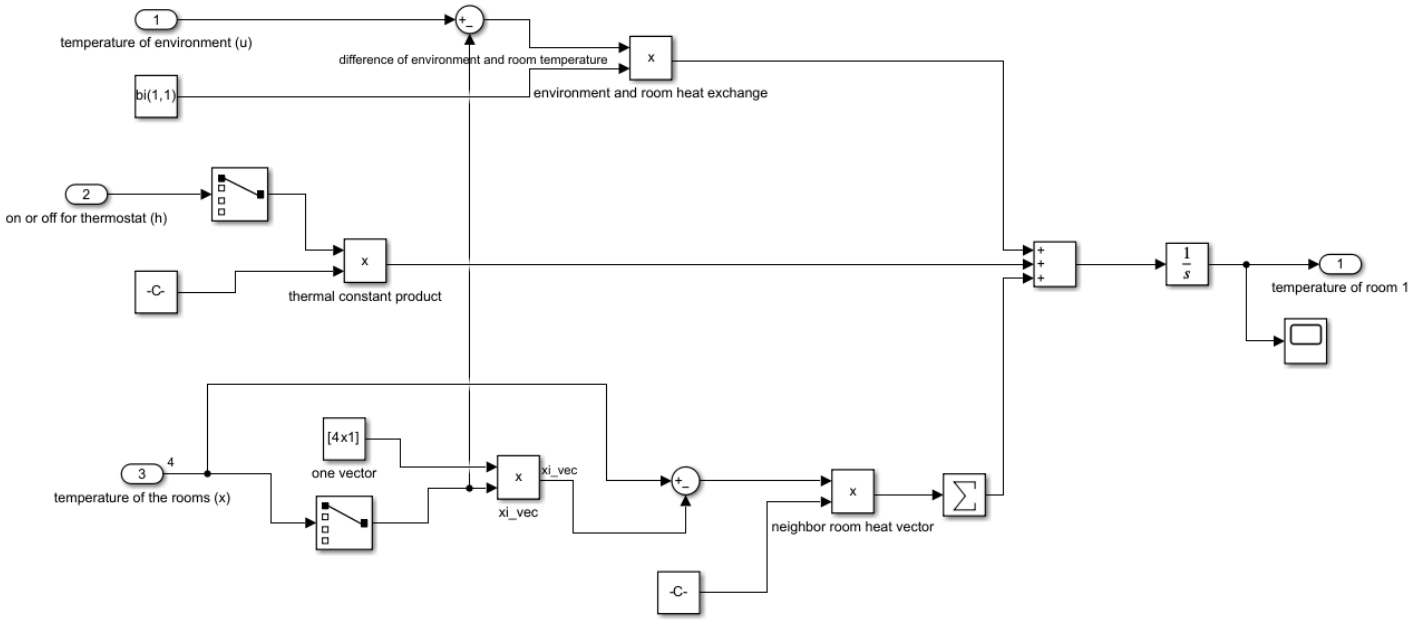
گزارش پروژه امبدد

فرزین حاج غلامرضایی ۴۱۰۲۴۳۰۴۱
صدرا موسوی ۴۰۱۲۴۳۰۸۹

در ابتدا نیازمندی‌های مربوط به سیستم هم به صورت عملکردی و هم به صورت فرا عملکردی (extra functional) استخراج شد و سپس در ادامه‌ی روند طراحی و پیاده‌سازی، این نیازمندی‌ها به موارد مختلف داخل سیستم اختصاص داده شد. در پایین عکس مربوط به این نیازمندی‌ها و میزان پیاده‌سازی آن‌ها قرار داده شده است.

Index	ID	Summary	Implemented
project_function...			[redacted]
1	FR-1	The system shall model the t...	[redacted]
2	FR-2	The system shall incorporate...	[redacted]
3	FR-3	The system shall apply heati...	[redacted]
4	FR-4	The controller shall impleme...	[redacted]
5	FR-5	The system shall limit the nu...	[redacted]
6	FR-6	Each heater shall be assigne...	[redacted]
7	FR-7	The system shall implement ...	[redacted]
8	FR-8	The system shall initialize si...	[redacted]
9	FR-9	The system shall provide mo...	[redacted]
10	FR-10	The system shall operate usi...	[redacted]
project_extra_fu...			[redacted]
1	SR-1	A safety gateway shall valida...	[redacted]
2	SR-2	The Safety Gateway shall enf...	[redacted]
3	SR-3	Rooms without assigned hea...	[redacted]
4	SR-4	The system shall define a fail...	[redacted]

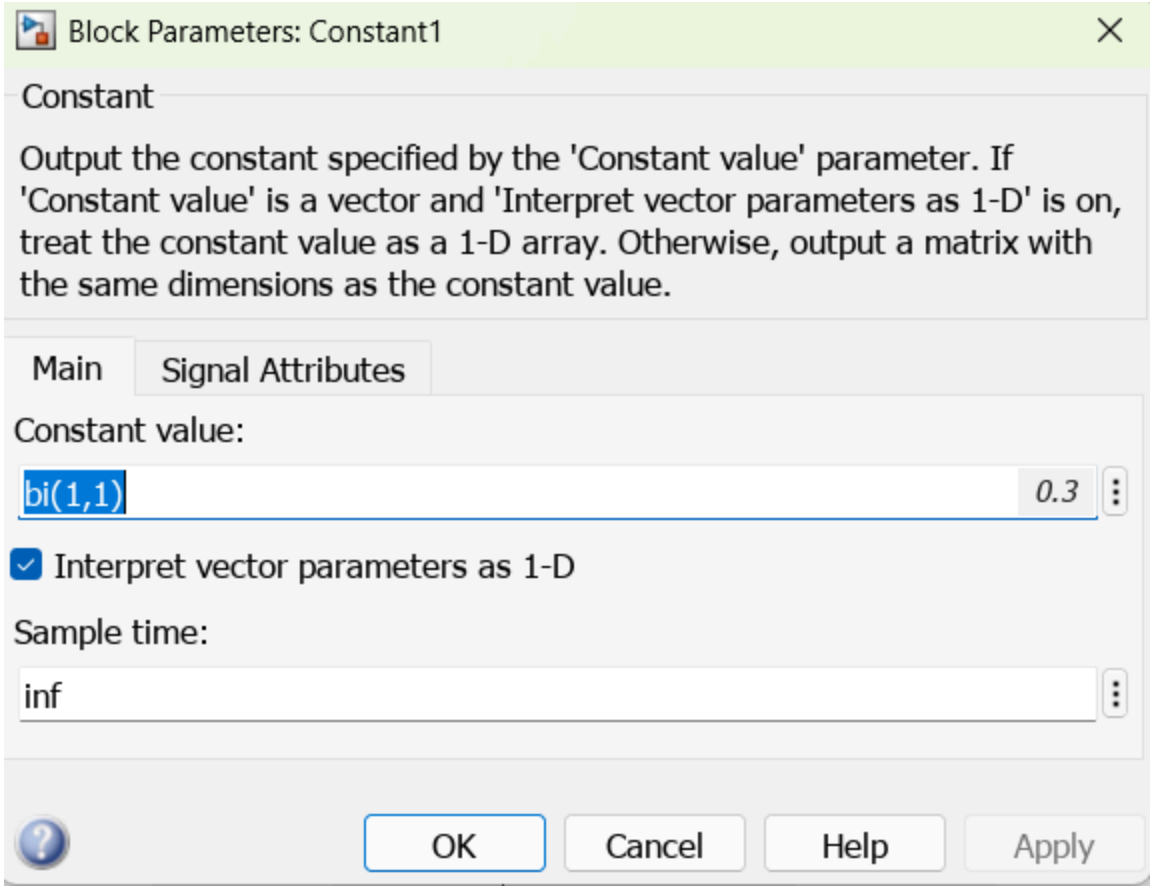
مدل سیستم گرمایش هر اتاق به صورت زیر در سیمولینک طراحی شده است.



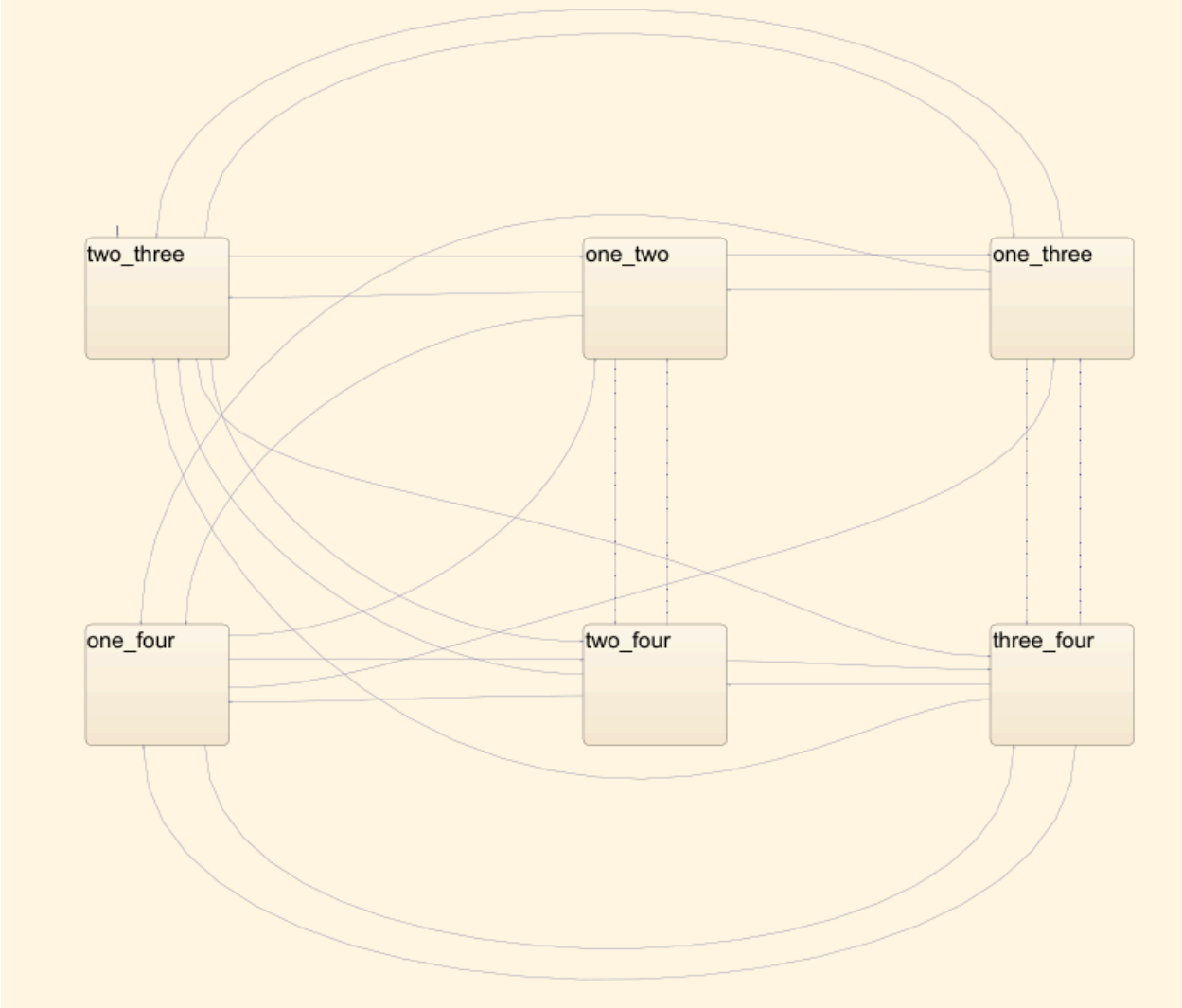
با استفاده از فضای Model workspace پارامترهای داده شده را تعریف کرده و توسط بلوک‌های constant از این فضا مقادیر را خوانده و استفاده می‌کنیم.

Name	Value	DataType	Dimensions	Complexity	Min	Max	Unit	Argument	StorageCla
Diff_i	[1;1;1;1]	auto	[4 1]	real	[ ]	[ ]		☐	Configure
Get_i	[17;16;16;17]	auto	[4 1]	real	[ ]	[ ]		☐	Configure
Off_i	[20;20;20;20]	auto	[4 1]	real	[ ]	[ ]		☐	Configure
On_i	[19;19;19;19]	auto	[4 1]	real	[ ]	[ ]		☐	Configure
Room_Coefficients__A_	[0 0.3 0.4 0.3;0.3 0 0.5 0;0.4 0.5 0 0.3;0.3...	auto	[4 4]	real	[ ]	[ ]		☐	Configure
Thermal_Constant__Ci_	[9;7;11;7]	auto	[4 1]	real	[ ]	[ ]		☐	Configure
bi	[0.3;0.2;0.5;0.4]	auto	[4 1]	real	[ ]	[ ]		☐	Configure
environment_temperature	6	auto	[1 1]	real	[ ]	[ ]		☐	Configure
initial_temperature__x0_	[16.5;16.5;16.5;16.5]	auto	[4 1]	real	[ ]	[ ]		☐	Configure

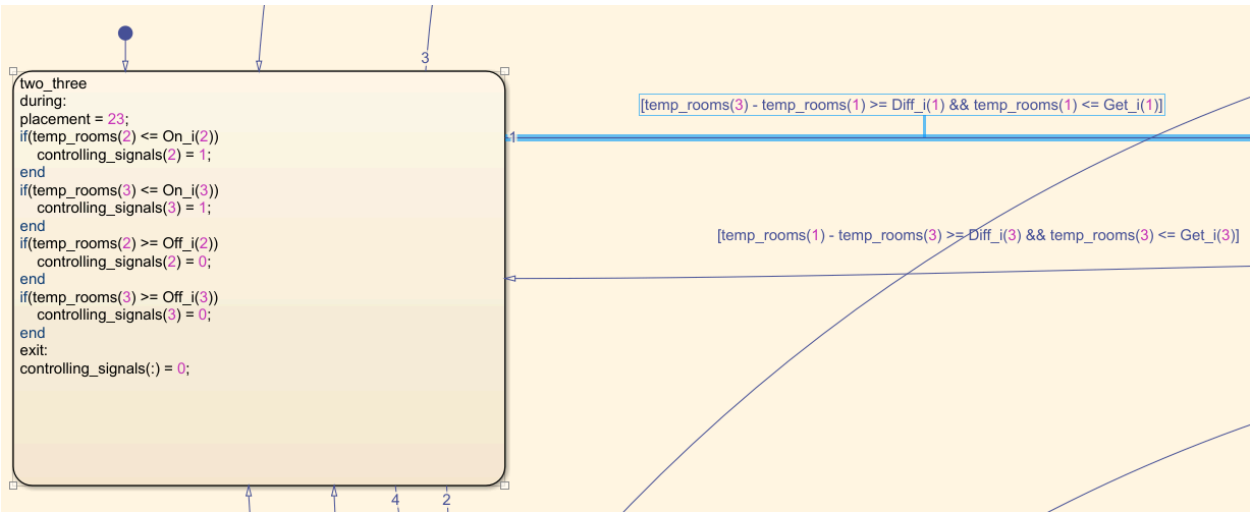
تنظیمات بلاک constant نیز به شکل زیر است:



برای طراحی ترموستات، از ۶ استیت استفاده کردیم که نام هر استیت نشان‌دهنده‌ی وجود بخاری در این شماره اتاق‌ها است. مثلا استیت two_three یعنی بخاری در اتاق دو و سه قرار دارد. در صورتی که شرط برای جابجایی یک بخاری برقرار شود، بخاری به اتاق جدید انتقال یافته و ترموستات نیز به استیت مربوطه می‌رود.



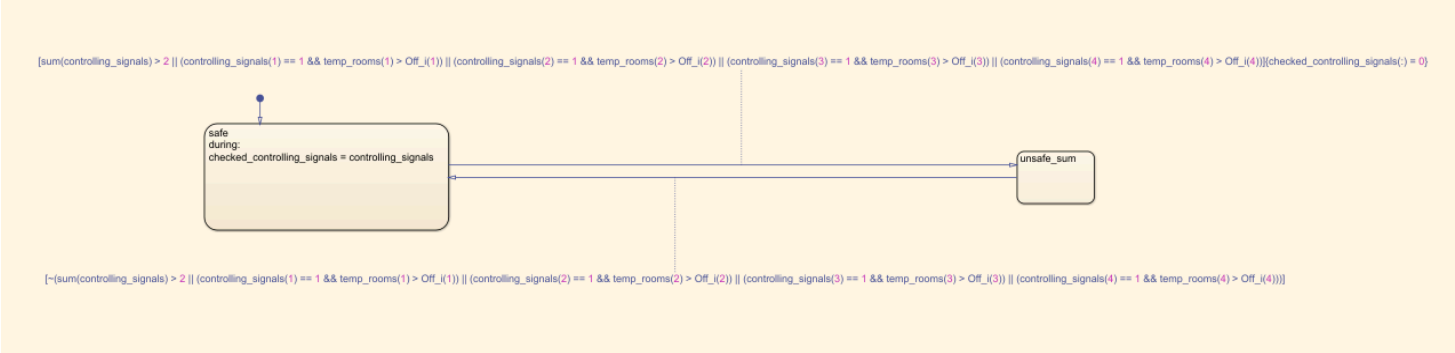
در هر استیت، در قسمت during ابتدا خروجی محل بخاری‌هارا آپدیت کرده و سپس از روی دمای اتاق روشن یا خاموش بودن بخاری مربوط به دو اتاق دارای بخاری در استیت فعلی را بررسی می‌کنیم، اینگونه از روشن شدن بخاری‌ای در اتاقی که در آن بخاری وجود ندارد، جلوگیری کرده‌ایم. همچنین در قسمت exit همه بخاری‌هارا خاموش می‌کنیم تا بعد از خروج، از روشن ماندن بخاری‌ای از این استیت که در استیت دیگر وجود ندارد (یعنی جابجایی بخاری رخ داده) جلوگیری کنیم.



با اینکه طراحی ما به نیازمندی‌های امنیتی نیز رسیدگی کرده اما با توجه به صورت پروژه یک قسمت واحد ایمنی نیز طراحی کردیم تا درصورتی که یکی از اتفاق‌های زیر بیوفتد به حالت fail safe رفته و تمامی بخاری‌ها خاموش شوند:

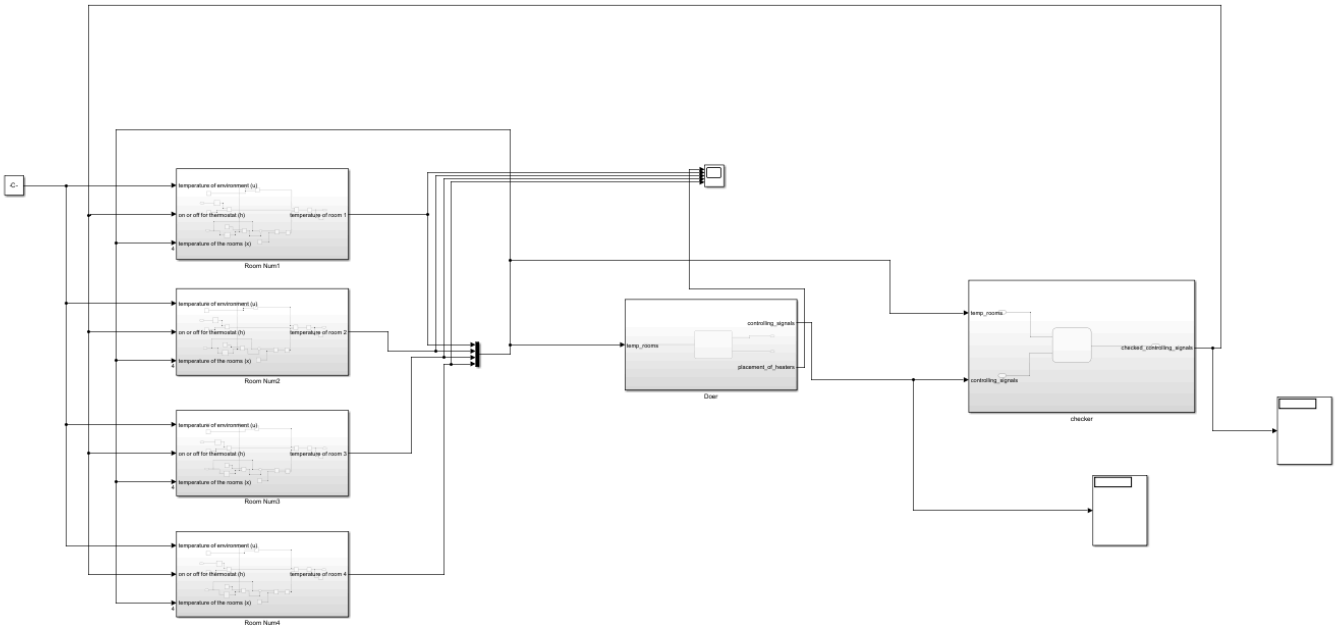
۱- دمای یکی از اتاق‌ها بالا بوده و بخاری آن اتاق روشن باشد.

۲- تعداد بخاری‌های روشن از ۲ بیشتر باشد.



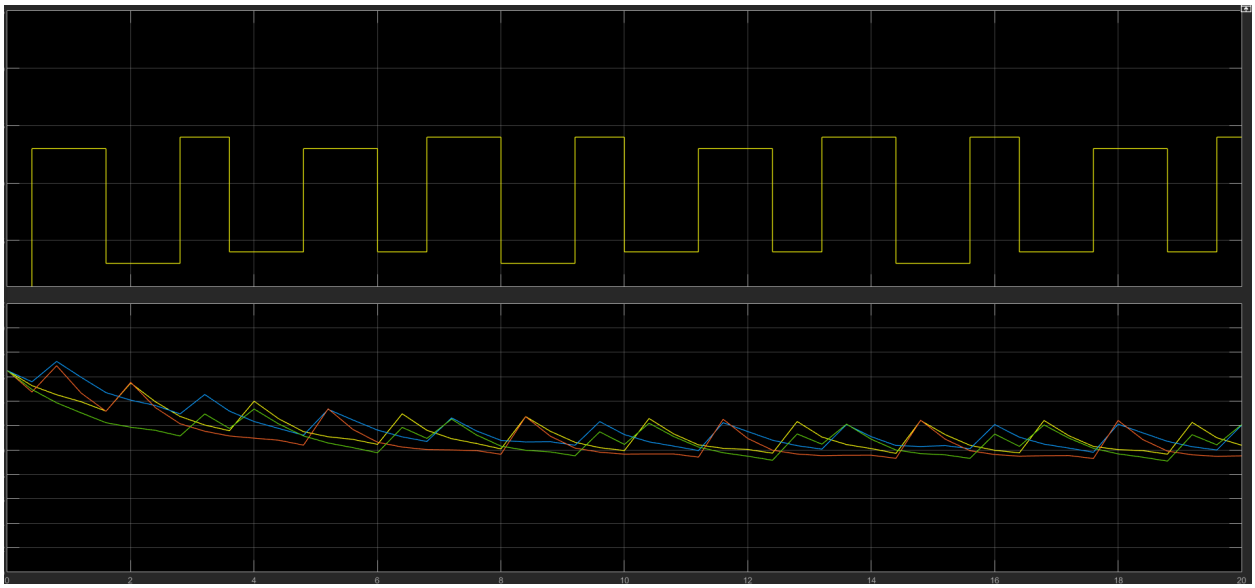
در صورتی که هیچ‌کدام از شرط‌های بالا برقرار نباشد، از استیت آن‌سیف به استیت سیف برمی‌گردیم.

در نهایت ۴ ساب‌سیستم اتاق و یک ساب‌سیستم ترموستات و یک ساب سیستم واحد ایمنی را به هم به شکل زیر متصل می‌کنیم:

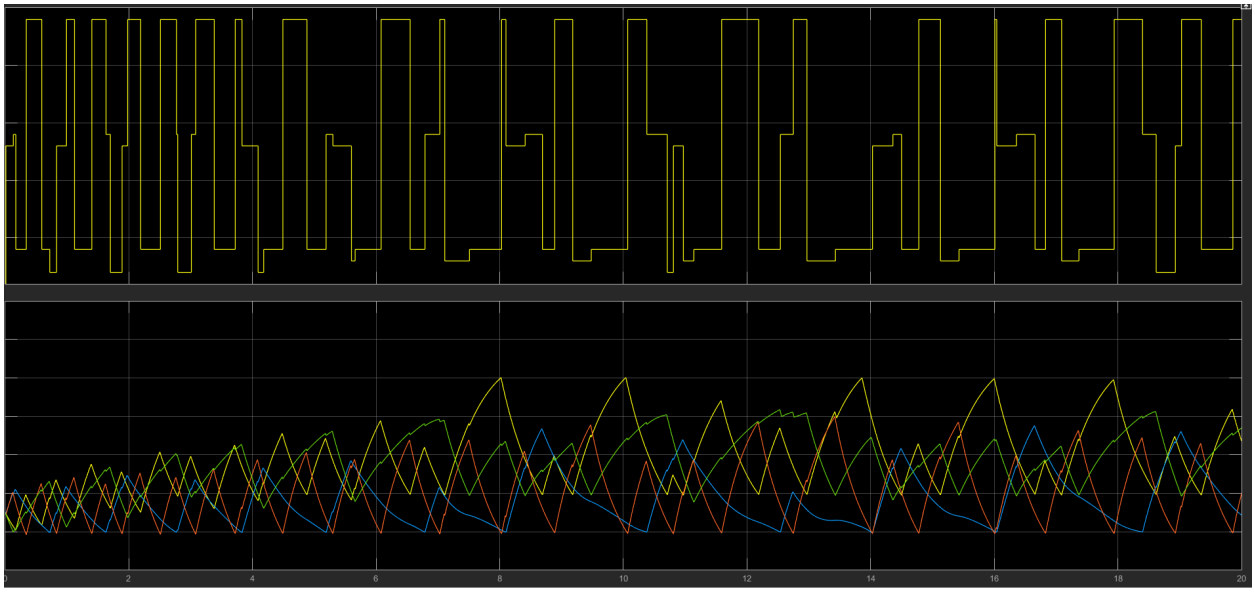


با اجرای مدل و تنظیم فاصله زمانی استپ‌ها به صورت خودکار، فاصله‌ی بین جابجایی و روشن شدن بخاری‌ها بسیار زیاد بود و در نتیجه سیستم نمی‌توانست محیط اتاق‌ها را گرم کند. اما وقتی ما به صورت دستی فاصله زمانی استپ‌ها را ۰.۰۱ گذاشتیم و دوباره اجرا کردیم، سیستم به خوبی توانست دمای هر اتاق را بین ۱۶ تا ۲۰ نگه دارد.

حالت اول (استپ اتوماتیک):

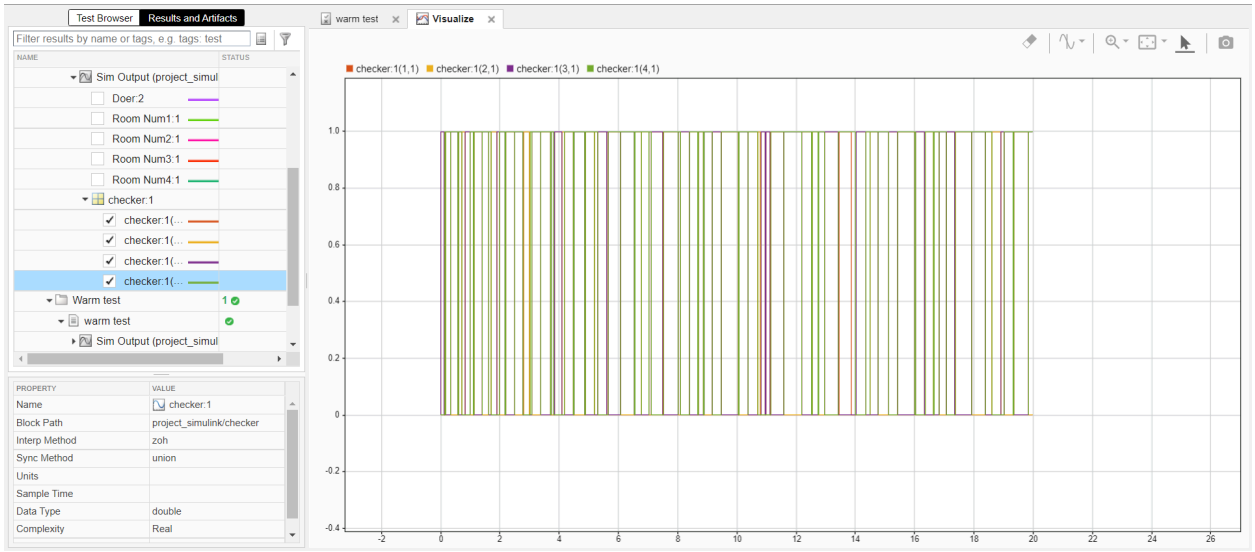


حالت دوم (استپ ۰.۰۱):

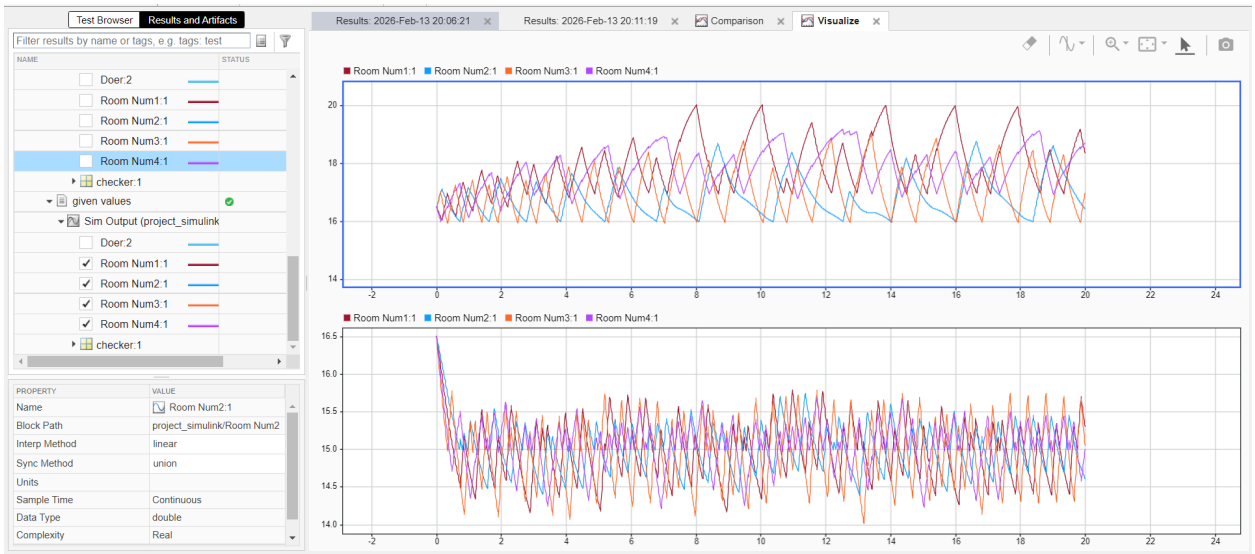


در نمودارهای بالا، قسمت بالایی سیگنال شماره استیت ترموستات را نشان می‌دهد که همان موقعیت بخاری‌ها را نشان می‌دهد. قسمت پایین دمای اتاق‌ها را نشان می‌دهد.

همچنین مقدار پایه‌های خروجی واحد ایمنی در این شکل آمده‌اند، که نشان می‌دهند در هر زمان کدام بخاری روشن بوده است:

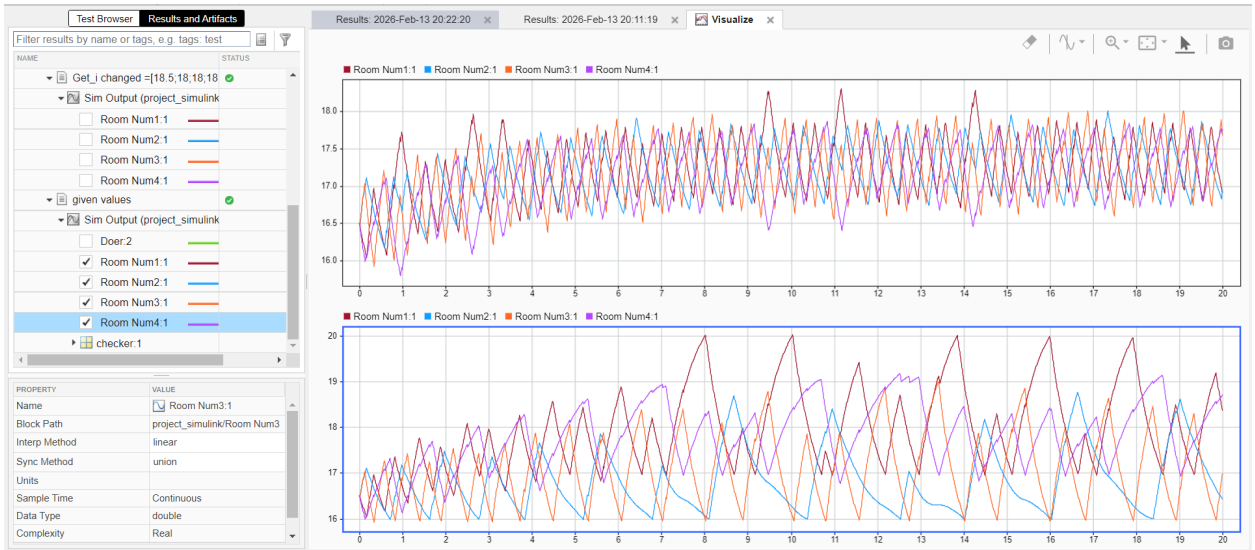


با تغییر on از ۱۹ به ۱۵ به نمودار زیر می‌رسیم:



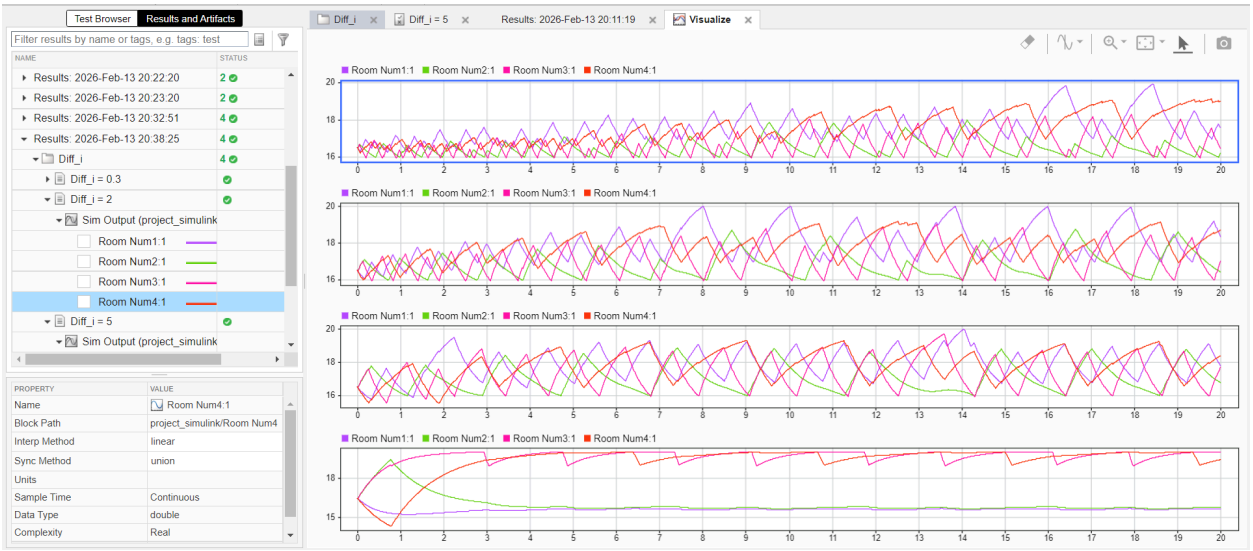
از تحلیل دو نمودار به این نتیجه می‌رسیم که on بازه نگهداری دمای اتاق را نشان می‌دهد مثلا در حالت اول دماها از ۱۶ تا ۲۰ متغیرند، اما بعد از تغییر on به ۱۵، در بازه نزدیک به ۱۴ تا ۱۶ نگهداری می‌شوند.

با تغییر get به ۱۸.۵ و ۱۸ به جای ۱۷ و ۱۶ نمودار زیر حاصل می‌شود:



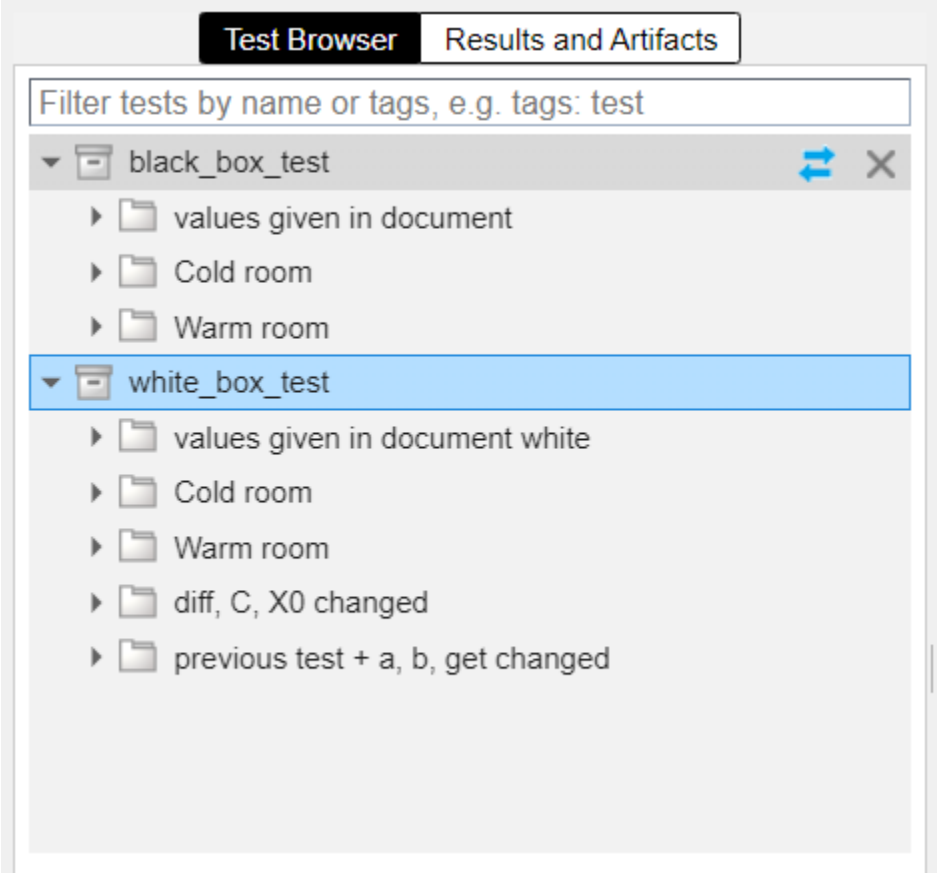
در نمودار می‌توانیم این را به وضوح ببینیم که حداکثر اختلاف بین دمای اتاق‌ها در یک زمان کمتر شده و همچنین به علت زودتر برقرار شدن شرط جابجایی بخاری سرعت جابجایی بالا رفته است.

با تغییر diff به ۰.۳ و ۱ و ۲ و ۵ نمودارهای زیر حاصل می‌شود:



با کم شدن diff فاصله زمانی بین جابجایی بخاری‌ها کم می‌شود و با افزایش آن حساسیت به جابجایی بخاری زیاد می‌شود، که این یعنی در ۵ فقط یکبار جابجایی بخاری داریم.

برای تست‌های جعبه سیاه و جعبه سفید از ابزارهای خود سیمولینک و فضای پارامترهای model workspace استفاده کردیم و چند تست در آن‌ها با شرایط مختلف قرار دادیم.



در نهایت تست‌ها را اجرا کردیم و نتایج به صورت زیر است:

Filter results by name or tags, e.g. tags: test

NAME	STATUS
Results: 2026-Feb-13 18:10:53	1
Results: 2026-Feb-13 18:11:42	1
Results: 2026-Feb-13 18:12:23	1
Results: 2026-Feb-13 18:12:33	5
Results: 2026-Feb-13 18:24:07	1
Results: 2026-Feb-13 18:27:50	3
Results: 2026-Feb-13 18:28:16	5
Results: 2026-Feb-13 20:03:36	1
Results: 2026-Feb-13 20:06:21	1
Results: 2026-Feb-13 20:11:19	2
Results: 2026-Feb-13 20:22:20	2
Results: 2026-Feb-13 20:23:20	2
Results: 2026-Feb-13 20:32:51	4
Results: 2026-Feb-13 20:38:25	4

همچنین گزارش سیمولینک برای تست‌های ارائه شده به صورت زیر است:

Model: "project_simulink"		
T1	values given in document	13-Feb-2026 18:28:17
T2	Cold room	13-Feb-2026 18:28:18
T3	Warm room	13-Feb-2026 18:28:20
T4	suggested values	13-Feb-2026 18:28:22
T5	suggested values	13-Feb-2026 18:28:24

Summary

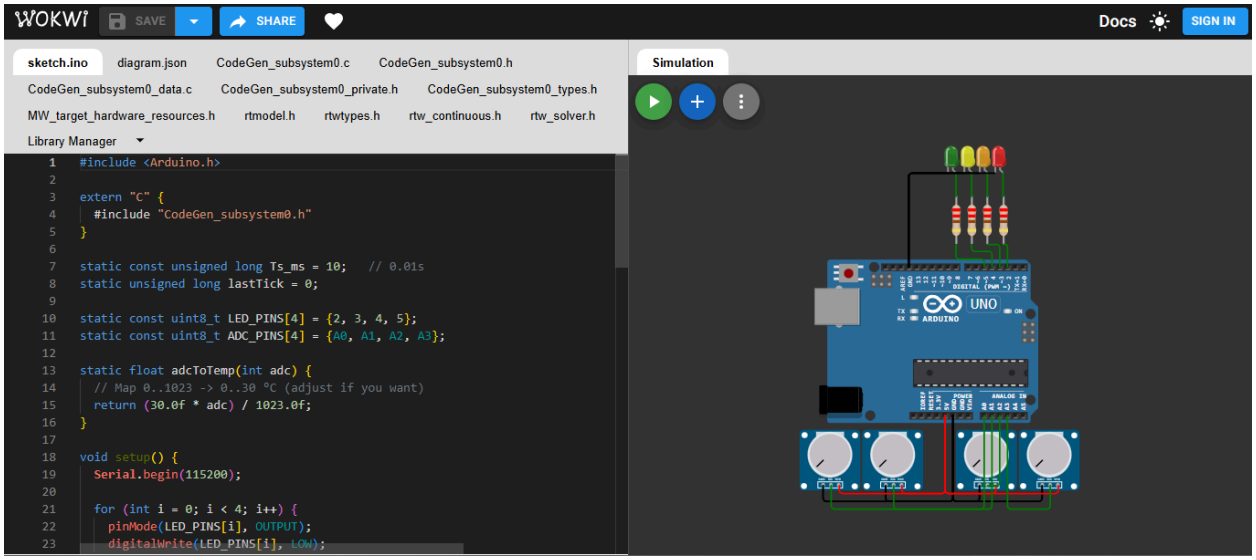
Model Hierarchy/Complexity

		Decision	Condition	MCDC	Execution
1. project_simulink	99	82%	75%	53%	100%
2. . . . Doer	78	85%	90%	73%	NA
3. . . . . Chart	78	85%	90%	73%	NA
4. . . . . SF: Doer/Chart	77	85%	90%	73%	NA
5. . . . Room Num1		NA	NA	NA	100%
6. . . . Room Num2		NA	NA	NA	100%
7. . . . Room Num3		NA	NA	NA	100%
8. . . . Room Num4		NA	NA	NA	100%
9. . . . checker	20	33%	36%	0%	NA
10. . . . . Chart	20	33%	36%	0%	NA
11. . . . . SF: checker/Chart	19	33%	36%	0%	NA

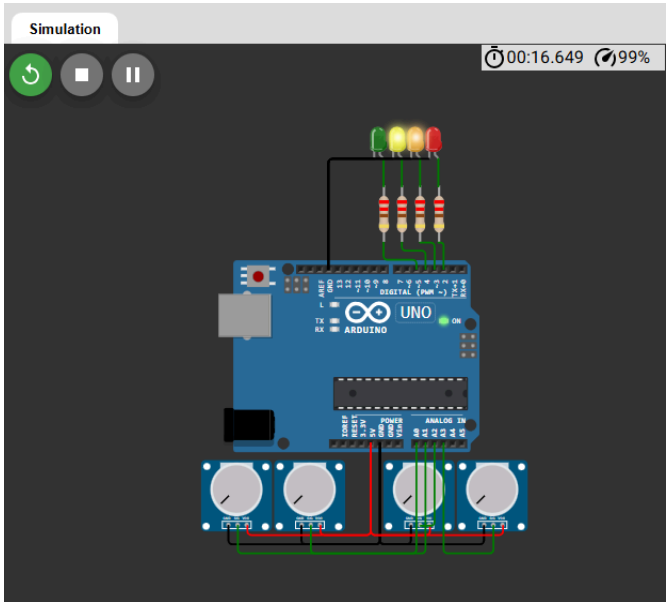
از آنجایی که رسیدن به اعداد بالای ۹۰٪ برای پروژه با این میزان شباهت به فیزیک دنیای واقعی نیازمند به وجود تست‌های بسیار بالا و دقیق است، ما به همین اعداد اکتفا کردیم ولی اضافه کردن تست جدید مشکل ساز نیست.

در لینک زیر قسمت ترموستات و واحد ایمنی توسط embedded coder سیمولینک ساخته شد و در محیط ووکوی شبیه‌سازی شده است.

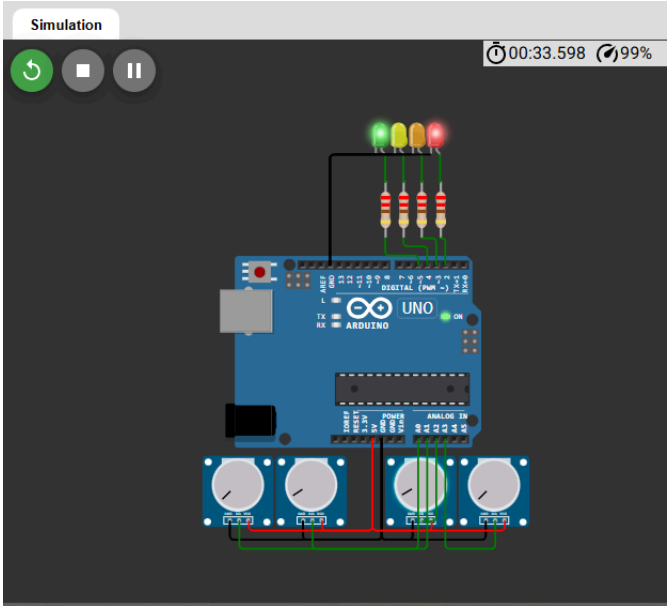
https://wokwi.com/projects/455859020286426113



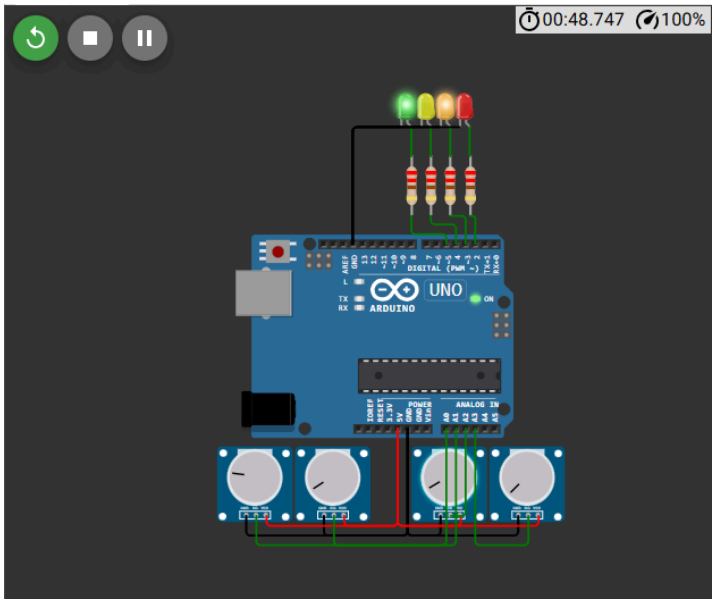
در این پروژه، ۴ پتانسیومتر به عنوان دماسنج و ۴ ال‌ای‌دی به عنوان بخاری به Arduino uno متصل شده‌اند. پین ۲ برای اتاق ۱، پین ۳ برای اتاق ۲، پین ۴ برای اتاق ۳ و پین ۵ برای اتاق ۴ است. با اجرای شبیه‌سازی در ابتدا چون بخاری‌ها در اتاق ۲ و ۳ قرار دارند و دما پایین است، فرمان برای روشن کردن بخاری این دو اتاق صادر می‌شود:



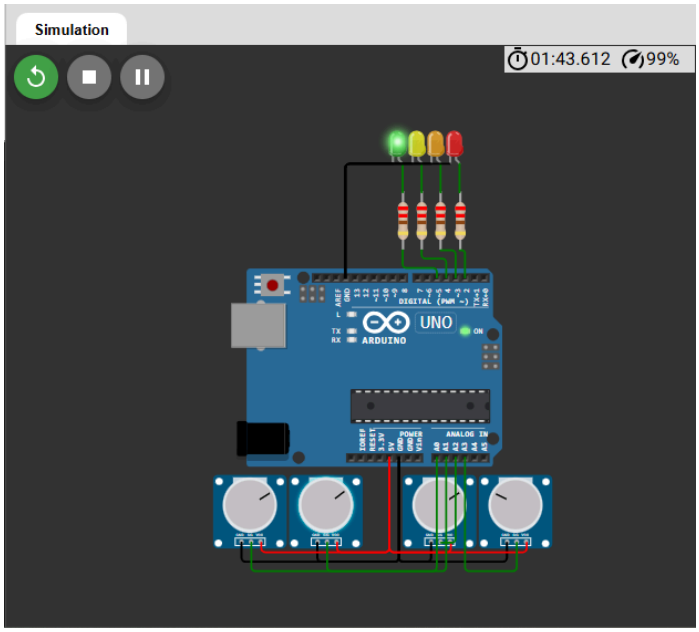
فرض کنیم دمای اتاق ۲ و ۳ بالا می‌رود. با بالا بردن پتانسیومتر مربوط به این دو اتاق، اکنون چراغ اتاق ۱ و ۴ روشن می‌شود:



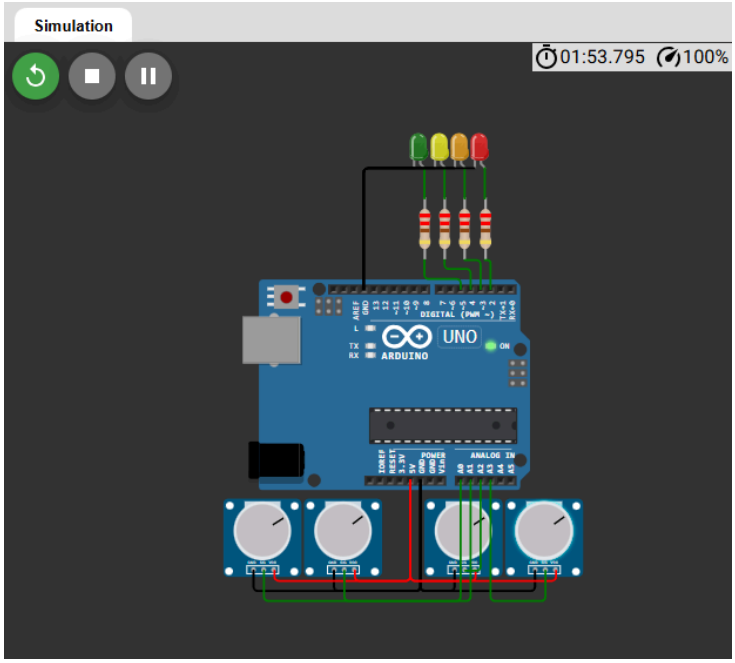
فرض کنیم بخاری در اتاق ۴ اندکی ضعیف است و میزان زیادی دما را بالا نمی‌برد، بعد از مدتی دمای ۱ بالا می‌رود:



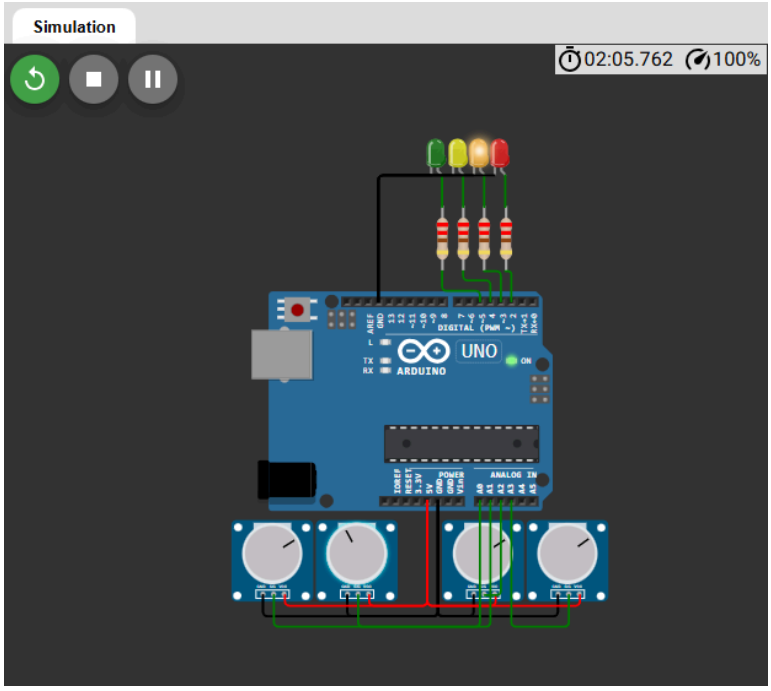
اکنون بخاری اتاق ۱ خاموش شده و بخاری اتاق ۴ به کار خود ادامه می‌دهد، همچنین بخاری اتاق ۲ نیز روشن می‌شود. فرض کنید بعد از مدتی و جابجایی بخاری بین اتاق‌ها، دمای اتاق‌ها به نزدیکی مقدار مورد نظر برسند:



در این حالت که اتاق‌های ۱ و ۲ و ۳ به دمای مطلوب رسیده‌اند، فقط اتاق ۴ بخاری خود را روشن می‌کند، پس از رسیدن اتاق ۴ به دمای مطلوب ال‌ای‌دی مربوط به بخاری این اتاق نیز خاموش می‌شود.



اگر پس از مدتی دمای یکی از اتاق‌ها کم شود، چراغ بخاری آن دوباره روشن شده و به نگه‌داری دمای مطلوب ادامه داده می‌شود.


Simulation
02:05.762
100%
UNO
ARDUINO
DIGITAL (PWM ~)
POWER
ANALOG IN