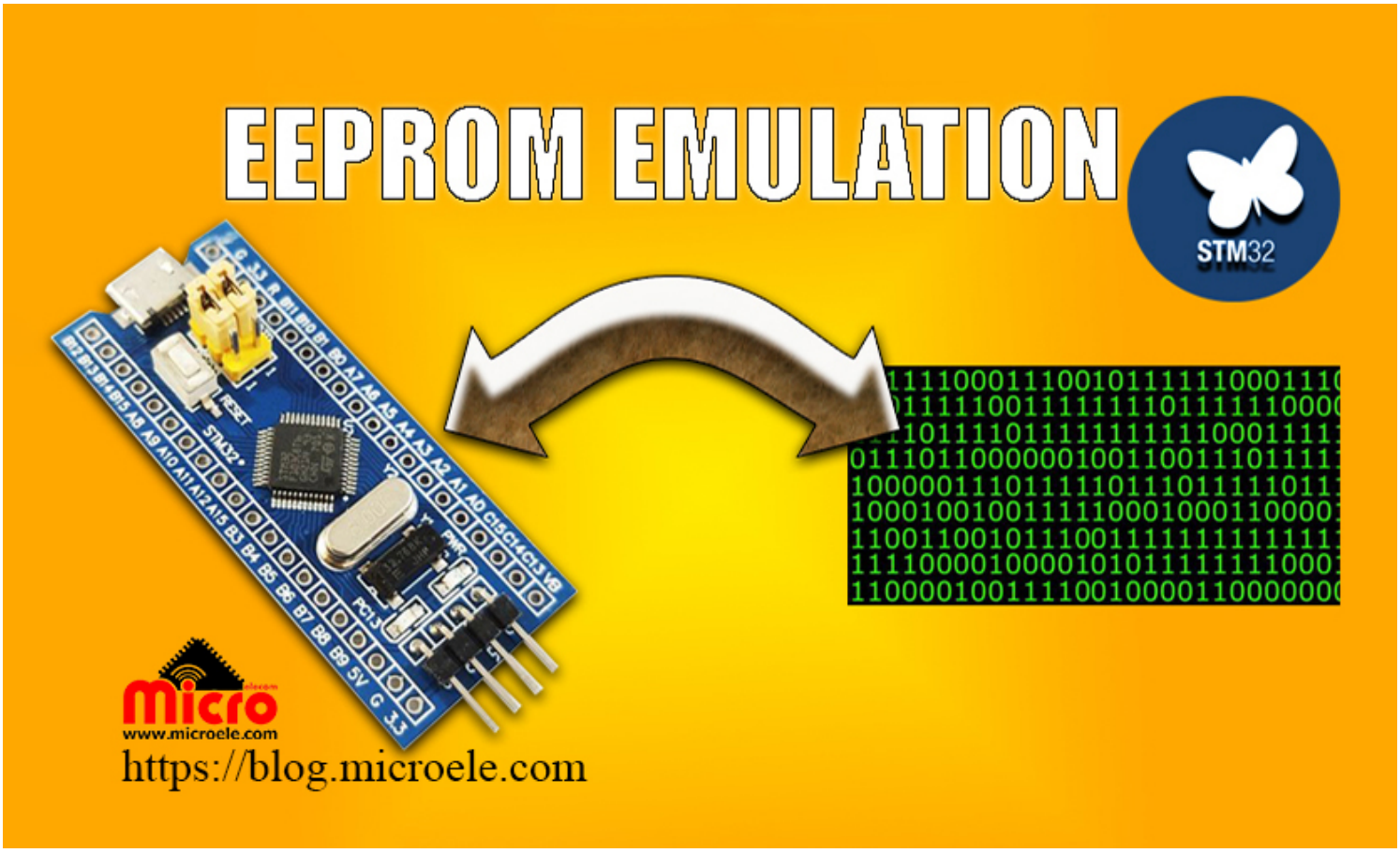
تبدیل حافظه FLASH به EEPROM داخلی در میکروکنترلر های STM32



تاریخ انتشار۱۶ فروردین, ۱۴۰۰ توسط آرش فتاحی

در این مطلب قصد داریم نحوه تبدیل بخشی از حافظه FLASH در میکروکنترلرهای STM32 سری های F0, F1 و F3 را به حافظه EEPROM بررسی کنیم. مهم ترین کاربرد EEPROM ها، در ذخیره و نگهداری دیتایی است که می‌خواهیم همواره وجود داشته و با قطع، وصل یا خاموش شدن سیستم از بین نرود.

معرفی حافظه ها و کاربرد EEPROM

معمولا در میکروکنترلرها از سه نوع حافظه FLASH برای نگهداری برنامه، EEPROM برای ذخیره اطلاعات ماندگار و SRAM برای ذخیره اطلاعات میانی در یک برنامه استفاده می شود. یکی از حافظه‌های پرکاربرد در میکروکنترلرها، حافظه های EEPROM هستند که غیر فرار بوده و می توان به دفعات بر روی آن‌ها اطلاعات مورد نیاز را ذخیره و در صورت نیاز حتی پس از قطع منبع تغذیه مجددا آن اطلاعات را بازیابی نمود. این نوع از حافظه‌ها به صورت پیش فرض در برخی میکروکنترلرهای 8 بیتی همچون AVR وجود دارند. همچنین می توان از EEPROM های خارجی مانند سری آیسی های AT24Cx نیز نام برد.

EEPROM یا Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory (حافظه فقط خواندنی قابل برنامه ریزی و پاکسازی به صورت الکتریکی)، قابلیت برنامه ریزی و پاک کردن اطلاعات را به صورت الکتریکی بر روی خود فراهم می‌کنند. اطلاعاتی که بر روی EEPROM نوشته می‌شود، با قطع منبع تغذیه از میکرو پاک نشده و در حافظه به صورت پایدار باقی خواهد ماند و با هر بار روشن شدن مدار، امکان بازیابی این اطلاعات از روی حافظه EEPROM امکان پذیر می‌باشد.

آیسی EEPROM خارجی AT24C32D

نمونه ای از کاربرد EEPROM در میکروکنترلرها

به عنوان یک نمونه از کاربرد حافظه EEPROM، فرض کنید می‌خواهیم سامانه‌ای جهت کنترل دمای یک اتاق طراحی کنیم. این سامانه دمای مد نظر را از کاربر دریافت کرده و درصورتی که دما از مقدار دریافت شده توسط کاربر، بالاتر -یا پایین تر برود، سامانه سرمایشی یا گرمایشی جهت رساندن دمای محیط به مقدار تعیین شده توسط کاربر فعال می گردد. از آن جایی که می خواهیم در هر بار روشن شدن سامانه کنترل دما، نیازی به وارد کردن دمای مد نظر توسط کاربر نباشد، در برنامه نوشته شده، این مقدار را در حافظه EEPROM میکرو یا EEPROM های خارجی ذخیره می‌کنیم. به این ترتیب با هر بار روشن شدن و راه اندازی مدار، نیازی به تنظیم مجدد و وارد کردن اطلاعات توسط کاربر نمی‌باشد.

EEPROM در STM32

از آن‌جایی که میکروکنترلرهای STM32 فاقد این نوع از حافظه ها می‌باشند در نگاه اول چاره ای جز استفاده از EEPROM های خارجی به صورت مجزا دیده نمی‌شود. اما این قابلیت در میکروهای سری STM32 وجود دارد تا بتوان بخشی از حافظه FLASH در این نوع از میکروها را تبدیل به EEPROM کرده و به نوعی EEPROM را در حافظه FLASH شبیه سازی نمود.

حافظه های فلش حافظه‌هایی هستند که برنامه اصلی با پروگرامر بر روی آن‌ها ریخته می‌شود و معمولا توسط برنامه، برای نوشتن دیتا قابل دسترس نمی‌باشد. اما در میکروهای STM32 دسترسی به این حافظه، توسط خود میکرو و برنامه نوشته شده امکان پذیر است.

کلیات آموزش

در این آموزش قصد داریم یک شمارنده باینری را بر روی میکروکنترلر STM32 پیاده سازی کنیم که با هر بار قطع و وصل شدن تغذیه از مدار، آخرین مقدار شمرده شده بر روی LED های روی برد برد، مجدد نمایش داده شود و شمارش از همان نقطه‌ای که تغذیه قطع شده بود ادامه یابد.

همچنین برای راحتی کاربران، یک کتابخانه آماده جهت شبیه سازی EEPROM در میکروکنترلرهای STM32 جهت دانلود قرار گرفته است. می توانید برای دریافت فایل کتابخانه از این لینک استفاده نمایید.

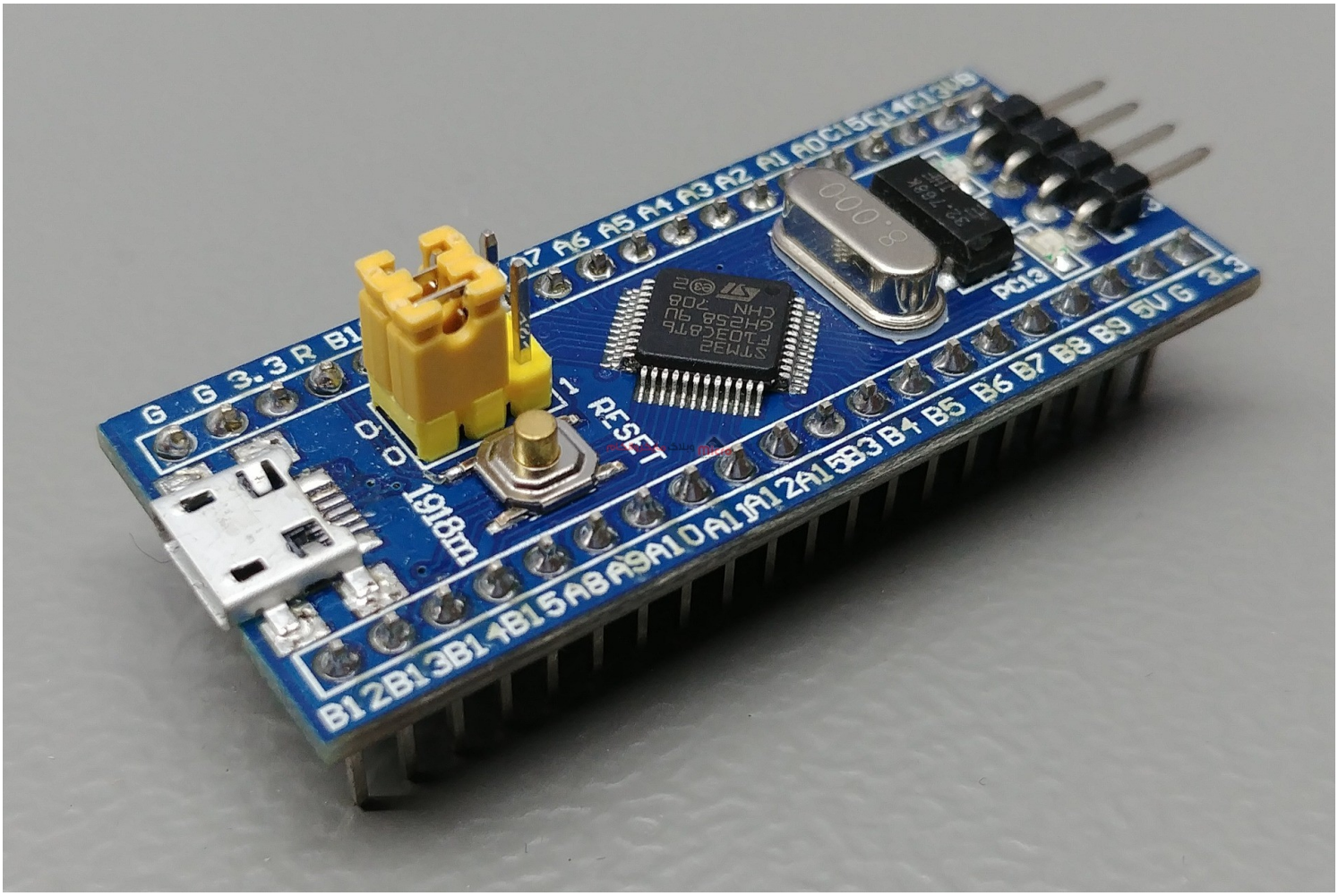
پروژه از طریق STM32CUBEMX تولید و سپس در Keil IDE کدنویسی شده و اضافه کردن کتابخانه‌ها در این محیط انجام خواهد گرفت. البته روند کار در محیط IDE های دیگر همچون IAR و CUBEIDE یکسان بوده و می توان از روش گفته شده برایIDE های استاندارد دیگر نیز استفاده نمود.

تعریف پروژه

برای اجرای این آزمایش، از یک برد Bluepill با میکروی STM32f103C8T6، یک کلید و چهار LED استفاده شده است. کاربر با هر بار فشردن کلید، مقدار شمارنده باینری را افزایش داده و عدد بر روی LED ها نمایش داده می‌شود. با قطع کردن تغذیه مدار و وصل کردن مجدد آن، آخرین مقدار شمارش شده بر روی LED ها بارگذاری شده و شمارش از آن نقطه ادامه می‌یابد.

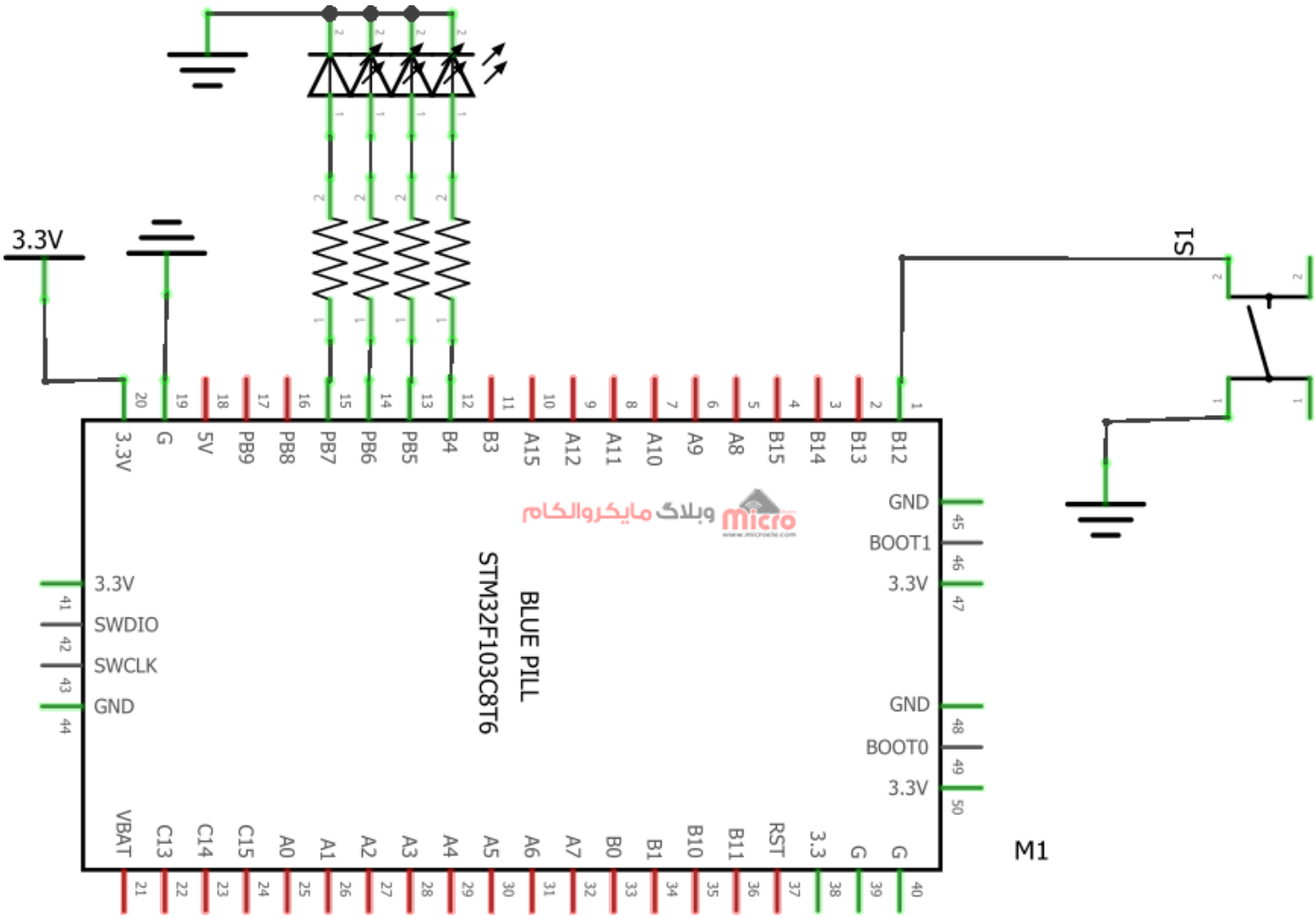
وسایل مورد نیاز

- برد Bluepill با میکروی STM32F103C8T6
- برد بورد
- LED
- سیم برد بردی
- پروگرامر St-link V2



STM32f103C8T6

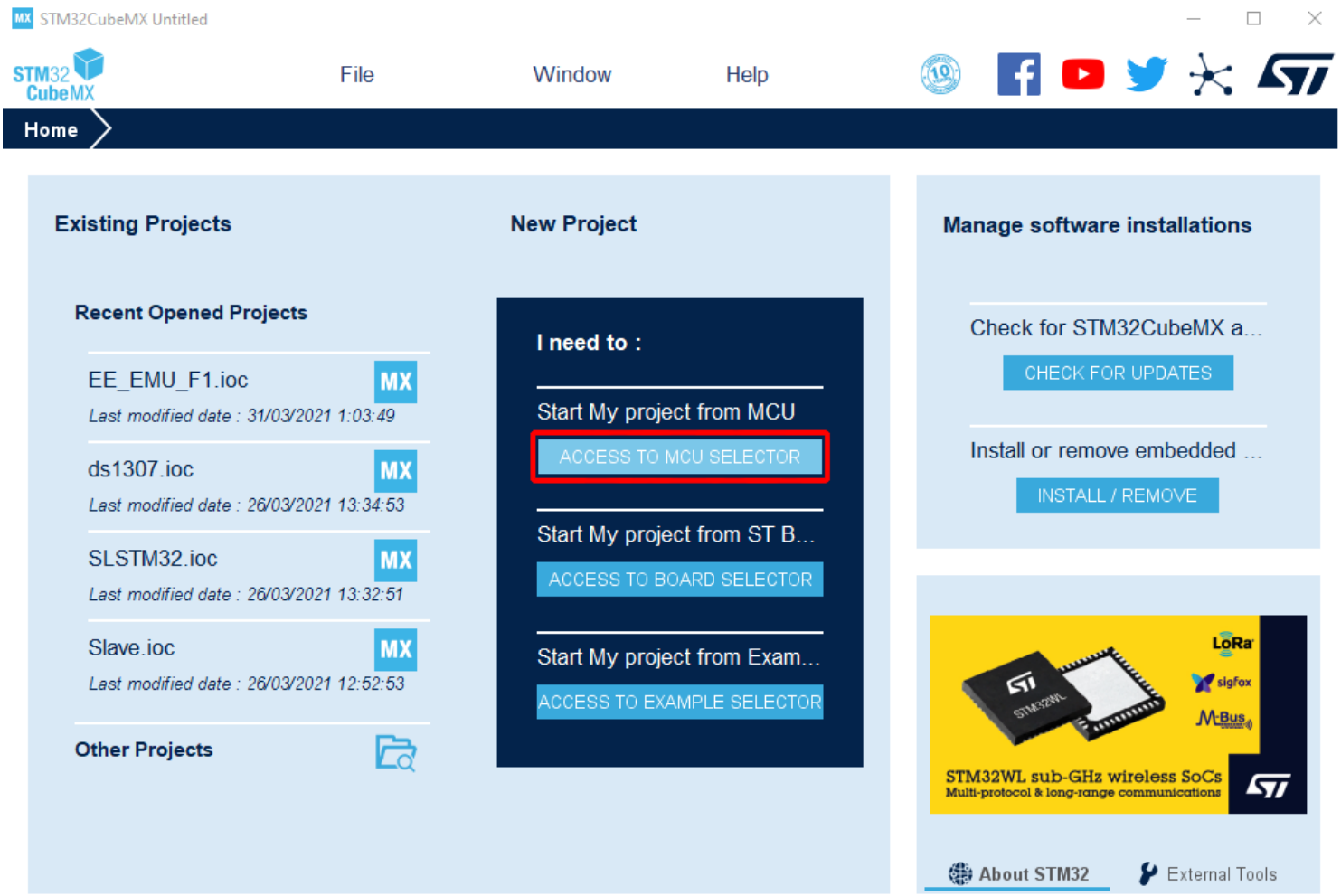
شماتیک مدار



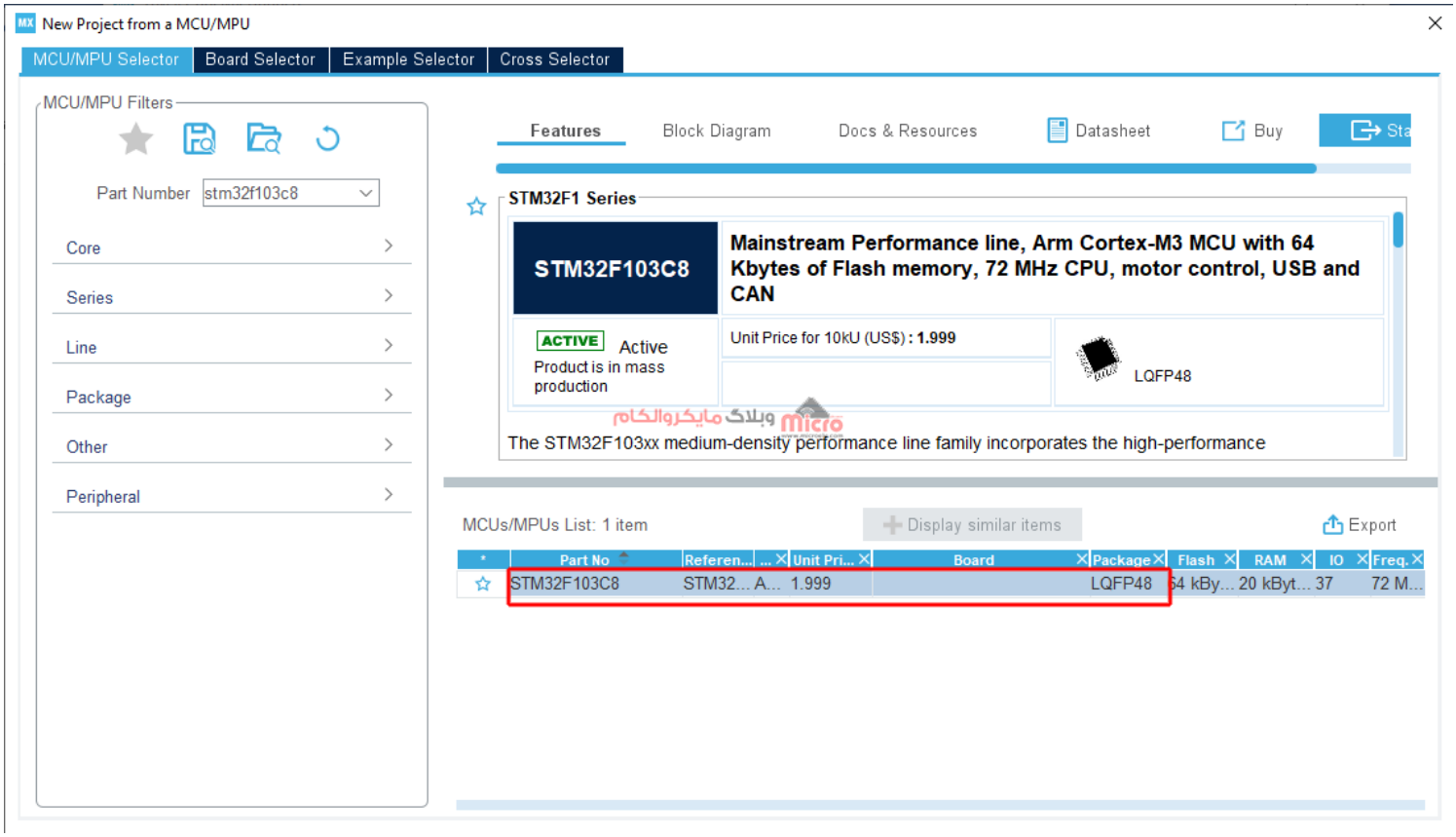
Schematic

مراحل انجام آزمایش

ابتدا نرم افزار STM32CUBEMX را باز کرده و بعد از انتخاب گزینه ACCESS TO MCU SELECTOR، میکروی STM32f103C8T6 را انتخاب می‌کنیم (شما می‌توانید میکرو مورد نظر خود را از سری F1، F0 و یا F3 انتخاب کنید).

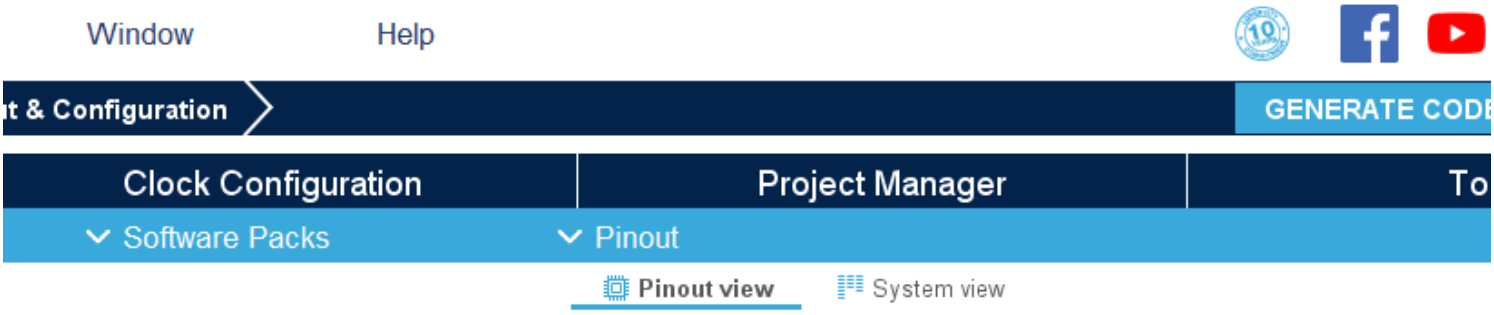


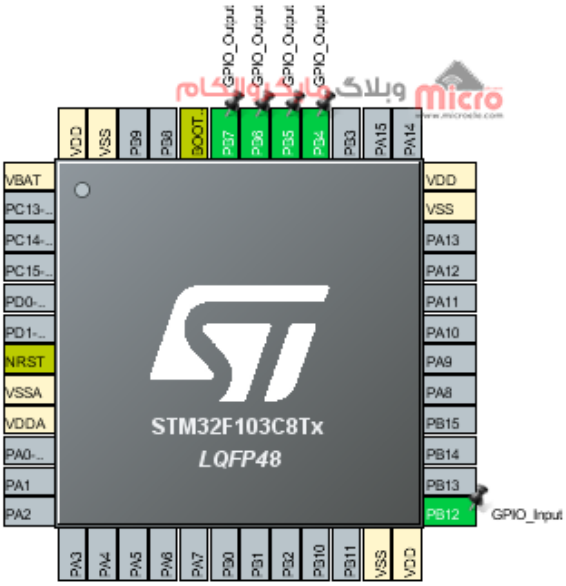
STM32 CubeMX



STM32 CubeMX

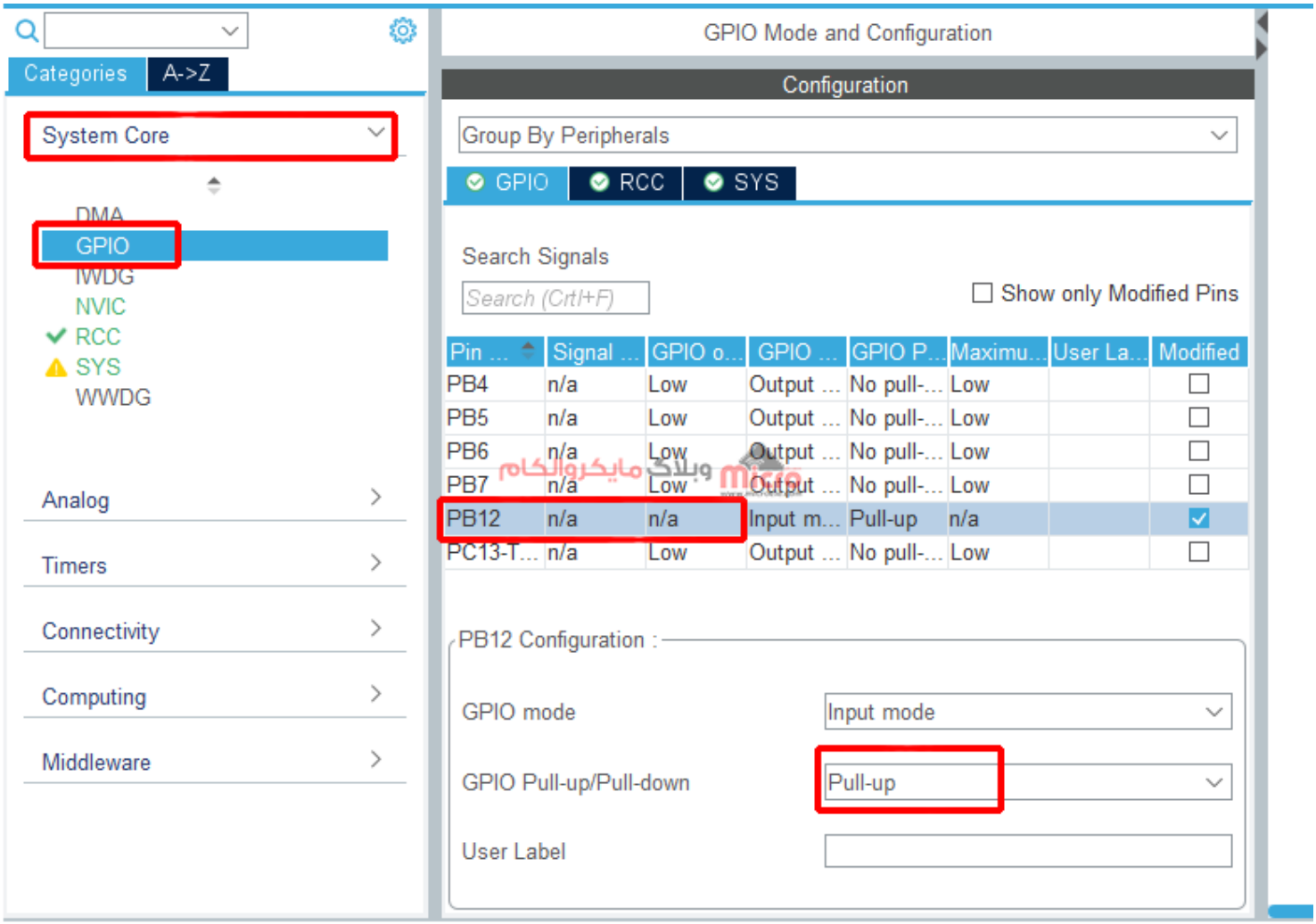
در محیط CUBE، پایه PB12 را برای کلید، ورودی (input) و پایه های PB6، PB5، PB4 و PB7 را برای اتصال LED ها، خروجی (output) تعریف می‌کنیم.





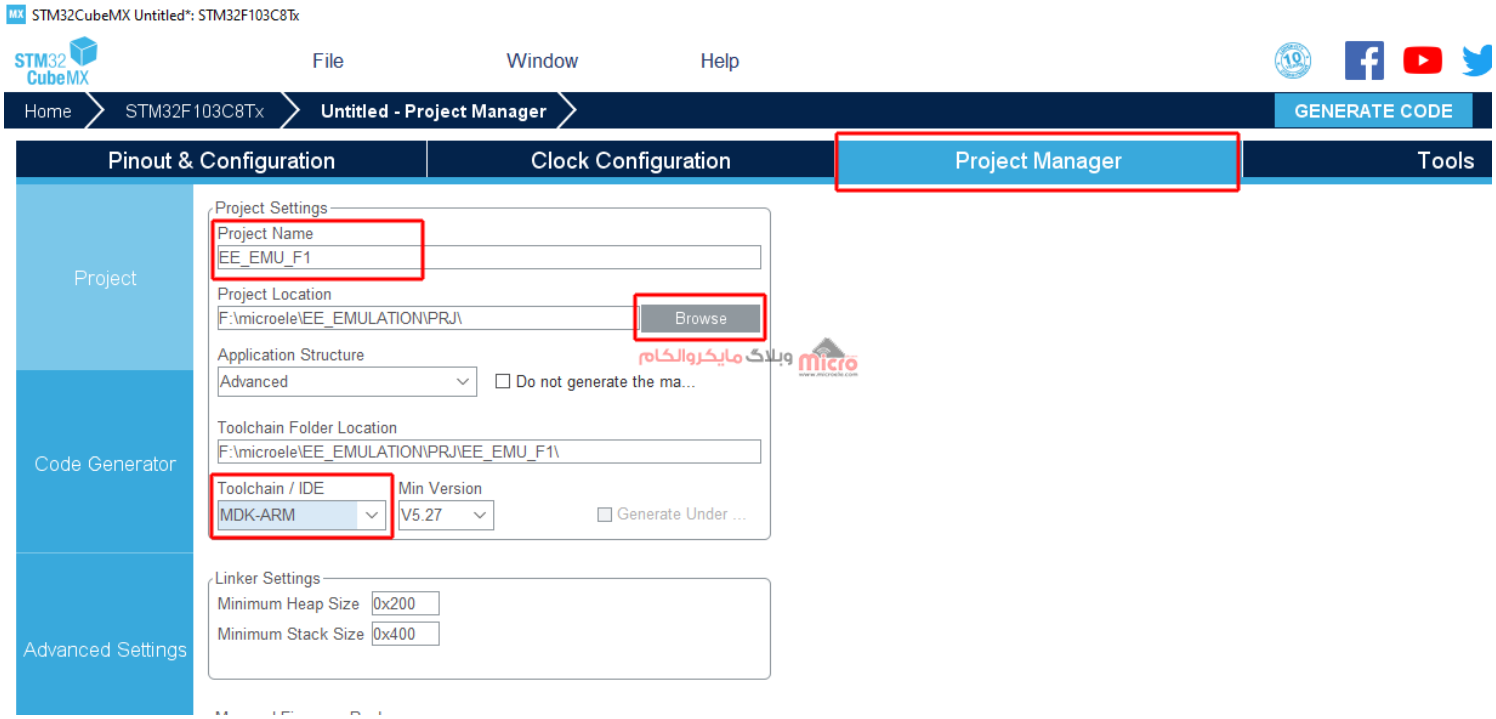
pin configuration STM32 CubeMX

همچنین پایه PB12 را که پایه مربوط به اتصال کلید است، در نرم افزار Cubemx با رفتن به قسمت System Core و سپس GPIO به صورت Pullup تعریف می‌کنیم.



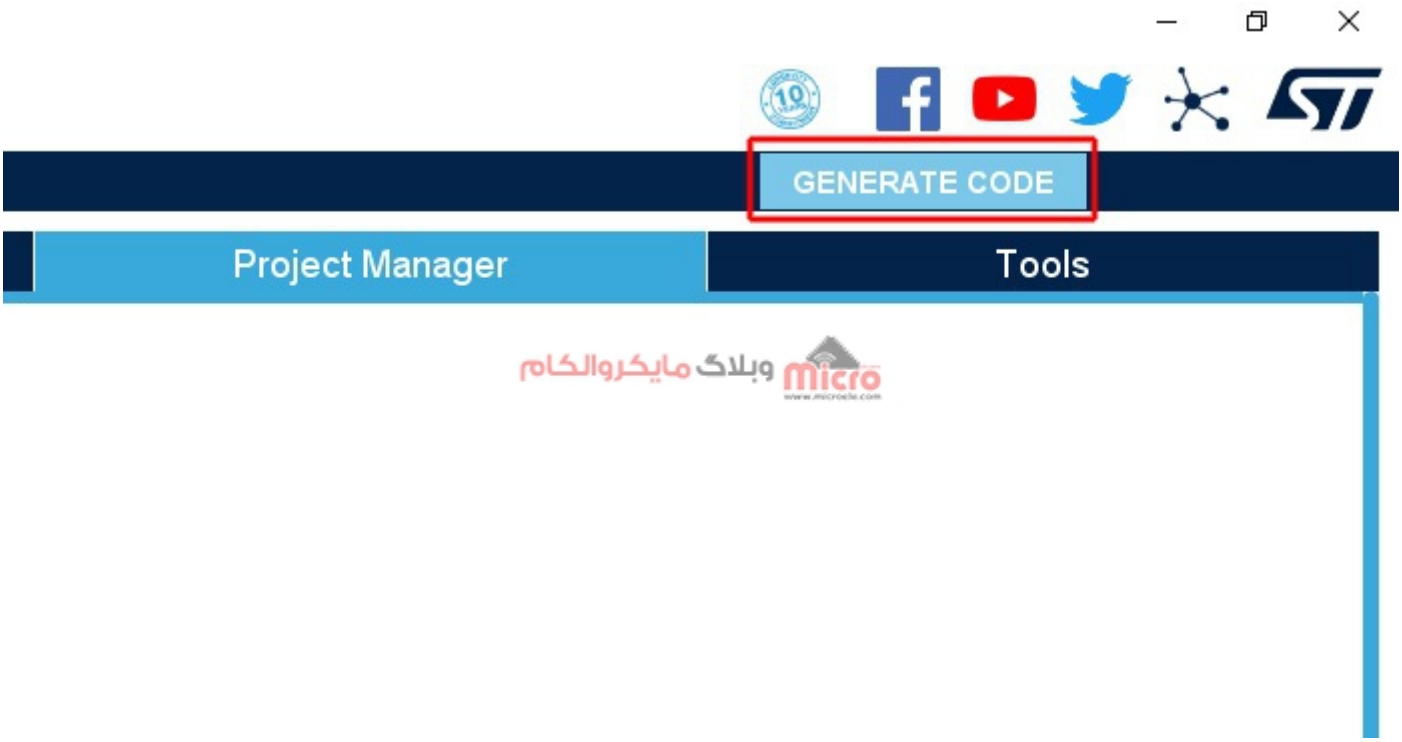
pin configuration STM32 CubeMX

سپس به سربرگ Project Manager رفته و در آن جا نام پروژه، محل ذخیره سازی و IDE مد نظر خود را برای توسعه برنامه انتخاب می‌کنیم.



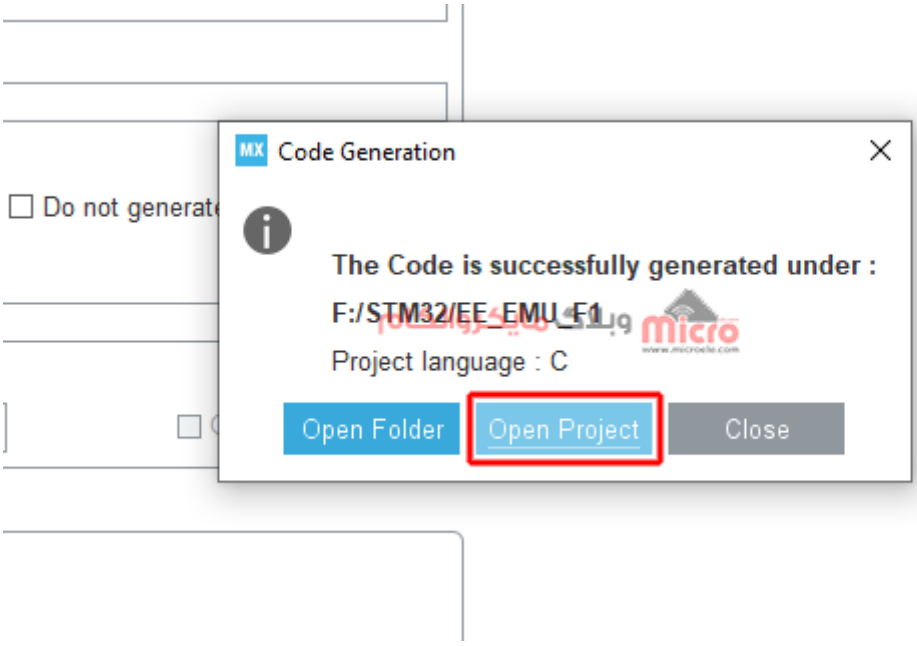
Project Manager STM32 CubeMX

بر روی GENERATE CODE کلیک کرده و منتظر مانده تا پروژه تولید شود.



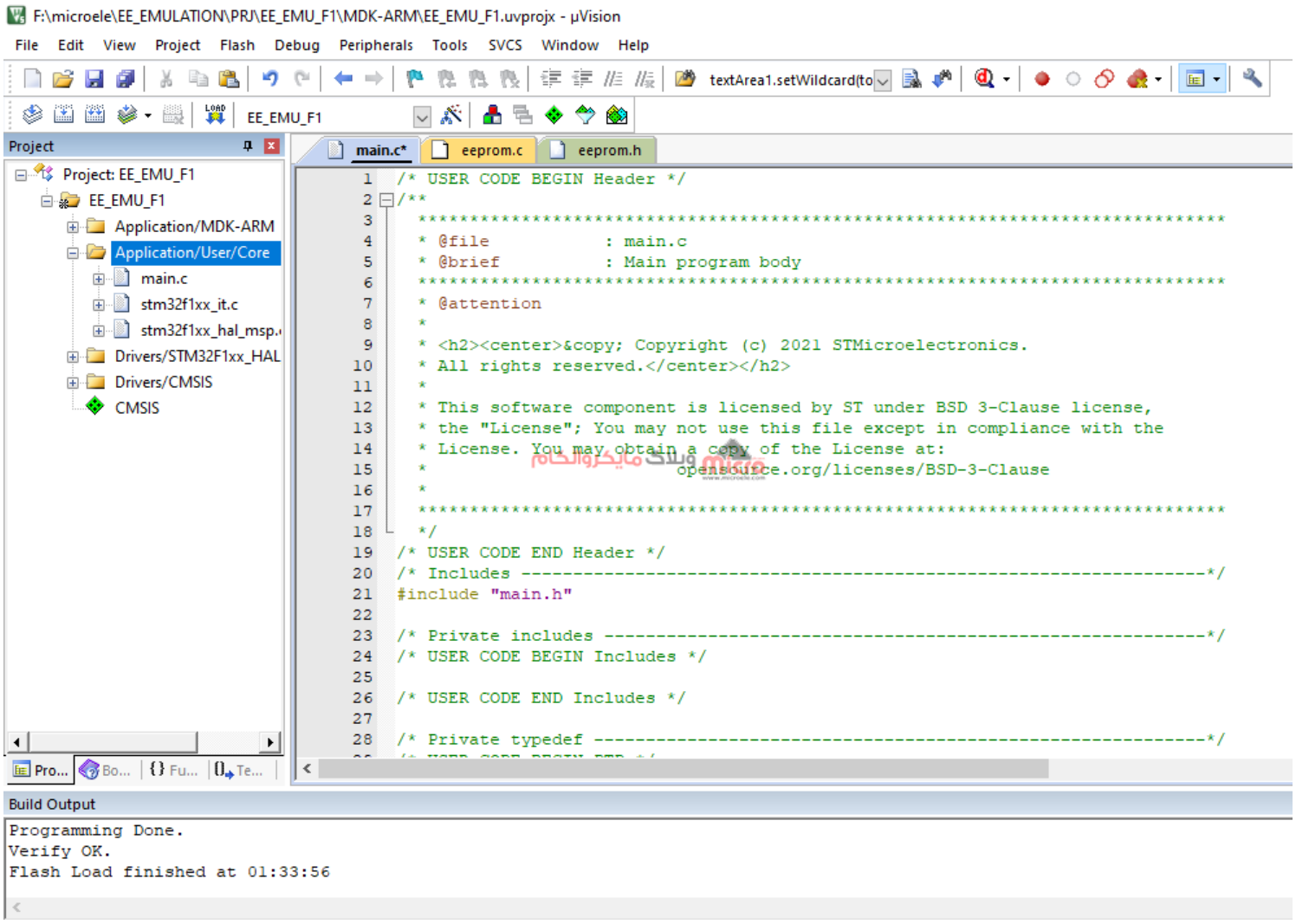
Project Manager STM32 CubeMX

بعد از تولید کد، یک دیالوگ باکس با پیغام موفقیت آمیز بودنِ تولیدِ کد ظاهر می‌شود که با کلیک بر روی Open project، مستقیما به محیط IDE انتخاب شده برای کد نویسی، که در اینجا برای ما محیط Keil می‌باشد خواهیم رفت.



Code Generating STM32 CubeMX

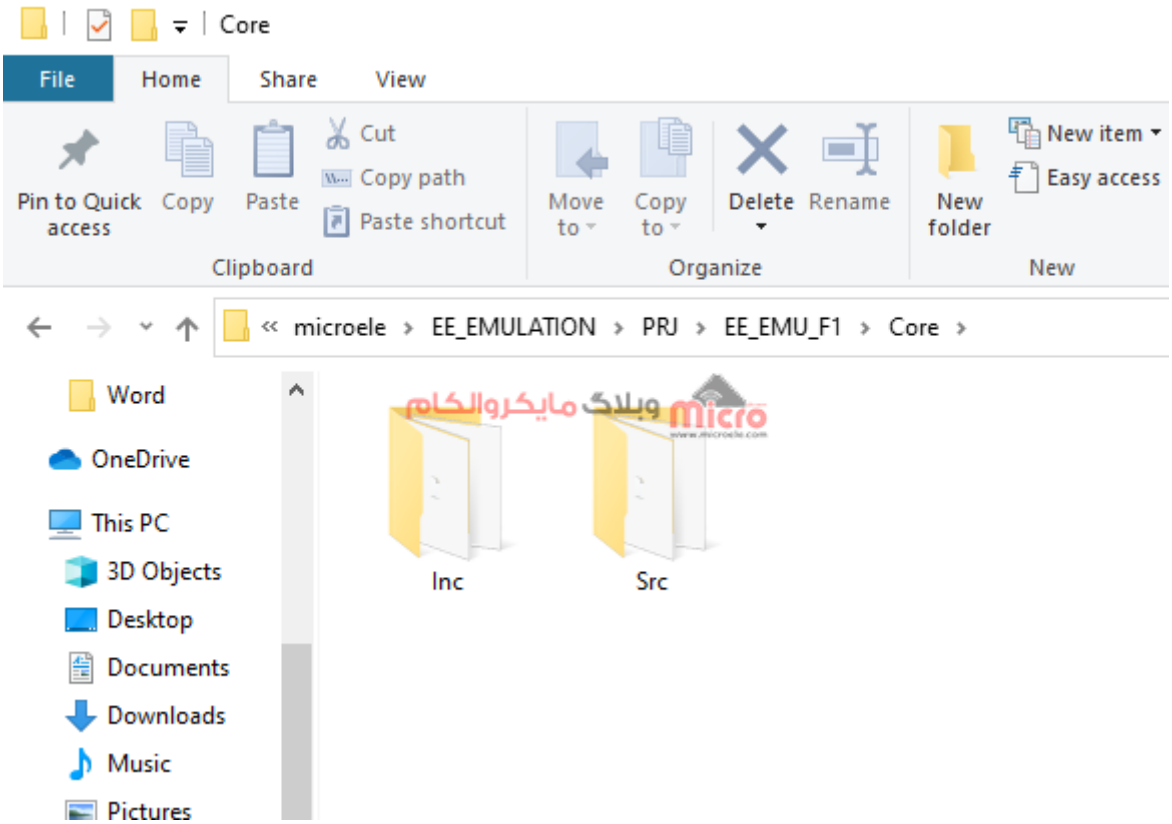
در محیط Keil از قسمت Application/User/Core فایل main.c را باز می‌کنیم.



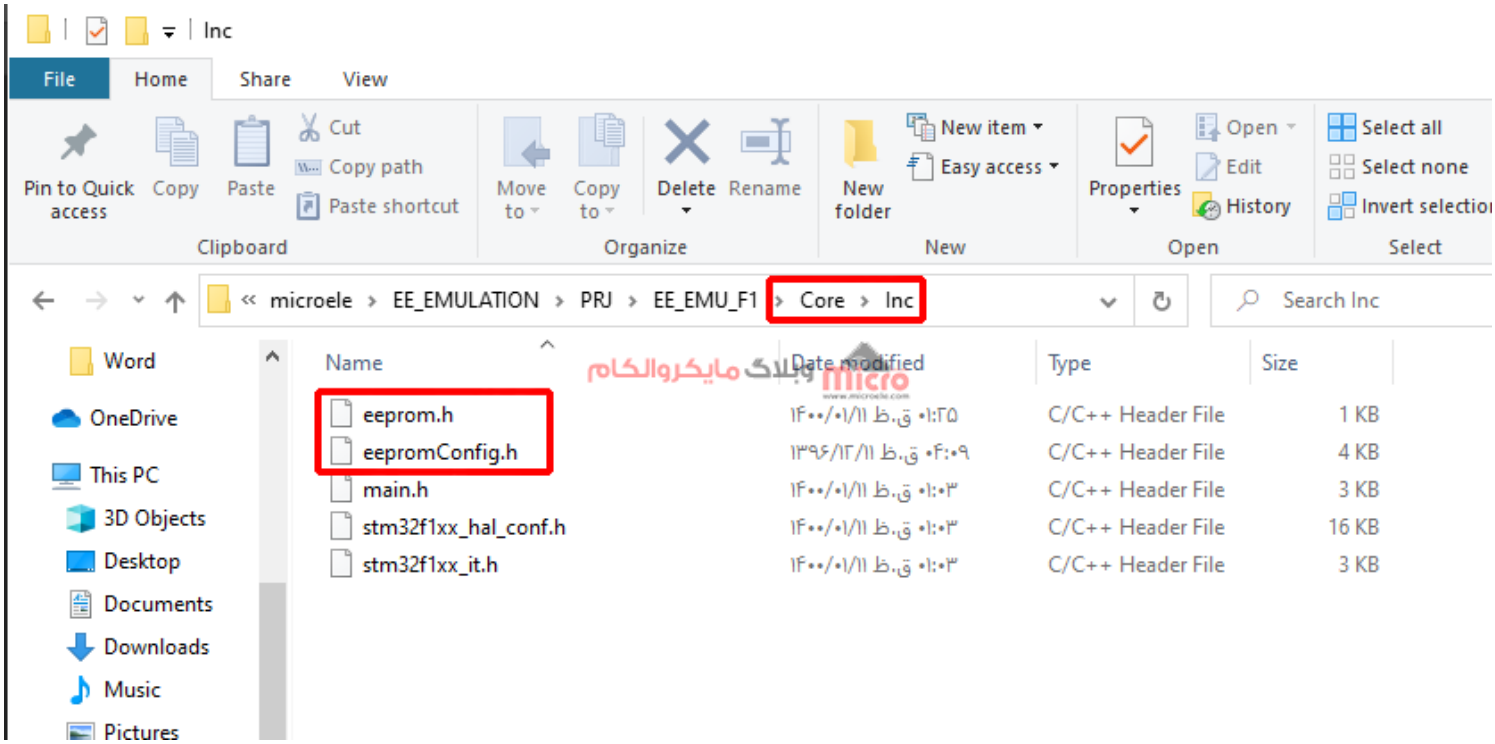
Keil

حال باید فایل های کتابخانه مربوط به eeprom را به پروژه اضافه کنیم. این کتابخانه شامل یک فایل ".c" و دو فایل ".h" می‌باشد که باید در مسیر پوشه Core و در داخل پوشه های Src و Inc کپی شوند. توجه شود که در نسخه‌های قدیمی CUBEMX بعد از تولید کد، پوشه های Src و Inc درون پوشه اصلی پروژه قرار دارند.

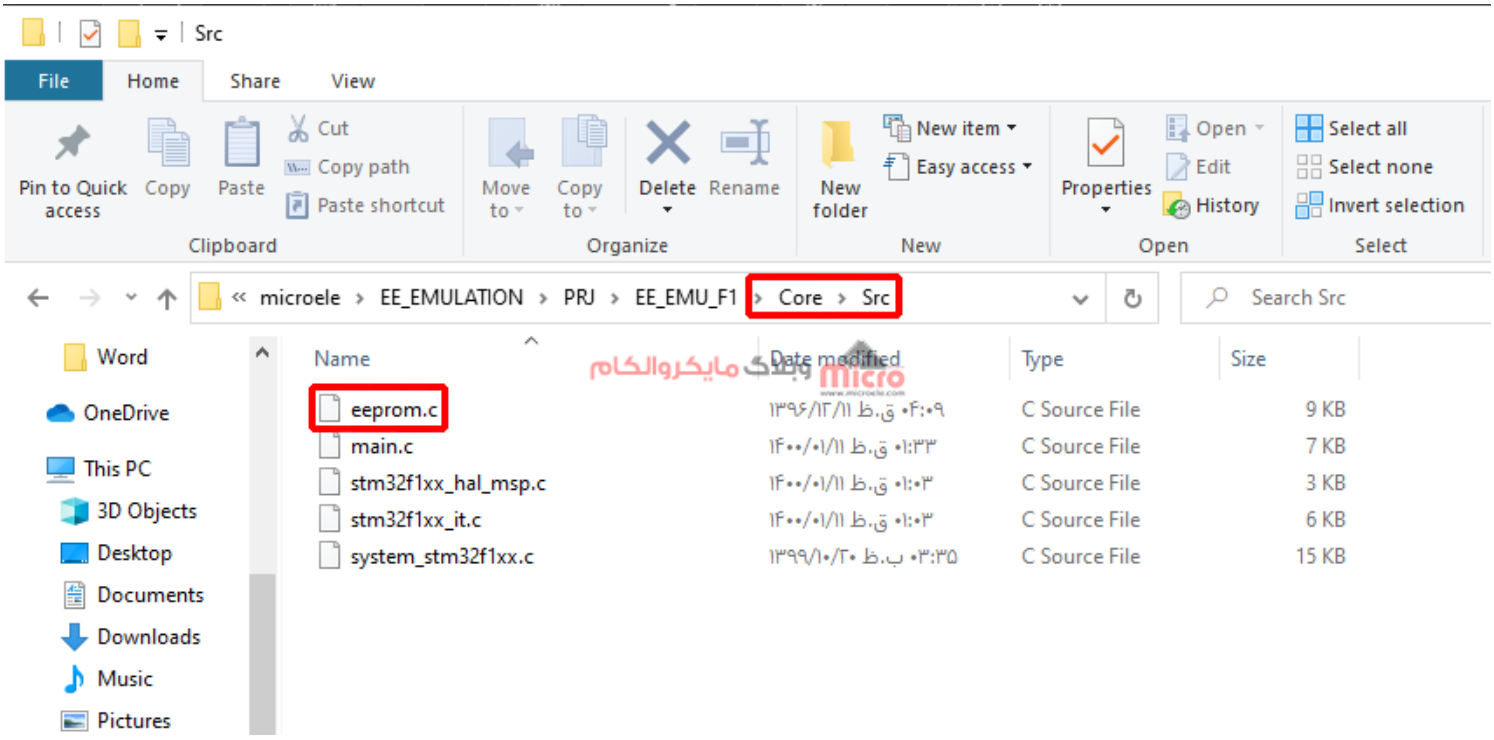
بعد از دانلود و دریافت فایل‌های کتابخانه، فایل eeprom.c را در پوشه Src و فایل های eeprom.h و eepromConfig.h را درون پوشه Inc قرار دهید.



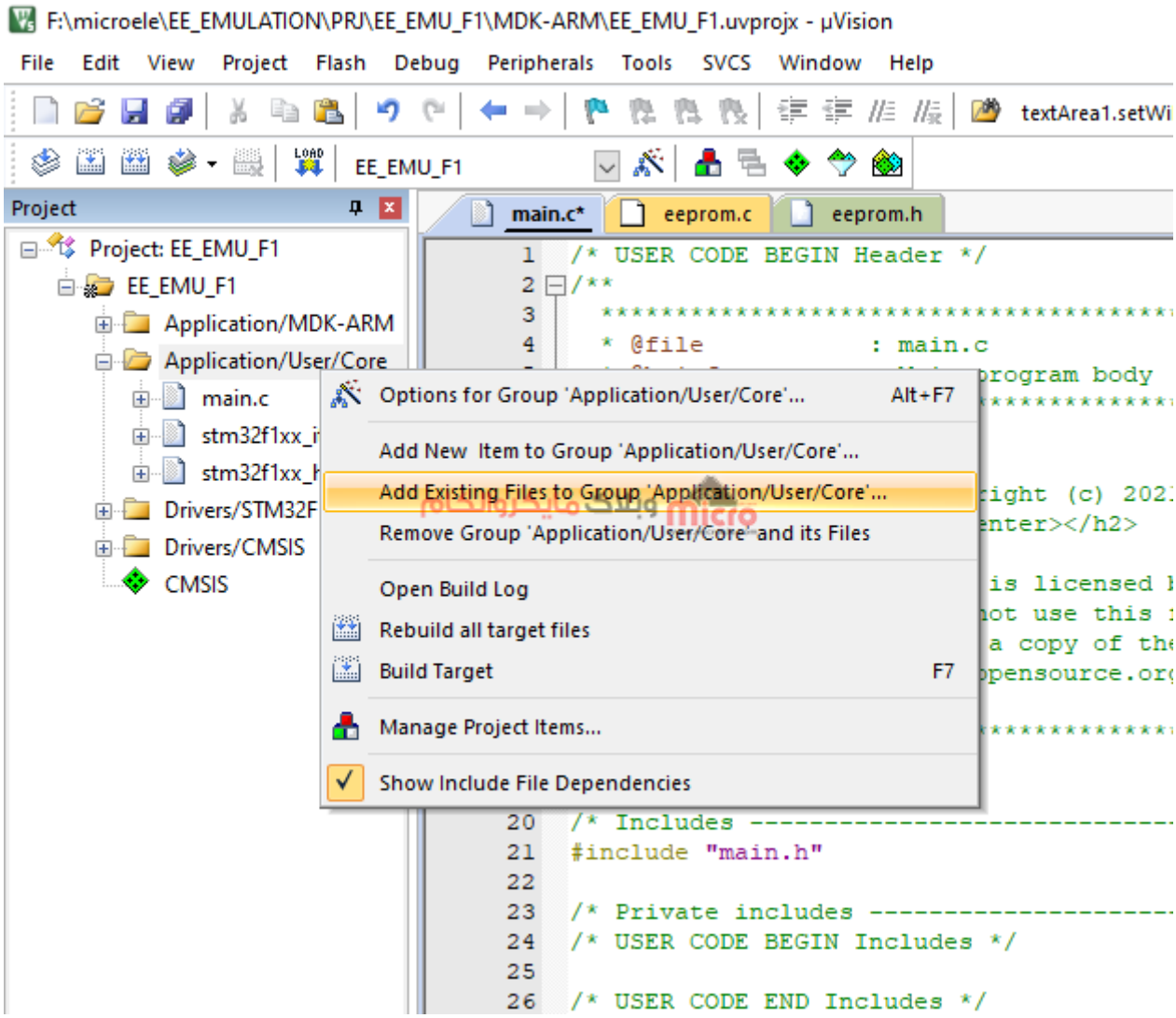
کتابخانه *EEPROM*



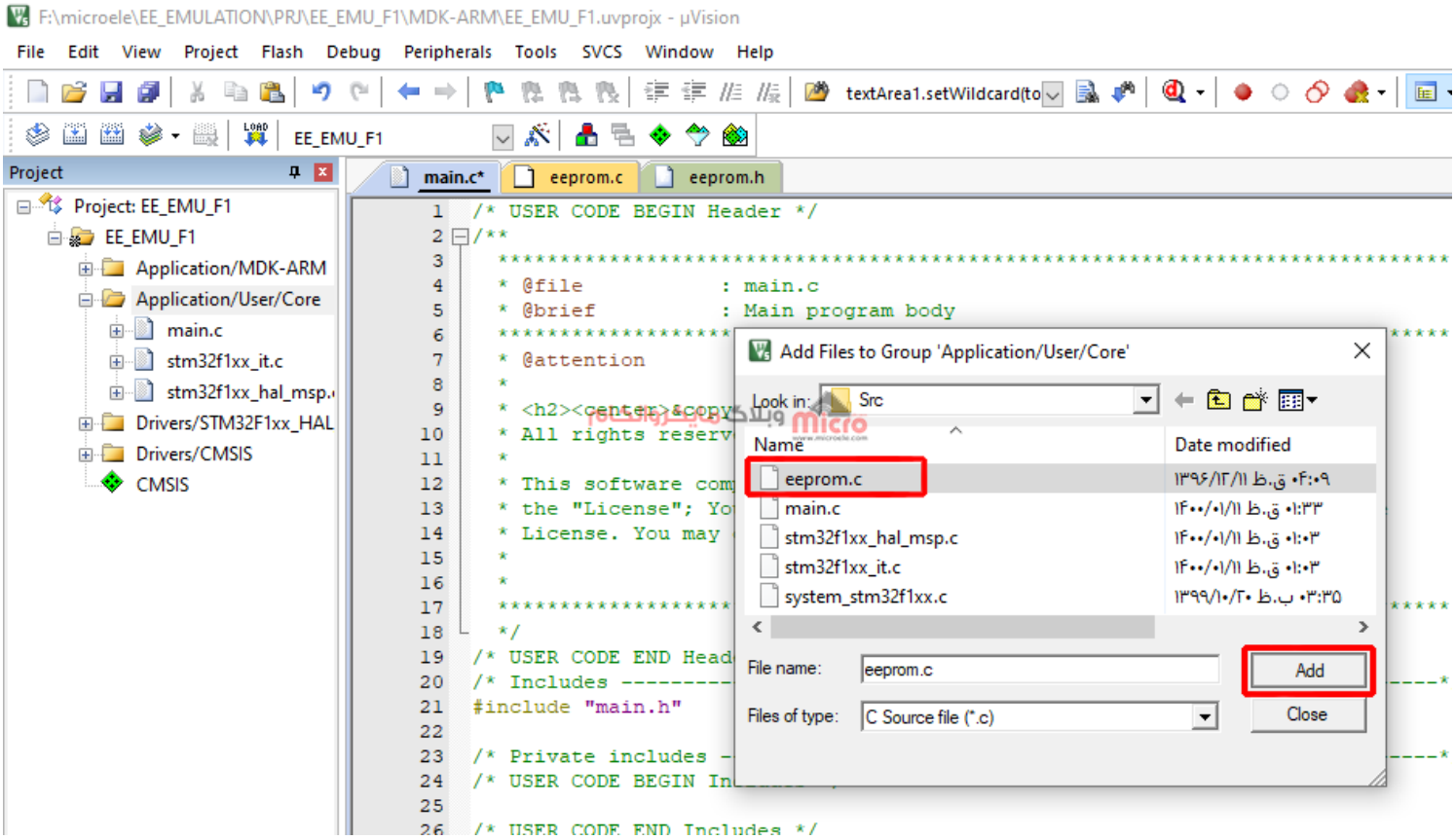
اضافه کردن کتابخانه *EEPROM*



اضافه کردن کتابخانه *EEPROM*

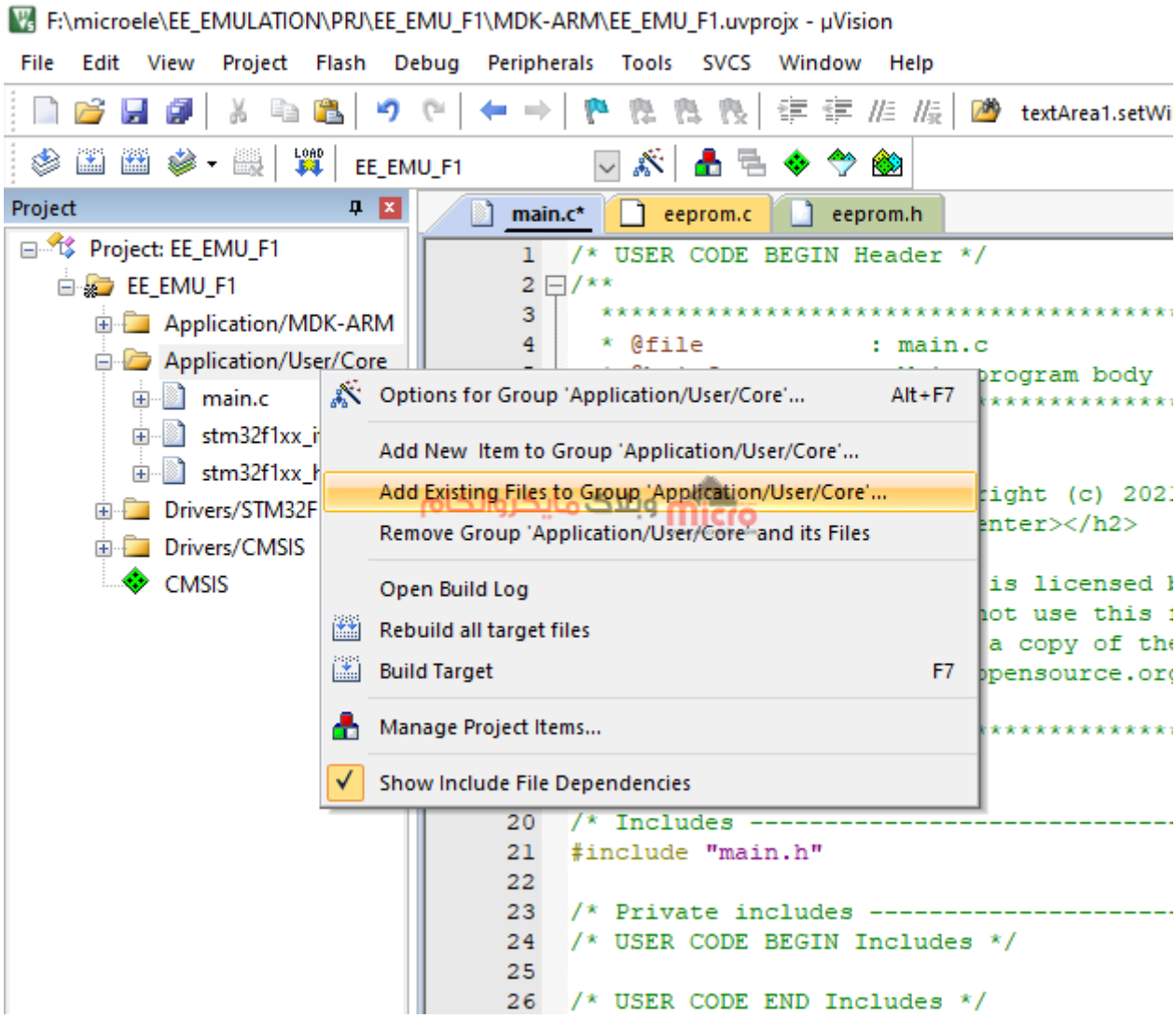


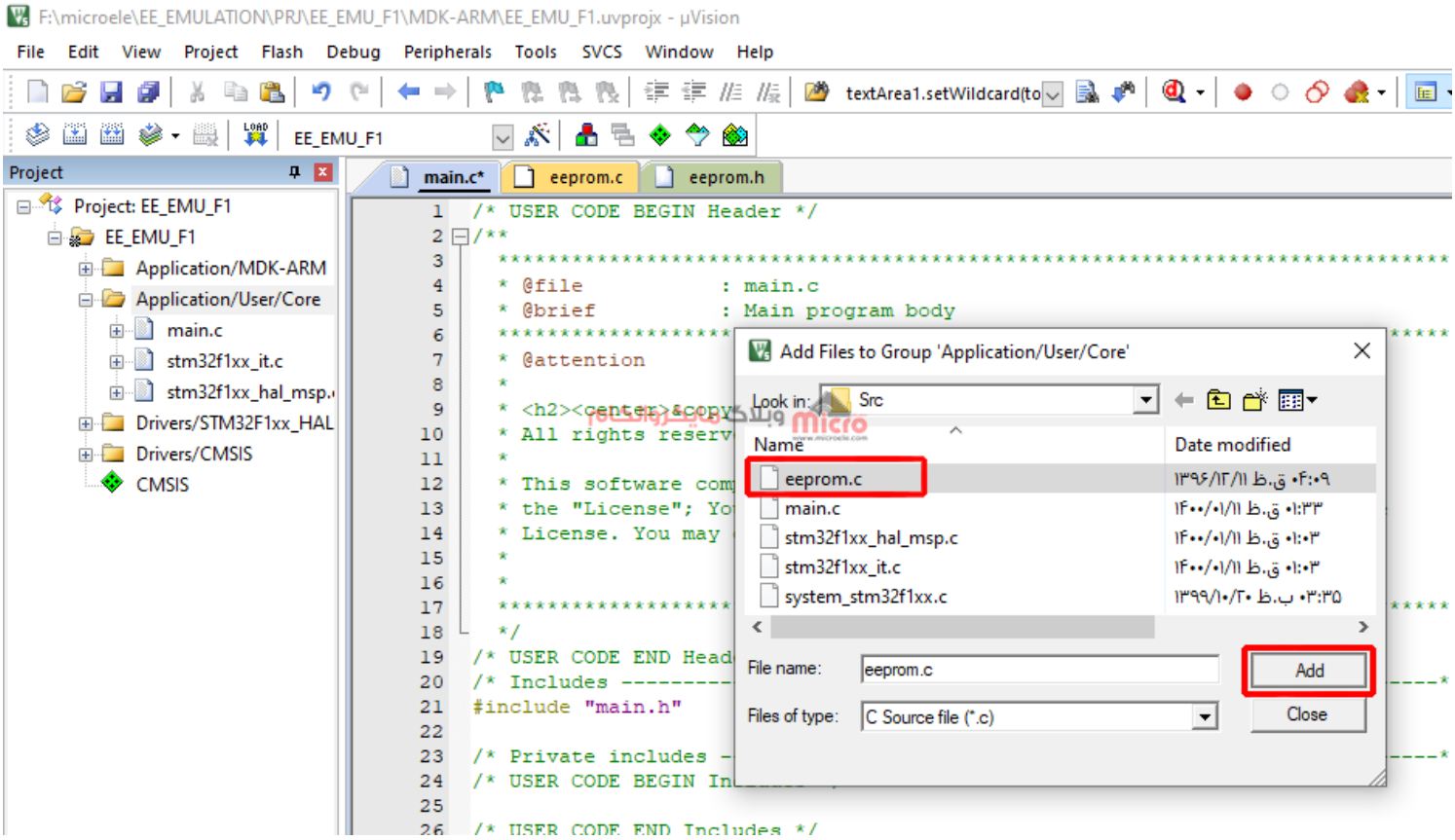
اضافه کردن کتابخانه *EEPROM*



اضافه کردن کتابخانه *EEPROM*

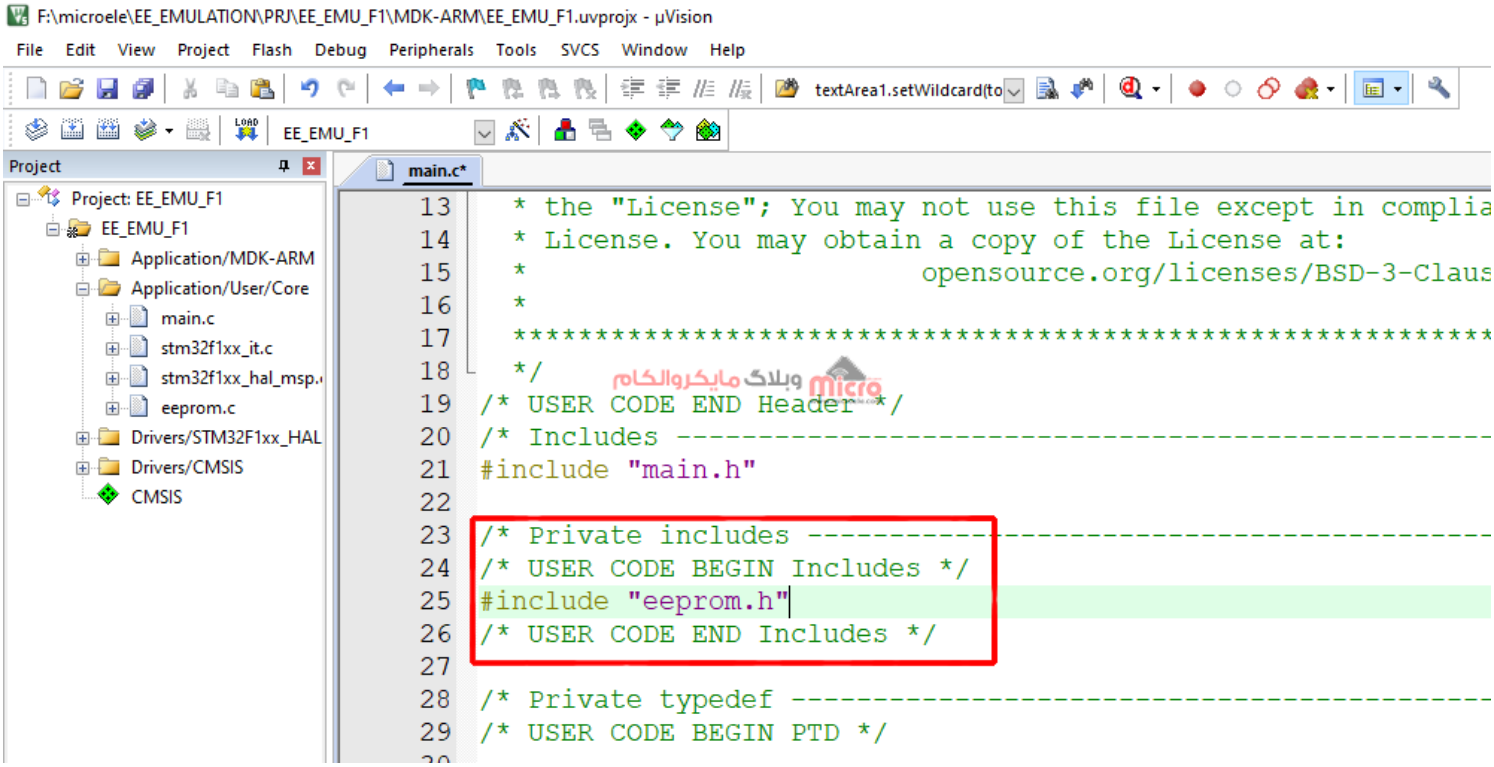
بر روی Application/User/Core کلیک راست کرده و گزینه Add Existing Files to Group را انتخاب و فایل eeprom.c را اضافه کنید.


F:\microele\EE_EMULATION\PRJ\EE_EMU_F1\MDK-ARM\EE_EMU_F1.uvprojx - µVision
File Edit View Project Flash Debug Peripherals Tools SVCS Window Help
EE_EMU_F1
Project
Project: EE_EMU_F1
EE_EMU_F1
Application/MDK-ARM
Application/User/Core
main.c
Drivers/STM32F
Drivers/CMSIS
CMSIS
main.c*
eeprom.c
eeprom.h
Options for Group 'Application/User/Core'... Alt+F7
Add New Item to Group 'Application/User/Core'...
Add Existing Files to Group 'Application/User/Core'...
Remove Group 'Application/User/Core' and its Files
Open Build Log
Rebuild all target files
Build Target F7
Manage Project Items...
Show Include File Dependencies
/* USER CODE BEGIN Header */
/**
* @file : main.c
/* Includes
#include "main.h"
/* Private includes
/* USER CODE BEGIN Includes */
/* USER CODE END Includes */



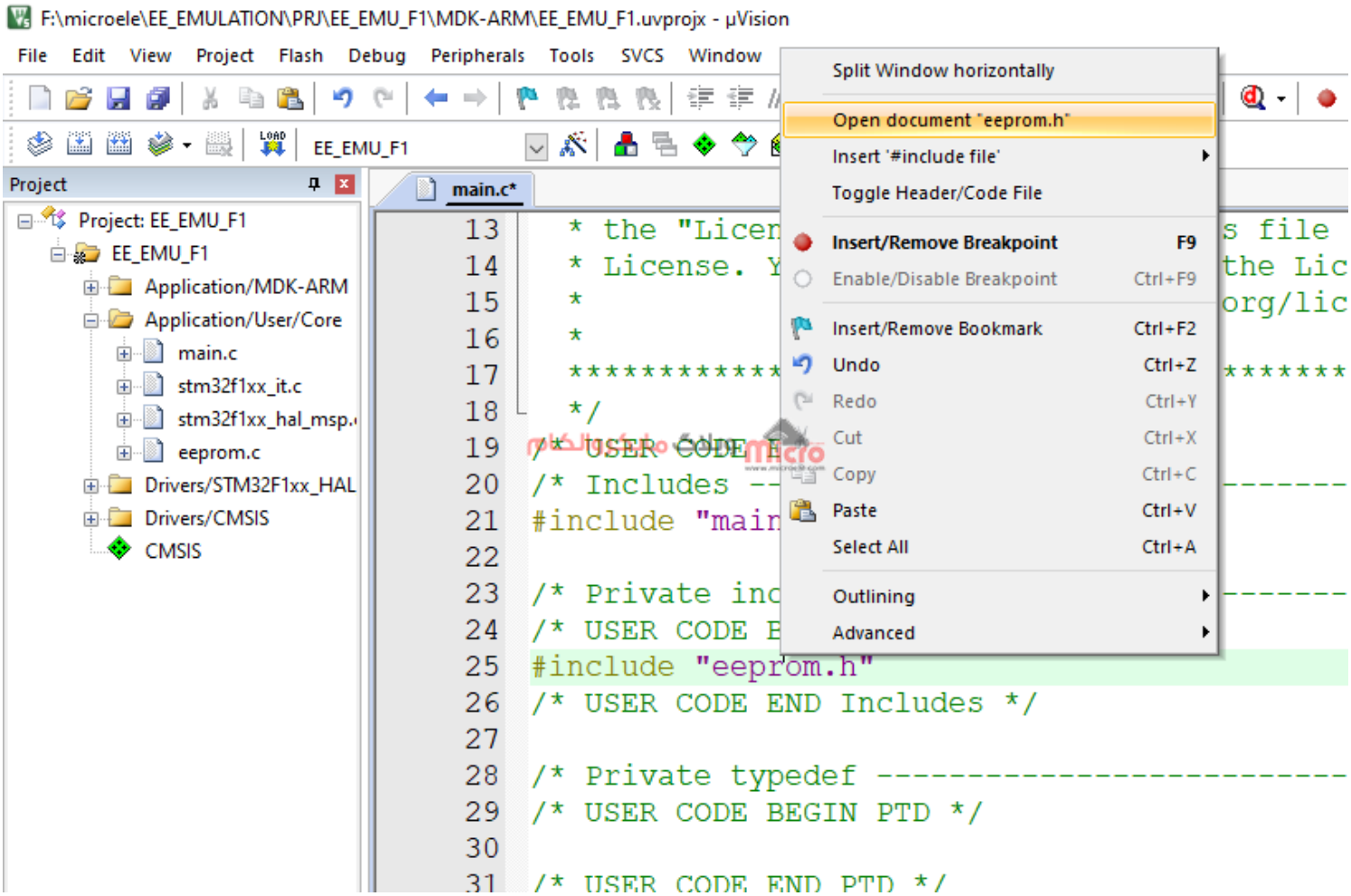
کد نویسی

حال به سراغ کدنویسی می‌رویم. ابتدا در قسمت Private includes، کتابخانه eeprom.h را اضافه کنید.



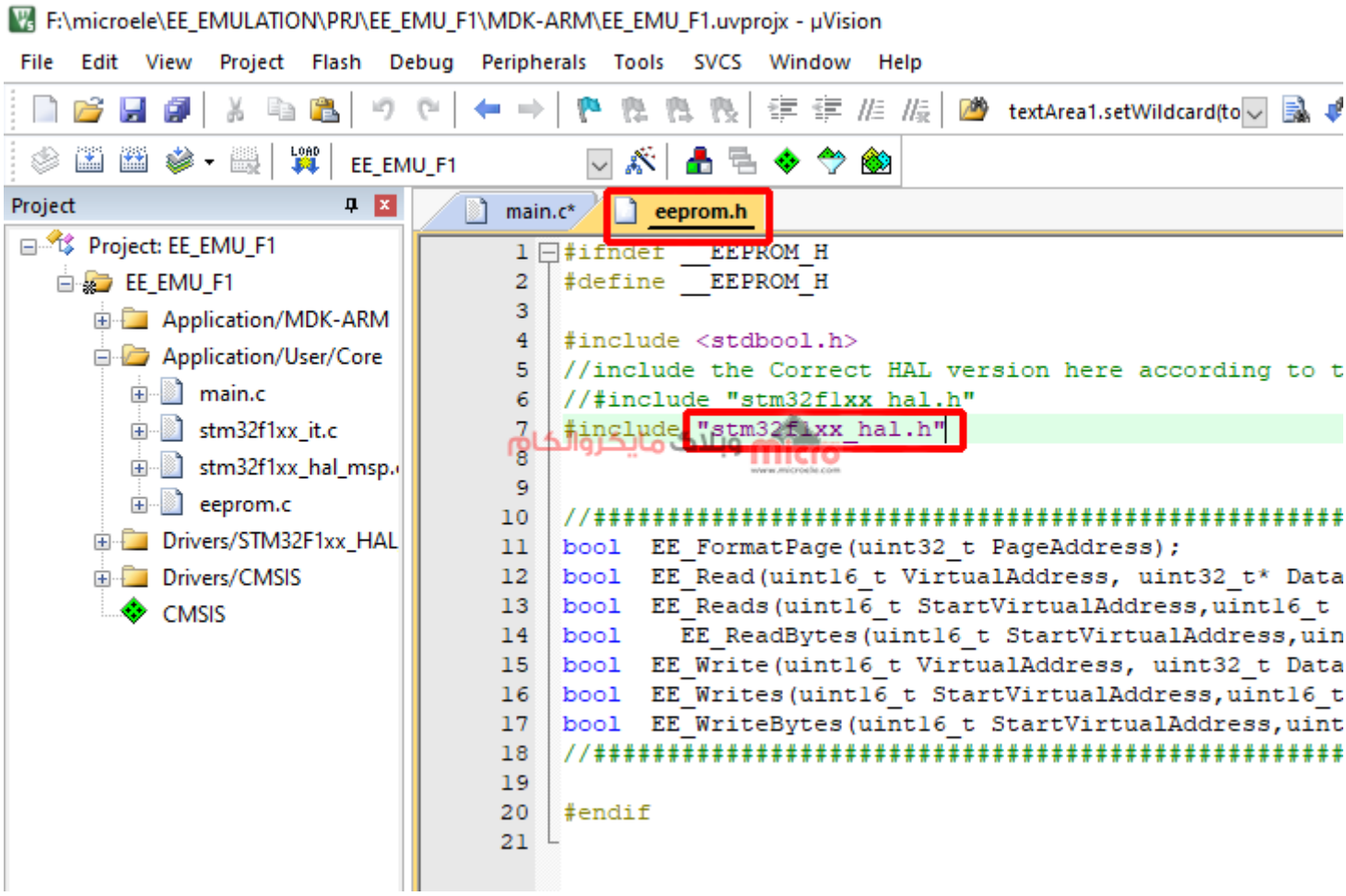
اضافه کردن کتابخانه *EEPROM*

در صورتی که می‌خواهید سری میکروی مورد نظر خود را تغییر دهید، می‌توانید با کلیک راست بر روی eeprom.h و انتخاب گزینه open document فایل کتابخانه را باز کرده و هدر میکروی مدنظر خود را جایگزین کنید.



اضافه کردن کتابخانه *EEPROM* به پروژه، در محیط *Keil*

کتابخانه به صورت پیش فرض بر روی stm32f1 تنظیم شده است که با تغییر عدد جلوی f (f0، f3) می‌توانید از این کتابخانه برای سری های دیگر نیز استفاده کنید.



اضافه کردن کتابخانه EEPROM به Keil

برای نوشتن بدنه اصلی برنامه، مجدد به فایل main.c بر می‌گردیم.

توابع مورد استفاده، برای ذخیره سازی مقادیر مورد نیاز و خواندن اطلاعات در این آزمایش به شرح زیر می باشد:

```
EE_Write(n,m);
```

تابع EE_Write برای نوشتن دیتا در حافظه فلش میکرو مورد استفاده قرار می‌گیرد که در آن n شماره خانه ای از حافظه، و m دیتایی است که می خواهیم ذخیره کنیم.

```
EE_Read(n,q);
```

تابع EE_Read برای خواندن دیتا از حافظه به کار می رود که در آن n شماره خانه و q آرایه ای است که دیتا خوانده شده از حافظه فلش به آن منتقل می‌گردد.

برای شروع کار ابتدا یک آرایه از نوع unit32_t به صورت گلوبال و همچنین یک متغیر از نوع int به نام cnt با مقدار اولیه صفر تعریف کنید.

F:\microele\EE_EMULATION\PRJ\EE_EMU_F1\MDK-ARM\EE_EMU_F1.uvprojx - µVision

File Edit View Project Flash Debug Peripherals Tools SVCS Window Help

Project: EE_EMU_F1
- EE_EMU_F1
  - Application/MDK-ARM
  - Application/User/Core
    - main.c
    - stm32f1xx_it.c
    - stm32f1xx_hal_msp.c
    - eeprom.c
  - Drivers/STM32F1xx_HAL
  - Drivers/CMSIS
  - CMSIS

main.c* | eeprom.h

```
37  /* Private macro -------------------------------
38  /* USER CODE BEGIN PM */
39
40  /* USER CODE END PM */
41
42  /* Private variables ---------------------------
43
44  /* USER CODE BEGIN PV */
45  uint32_t eeprom_buffer[2];
46  int cnt=0;
47  /* USER CODE END PV */
48
49  /* Private function prototypes -----------------
50  void SystemClock_Config(void);
51  static void MX_GPIO_Init(void);
52  /* USER CODE BEGIN PFP */
53
54  /* USER CODE END PFP */
55
56  /* Private user code ---------------------------
57  /* USER CODE BEGIN 0 */
```

Build Output

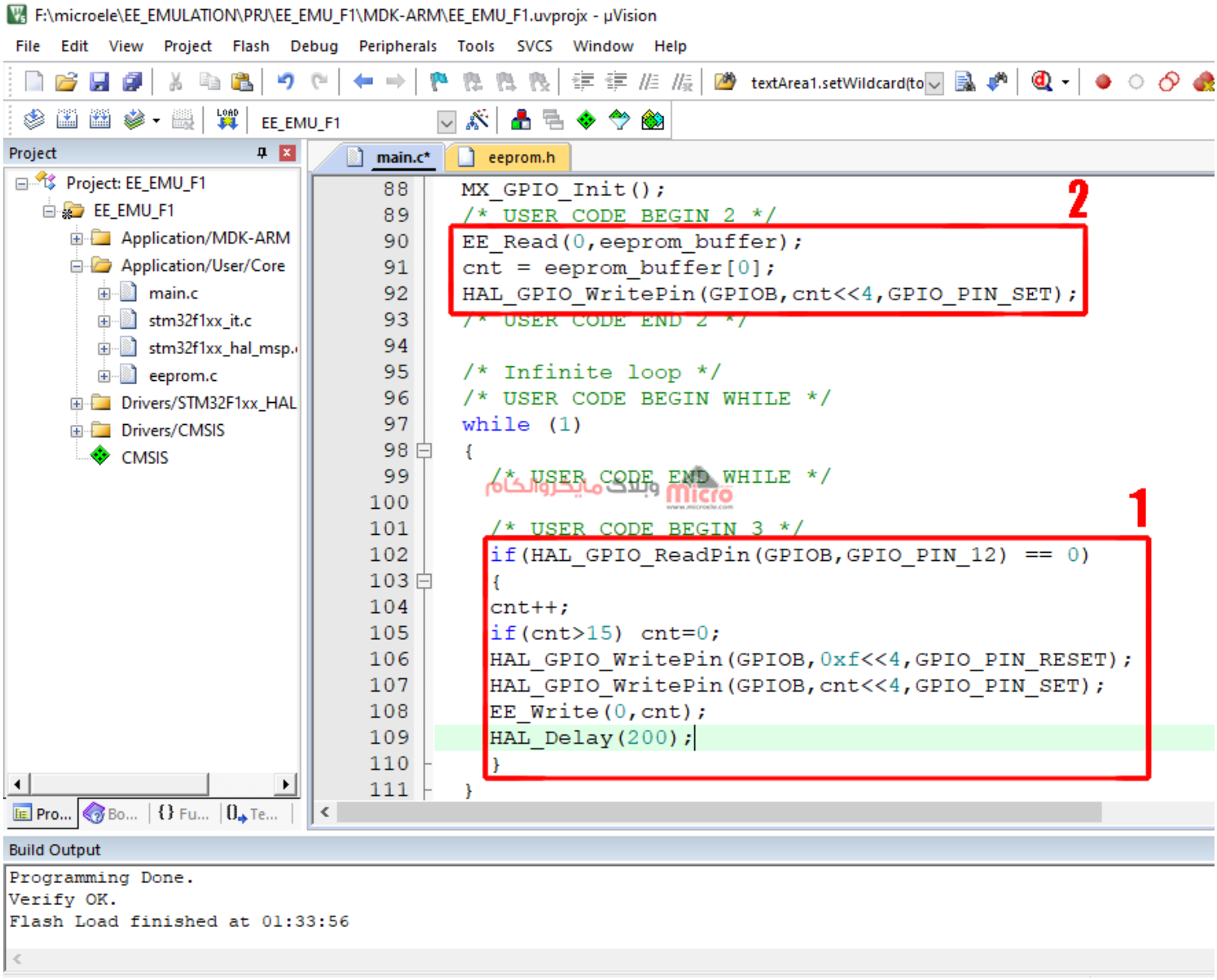
```
Programming Done.
Verify OK
```

EEPROM در میکروکنترلر های سری STM32

```
/* USER CODE BEGIN PV */
int cnt=0;
uint32_t eeprom_buffer[2];
```

```
/* USER CODE END PV */
```

حال برنامه به صورت زیر تکمیل می‌شود:



افزودن EEPROM در میکروکنترلر های سری STM32

-در قسمت 1 ابتدا وضعیت کلید خوانده می‌شود. کلید از قبل Pullup شده و با هر باز زدن آن، پایه مربوطه صفر می

گردد. مقدار cnt زیاد شده و در نهایت با دستور HAL_GPIO_WritePin عدد داخل متغیر cnt بر روی پایه‌های مورد نظر دیده خواهد شد و از طریق تابع EE_Write مقدار cnt در خانه صفرم حافظه ذخیره می‌گردد.

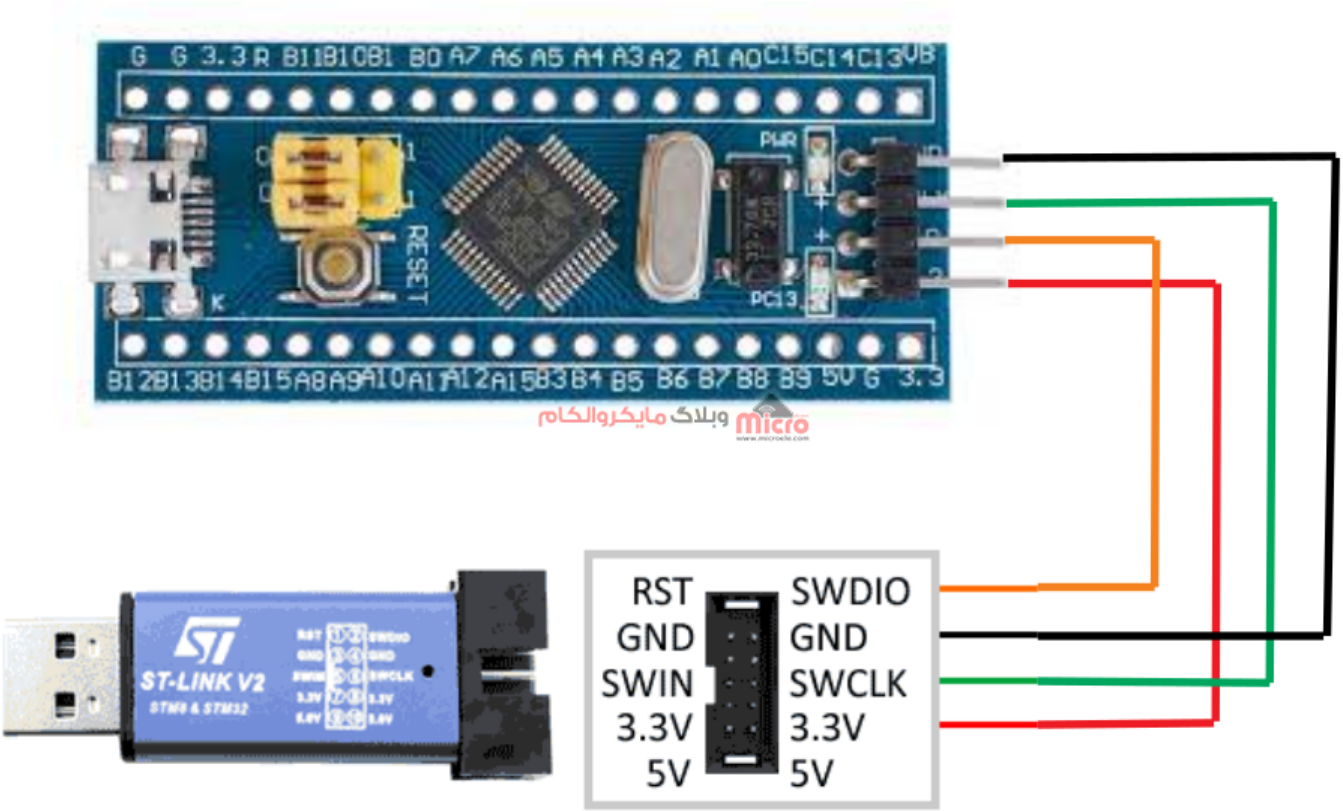
در قسمت 2 با استفاده از تابع EE_Read ، خانه صفرم خوانده شده و در آرایه eeprom_buffer که قبل تر تعریف کرده بودیم ریخته می‌شود. این مقدار به صورت پیش فرض در خانه صفرم آرایه ذخیره شده است که آن را به cnt منتقل می‌کنیم (cnt = eeprom_buffer[0]).

سپس مقدار cnt را مجددا با دستور HAL_GPIO_WritePin بر روی LED ها نمایش می‌دهیم.

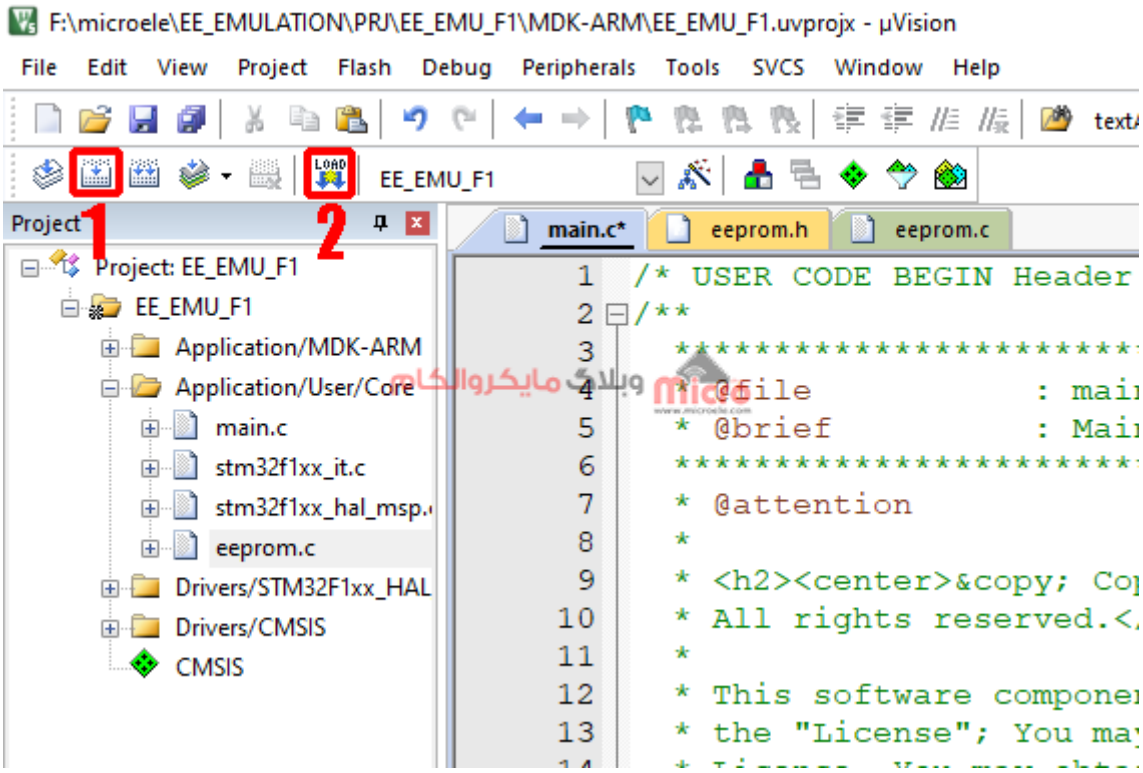
```
/* USER CODE BEGIN 2 */
  EE_Read(0,eeprom_buffer);
    cnt = eeprom_buffer[0];
    HAL_GPIO_WritePin(GPIOB,cnt<<4,GPIO_PIN_SET);
  /* USER CODE END 2 */

  /* Infinite loop */
  /* USER CODE BEGIN WHILE */
  while (1)
  {
    /* USER CODE END WHILE */

    /* USER CODE BEGIN 3 */
        if(HAL_GPIO_ReadPin(GPIOB,GPIO_PIN_12) == 0)
        {
        cnt++;
    if(cnt>15) cnt=0;
        HAL_GPIO_WritePin(GPIOB,0xf<<4,GPIO_PIN_RESET);
        HAL_GPIO_WritePin(GPIOB,cnt<<4,GPIO_PIN_SET);
        EE_Write(0,cnt);
        HAL_Delay(300);
        }
  }
```

```
/* USER CODE END 3 */
```

حال برنامه را Build کرده و با اتصال پروگرامر ST-LINK به برد، برنامه را LOAD می‌کنیم.



اتصال *Bluepill* به پروگرامر *ST-LINK V2*



کامپایل و *LOAD* کردن برنامه در میکروی *STM32*

اکنون با فشردن کلید عدد روی LED ها افزایش خواهد یافت. حال اگر تغذیه مدار را قطع کنیم و مجدد تغذیه را متصل نماییم، مشاهده خواهد شد که آخرین عدد دوباره روی LED ها به نمایش در می‌آید و با فشردن کلید، شمارش از همان جایی که تغذیه مدار قطع شده بود ادامه خواهد یافت. همچنین می‌توانید نتیجه کار را در ویدیوی زیر مشاهده کنید:

نتیجه گیری

در این مطلب حافظه EEPROM را بر روی حافظه FLASH در میکروکنترلر های STM32، بدون نیاز به اضافه کردن EEPROM خارجی ایجاد کردیم تا امکان ذخیره سازی مقادیر مهمی را که نیاز است توسط مصرف کننده در سامانه درج شود را در حافظه خود میکرو ذخیره سازی کنیم در نهایت با هر بار روشن شدن مدار، مقادیر مربوطه در سامانه بارگذاری شده و نیاز به تنظیم مجدد آن ها توسط کاربر مرتفع می‌گردد.

امیدوارم از این آموزش کمال بهره را برده باشید. در صورتی که هرگونه نظر یا سوال داشتید درباره این آموزش لطفا اون رو در انتهای همین صفحه در قسمت دیدگاه ها قرار بدید. در کوتاه ترین زمان ممکن به اون ها پاسخ خواهم داد. اگر این مطلب براتون مفید بود، اون رو حتما با دوستانتون به اشتراک بگذارید. همینطور میتونید اون رو پس از اجرای عملی توی اینستاگرام با هشتگ microelecom# به اشتراک بگذارید و پیج مایکروالکام (@microelecom) رو هم منشن کنید.