

بررسی مدل تبخیر مناسب قطره و کاربرد آن در اسپری مایع

دکتر محمود پسندیده فرد^۱، حسینعلی کمالی^۲

دانشگاه فردوسی - مشهد مقدس

چکیده

فلوئنت و با استفاده از دیدگاه اولبری-لاگرانژی استفاده گردیده است. که از مطابقت خوبی با نتایج تجربی برای تبخیر الکل مایع حکایت دارد.

مدل تبخیر قطره

برای مدل کردن تبخیر قطره دو مدل هدایت محدود و هدایت نامحدود وجود دارد. با توجه به اینکه برای قطرات کوچک تفاوت آشکاری بین این دو مدل وجود ندارد. از مدل هدایت نامحدود استفاده می‌شود. فرضیات مورد استفاده در این مدل به صورت زیر می‌باشد:
الف- قطره به صورت کره متقارن فرض شود.
ب- ویژگی‌های ترمودینامیکی قطره و گاز داغ اطراف یکنواخت باشد.
ج- اثرات جاذبه، گرادیان گرمایی، اتلافات ویسکوزیته و .. صرف نظر می‌شود.
د- دمای سطح قطره با زمان تغییر می‌کند.

با توجه به شکل 1 این مدل بر مبنای تئوری فیلم بنا نهاده شده است. مفهوم ضخامت فیلم برای معرفی اثرات مقاومت انتقال جرم و گرما بین هوا و سطح قطره می‌باشد. همچنین از دمای مرجعی که با فرمول 1 نشان داده شده است برای شبیه سازی پارامترهای ترمودینامیکی فیل بر اساس قانون 1/3 استفاده می‌شود.

$$T_f = T_p + a(T_{\infty} - T_p) \quad (1)$$

که T_{∞} مربوط به دمای گاز پیرامون قطره و T_p دمای سطح قطره است و ضریب a بر اساس قانون 1/3 همان 1/3 می‌باشد. برای قطره نرخ تبخیر به صورت زیر می‌باشد:

$$\frac{dm_p}{dt} = Kc A_p \ln(1 + Bm) \rho \quad (2)$$

$$Bm = \frac{Y_{i,s} - Y_{i,\infty}}{1 - Y_{i,s}} \quad (3)$$

در رابطه بالا m_p جرم قطره، A_p مساحت سطح قطره، ρ دانسیته گاز، Bm عدد جرم اسپالدینگ و $Y_{i,s}$ و $Y_{i,\infty}$ به ترتیب نسبت جرمی بخار در سطح قطره و نسبت جرمی بخار در گاز می‌باشد. همچنین ضریب Kc ضریب انتقال جرم بوده و از فرمول (4) محاسبه می‌شود

$$Sh_{AB} = \frac{Kc \cdot dp}{Dim} = 2 + 0.6 Re^{0.5} Sc^{0.3333} \quad (4)$$

$$Sh_{AB} = \frac{\mu}{\rho Dim} \quad (5)$$

$$Sh_{AB} = \frac{Kc \cdot dp}{Dim} = 2 + 0.6 Re^{0.5} Sc^{0.3333} \quad (6)$$

که در آن Dim ضریب دیفیوژن دوتایی می‌باشد و از رابطه (7) محاسبه می‌شود.

$$Dim = 0.0001 T_f^{1.7278} (0.00001); \quad (7)$$

با توجه به اهمیت ایجاد بیشینه سطح تبخیر مایعات برای استفاده در مباحثی از جمله خنک کاری، احتراق و ... از اسپری کردن مایعات برای ایجاد قطرات ریز که اغلب در حدود 10-500 میکرومتر و ایجاد بیشینه سطح تبخیر استفاده می‌شود. در این مقاله با استفاده از مدل مناسب تبخیر به مقایسه تبخیر برای یک قطره 1.6 میلیمتری آب و مقایسه آن با نتایج تجربی پرداخته شده است. در ادامه برای چند قطره در محدوده 10-500 میکرون نیز بررسی شده است. در ادامه این گزارش از این مدل تبخیر و با استفاده از فلوئنت به شبیه سازی تبخیر اسپری و مقایسه آن با نتایج تجربی تبخیر اسپری مایع پرداخته شده است که از مطابقت خوبی با نتایج تجربی حکایت دارد. سپس به بررسی تبخیر موضعی و قطر متوسط قطرات بر حسب SMD پرداخته می‌شود.

واژه های کلیدی: تبخیر- قطره - اسپری

مقدمه

تبخیر قطره مایع به شکل اسپری در کاربردهای زیادی از تکنولوژی مانند اسپری سوخت در محفظه های احتراق، خنک کننده های تبخیری، جداسازی ذرات جامد از درون گاز، در کوره ها، مهندسی پزشکی، سیستم های آتش نشانی، در خنک کاری راکتورهای هسته ای و ... کاربرد دارد. بحث مدل کردن تبخیر قطره از دهه ها تا به امروز در حال تصحیح می‌باشد. عموماً دو مدل هدایت محدود (دمای داخل قطره در کل قطره یکسان نمی‌باشد) و هدایت نامحدود (دمای داخل قطره یکسان فرض می‌شود) استفاده می‌شود ولی در اکثر کاربردهای صنعتی به دلیل اهمیت کم مقاومت حرارتی داخل قطره و با توجه به کوچکی اندازه قطره از مدل های هدایت نامحدود استفاده می‌شود. از کارهای صورت گرفته برای مدل کردن تبخیر می‌توان به مطالعات ژیان زانگ (Jie Li, Jian Zhang)، سیرینگانو (Sirignano)، کراو (Crowe)، میلر (Miler)، مطالعات تجربی بر روی قطره سوخت UDMH توسط بین تیگ (Yin Tig) و همکاران و مطالعات تجربی تبخیر قطره آب توسط جانگ جیگ (Juang Jin) و همکارانش اشاره کرد. [1,2,3,4,5] در این مقاله مدل مورد استفاده بر مبنای کارهای آبرامزون (Abramzon) و سیرینگانو (Sirignano) با فرض هدایت نامحدود بودن قطره مورد استفاده شده است. در این مدل عمل تبخیر، انتقال حرارت و جرم در لایه ای از گاز که بین سطح قطره و گاز قرار دارد اتفاق می‌افتد. و با گرم شدن قطره قسمتی از جرم بوسیله دیفیوژن بخار می‌شود. همچنین در بحث بررسی تبخیر اسپری از مدل فاز گسسته موجود در

همچنین دمای قطره بدون در نظر گرفتن حرارت بازتابشی از فرمول (8) استفاده می‌شود.

$$mp Cp \frac{dT_p}{dt} = hA_p(T_\infty - T_p) - \frac{dm_p}{dt} h_{fg} \quad (8)$$

که h_{fg} گرمای نهان تبخیر قطره می‌باشد. و با دما متغیر بوده و از فرمول (9) محاسبه می‌شود:

$$h_{fg} = 2.5(1e + 6) - 2386(T_p - 273) \quad (8)$$

این مدل با نتایج تجربی حاصل از مرجع [1] که در آن یک قطره آب با قطر 1.7 میلی‌متر در مجاورت هوایی با دمای 663 کلوین که دارای سرعت 3m/s می‌باشد قرار گرفته شده است مقایسه شده و در شکل 2 ارائه شده است. در شکل 3 به بررسی میزان نرخ تبخیر برای مدل و نتایج تجربی پرداخته شده است. با توجه به شکل 3 میتوان مشاهده کرد که در فاصله زمانی تقریباً 20 درصد اول زمان عمر یک قطره نرخ محاسبه شده از مدل و نتیج تجربی دارای اختلاف بوده و این بدین دلیل است که در حالت واقعی تبخیر قطره دارای دو مرحله گذرا و پایدار میباشد و این فاصله زمانی اولیه مربوط به مرحله گذرا میباشد. و قطر قطره هرچقدر بزرگ باشد باید به اختلافات ایجاد شده از این مدل توجه کرد و با اینکه از چگالی متغیر با دما برای آب استفاده و همچنین دیگر کمیت‌ها استفاده کرد تا این خطای اولیه کاهش یابد. ولی اگر قطر قطره کوچک و در ابعاد میکرون باشد این فاصله زمانی گذرا برای قطر بسیار کوچک و قابل چشم‌پوشی می‌باشد. و چون هدف کار انجام شده مربوط به بحث اسپری مایع بوده و اکثر قطرات در ابعاد میکرون میباشد این خطای اولیه به شدت کاهش و قابل چشم پوشی میباشد. در شکل 4 به بررسی تغییرات قطر قطره با زمان برای قطرات با ابعاد 150، 100، 50 و 200 میکرون پرداخته شده است.

تبخیر اسپری

در این قسمت با استفاده از فلوننت و مدل تبخیر ارائه شده به بررسی تبخیر و دقت این مدل در پیشبینی تبخیر اسپری که در صنایع مختلف به شدت استفاده می‌شود پرداخته می‌شود. در این مطالعه از الکل به عنوان مایع اسپری شده استفاده می‌شود. و با نتایج تجربی اسپری الکل در مرجع 6 مقایسه می‌شود. همانگونه که از شکل 5 دیده می‌شود. هوای گرم از داخل یک مجرای استوانه‌ای به داخل محفظه استوانه‌ای شکل مورد آزمایش با قطر 200 میلی‌متر و طول 1.5 متر دمیده می‌شود. قطر قسمت ورودی هوا 64 میلی‌متر و با نسبت انبساط 3 است که جنس محفظه مورد آزمایش از آلایژ آلومینیوم با ضخامت 3 میلی‌متر می‌باشد. با استفاده از hollow cone pressure atomizer به تزریق alcohol مبادرت ورزیده شده است. البته در فلوننت برای ایجاد چنین پاششی از تزریق صفحه‌ای استفاده شده است. در جداول 1 و 2 به ترتیب درباره تنظیمات فلوننتی درمورد هوا و فاز گسسته اطلاعاتی داده شده است. در طول قسمت محفظه مورد آزمایش به اندازه گیری میزان تبخیر الکل پرداخته می‌شود. شکل 6 به مقایسه نتایج حاصل از فلوننت و نتایج تجربی می‌پردازد که از تطابق و اعتبار این مدل برای استفاده در بحث تبخیر حکایت دارد. با توجه به شکل با حرکت اسپری در طول محفظه قطرات شروع به تبخیر می‌کنند. شکل 7 به بررسی تبخیر موضعی و شکل 8 به بررسی قطر متوسط قطرات در طول محفظه می‌پردازد. در همتنظر که مشاهده می‌شود با حرکت در طول محفظه قطرات ریزتر شده و بیشینه سطح تبخیر کاهش می‌یابد از طرفی میزان تبخیر موضعی به دلیل کاهش قطر قطرات و همچنین خنک‌شده هوا و کاهش میزان الکل با حرکت در طول محفظه شاهد کاهش میزان تبخیر موضعی می‌باشیم. در شکل 9

کانتور تغییر دمای کل آورده شده است همانطر که انتظار می‌رود باید با حرکت در طول محفظه به دلیل عمل تبخیر توسط قطرات الکل دمای کل جریان هوا کاهش یابد که با نتایج شبیه سازی هماهنگ می‌باشد. در شکل 10 نمایی از اسپری شبیه‌سازی شده الکل در فلوننت آورده شده است.

جدول‌ها

جدول 1- تنظیمات فلوننتی برای فاز اوپلر

mass flow rate	inlet type
0.0283 kg/s	mass flow rate
383 K	total temperature
1011324 pa	operation pressure
0	initial gage praessure
mixture(air+ethyl alcohol(for inlet=0))-incompressible ideal gas	material
pressure base	type solver

جدول 1- تنظیمات فلوننتی برای فاز لاگرانژ(فاز گسسته)

DPM	solver
surface	injection type
ethyl-alcohol-liquid	material
307 K	initial Temperature
14 m/s	velocity
0.00044	total flow rate
0.02 mm	Min.Diameter
0.042mm	Max.Diameter
0.03 mm	Mean.Diameter
5	number of Diametr for rosin-rammlet Diameter Distribution

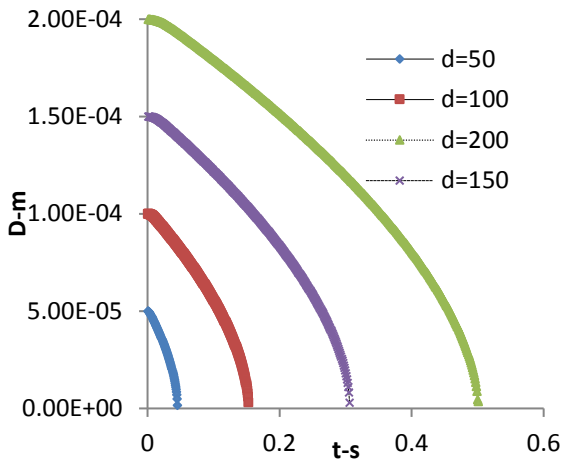
جدول 1- کمیت‌های محاسبه شده در دو مقطع به ازاء U = 20 m/s

T (K)	V _P (m/s)	
311	18	مقطع شماره 1
294	24	مقطع شماره 2

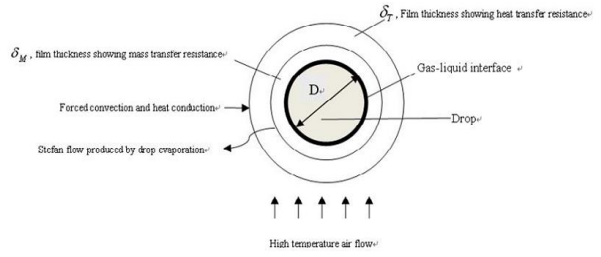
نتیجه‌گیری

- 1- استفاده از مدل تبخیر هدایت نامحدود برای قطرات ریز و مخصوصاً در بحث اسپری مناسب میباشد.
- 2- از مدل‌های تبخیر، مدل بالا برای تبخیر با نرخ کم مناسب بوده و دارای دقت خوبی برای قطرات کوچک می‌باشد.
- 3- با افزایش قطر قطرات بیشینه سطح تبخیر افزایش یافته و بدین دلیل در کاربرد های مربوط به احتراق و مخصوصاً خنک‌کاری مایع باد به صورت اسپری و قطره تزریق شود. تا دارای سطح بیشینه برای عمل تبخیر باشد.
- 4- با افزایش قطر قطره اگرچه تبخیر زیاد میشود ولی عمر ماندگاری قطره طولانی میشود و بنابراین در اسپری به دنبال ایجاد قطرات فراوان با اندازه کوچک باید بود تا هم سطح بیشینه تبخیر زیاد شود و هم زمان تبخیر کاهش یابد مخصوصاً در مباحث احتراق مافوق صوت بدین امر باید توجه داشت

شکل 3-مقایسه نرخ تبخیر با نتایج تجربی برای قطره 1.7mm درمجاورت هوای 667 کلوین

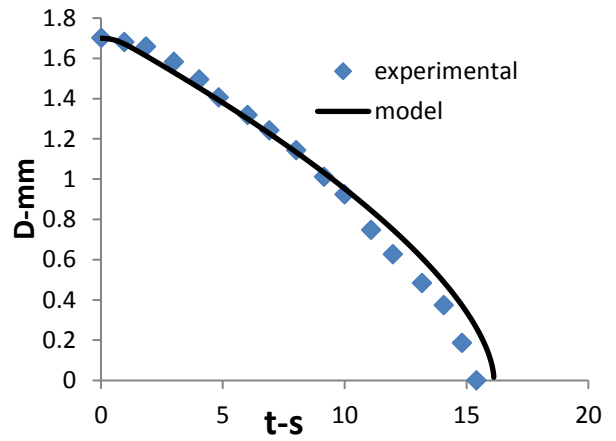
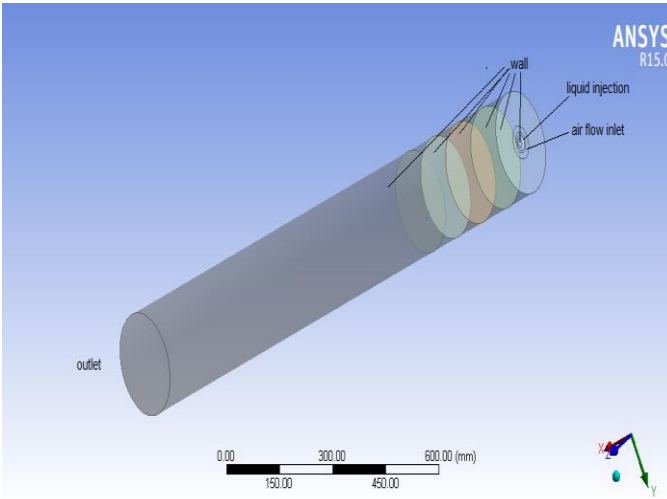


شکل ها و نمودارها



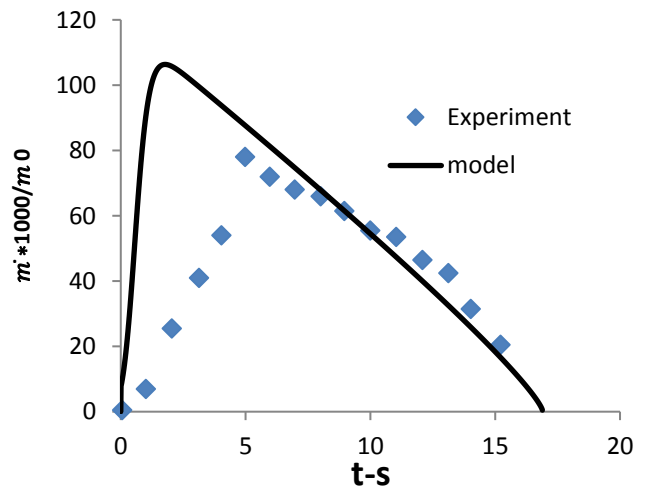
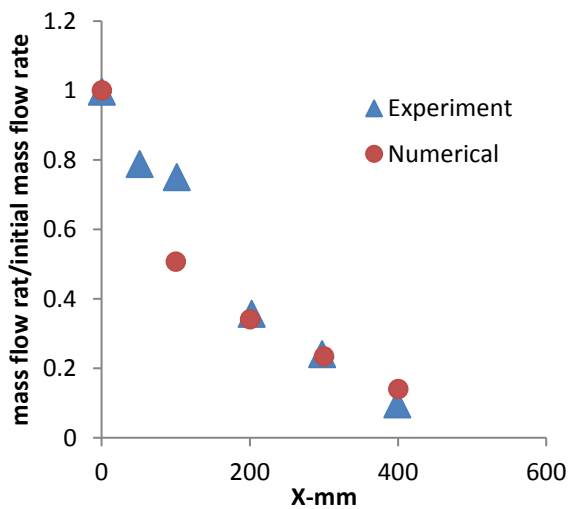
شکل 1- مدل فیزیکی تبخیر بر مبنای تئوری فیلم

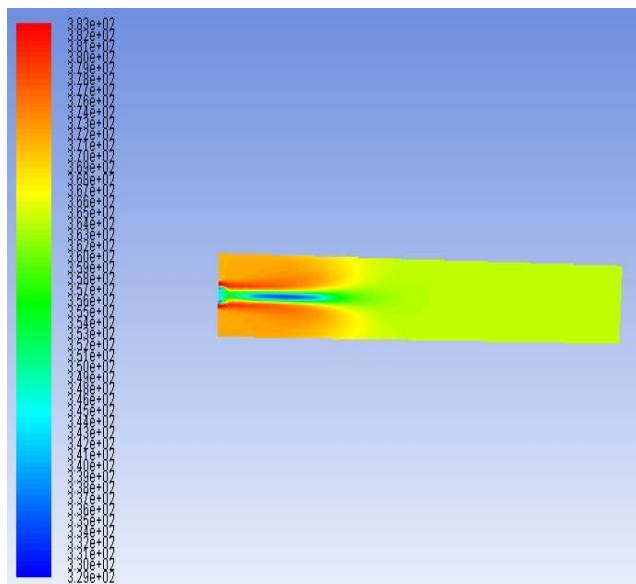
شکل 4- تغییر قطر قطرات با قطر متفاوت در ابعاد میکرومتر



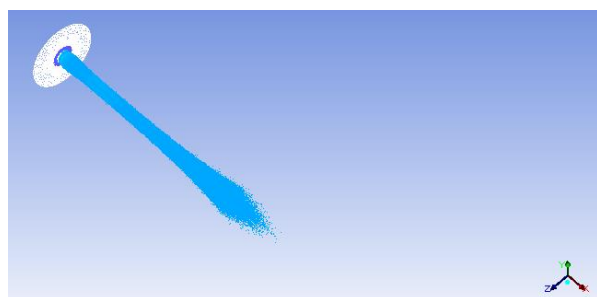
شکل 2-مقایسه مدل تبخیر با نتایج تجربی برای قطره 1.7mm درمجاورت هوای 667 کلوین

شکل 5-نمایی از هندسه مورد مطالعه





شکل 9- تغییرات دمای کل

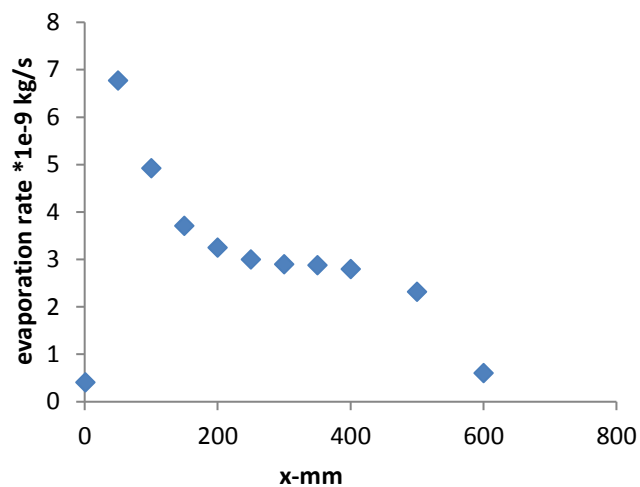


شکل 10- نمایی از اسپری الکل

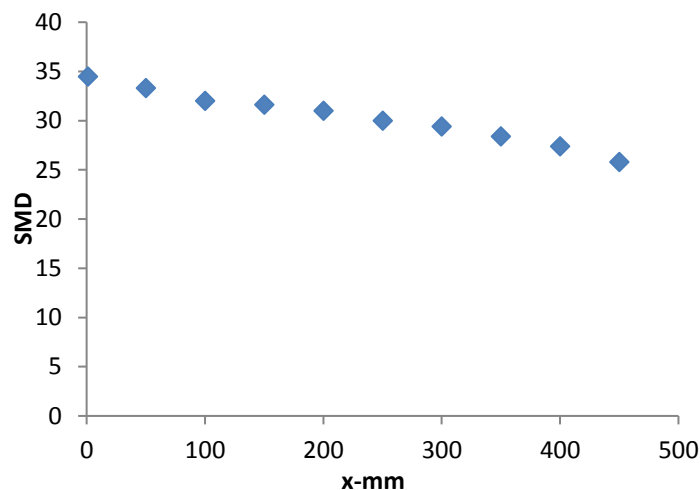
مراجع

1. Guang Jin, T. Rul Tian, Xingwang, Wenfel Wu, theoretical and Experimental study of Droplet evaporation in High-Temperature Air T The second Chin Energy Scientist Forum 2010
2. آحسین افشار، مهرزاد شمس، سید مجتبی موسوی ناینیان، رضا ابراهیمی، بررسی عددی تبخیر قطره در جریانهای دو فاز آشفته، دهمین کنفرانس شمارهها آبان 1385 مکانیکدانانگاه یزد،
3. سیمین دخت صانعی، امیر فرهاد نجفی، محمد حسن سعیدی، بررسی عددی فرآیند تبخیر قطره درون میدان جریان موتور گردابه‌ای با استفاده از دیدگاه لاگرانژی، هفتمین همایش سالانه انجمن هوافضای ایران، دانشگاه شریف، اسفند 1386
4. Jie Li, Jian Zhang, A theoretical study of the spheroidal droplet evaporation in forced convection, Physic letters A 378 2014 .
5. H.Barrow, C.w pope, Droplet evaporation With reference to the effectiveness of water-mist cooling, Applied Energy 2006
6. M, Sommerfeld , H-H,Qiu, Experimental studies of spray evaporation in turbulent flow, International Journal of Heat and Fluid Flow 19(1998), 10-22

شکل 6- مقایسه نسبت دبی مایع به دبی اولیه اش در فواصل مختلف با نتایج تجربی



شکل 7- نمودار تبخیر موضعی الکل



شکل 8- تغییرات قطر میانگین قطرات

۱۳۹۴

اسفند ماه



کتابخانه ملی جمهوری اسلامی ایران

کتابخانه

مجموعه دستنویسها و قویدون کتب نادرین ایران، اسناد و کتابخانه ملی جمهوری اسلامی ایران

بررسی و استخراج کتب برای رونق کار آرشیو و اسناد اسرارکتاب

پایه : شماره ثبت اسناد ۱۳۸۵۰۰۰۰۰۰۰۰

آرم: Aem201617881132

تولید کننده: سازمان اسناد و کتابخانه ملی

