

OTOMOTİV LED AYDINLATMA ÜNİTESİNDE SOĞUTUCU SİSTEM TASARIMININ NÜMERİK VE DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Ömer KAYNAKLI*, Erhan PULAT*, Nurettin YAMANKARADENİZ**, Teoman ŞENYILDIZ***, Erol KOCABIYIK*** Efecan DÜZYER***

* Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, Bursa

e-posta: kaynakli@uludag.edu.tr , pulat@uludag.edu.tr

** Uludağ Üniversitesi Teknik Bilimler MYO İklimlendirme ve Soğutma Teknolojisi Programı, Bursa

e-posta: nyk@uludag.edu.tr

*** Magneti Marelli Mako Elektrik San. ve Tic. A.Ş., Bursa

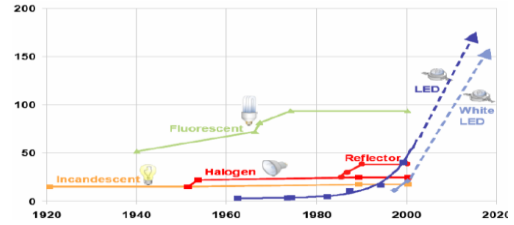
e-posta: teoman.senyildiz@magnetimarelli.com, efecan.duzyer@magnetimarelli.com

ÖZET

Bu çalışmada son yıllarda özellikle otomotiv sanayinde yaygın olarak kullanılmaya başlanan yeni ve teknolojik LED (Light Emitting Diode)'li aydınlatma sistemleri ele alınmış ve bu sistemlerin fonksiyonlarını yerine getirebilmesi amacıyla belirlenen kritik sıcaklığın aşılması için soğutma sistem tasarımı üzerine odaklanılmıştır. LED sistemleri için kritik bölge olan birleşme (junction) noktası sıcaklığının, şartnameler gereği, 95° C ortam sıcaklığında 130 °C'yi aşmaması amacıyla soğutucu sistem tasarımı yapılarak, bu sistem bilgisayar destekli analiz programı ile incelenmiştir. Oluşturulan tasarıma ve analizdeki malzeme özelliklerine uygun numune üretimi yapılarak, ısıl kabinde gerçekleştirilen sıcaklık testleri ile simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır.

GİRİŞ

Otomotiv aydınlatma teknolojisinin gelişmesiyle geleneksel ışık kaynakları ve halojen ışık kaynaklarından sonra son olarak LED'li sistemler kullanılmaya başlanmıştır. Uzun ömürlü olmaları, az enerji sarfiyatı yapmaları, çevre dostu olmaları ve kısa tepki süreleri LED'leri önplana çıkaran özellikleridir. Ayrıca son yıllardaki ışık verimliliğindeki artış otomotiv teknolojisinde giderek diğer aydınlatma ürünlerinin yerini almasını sağlamıştır



Şekil 1- Çeşitli ışık kaynaklarına ait ışık verimliliğinin yıl bazında karşılaştırılması

LED'li sistemlerin en büyük dezavantajı ise kullandığı enerjinin yaklaşık %80 'ini ısıya dönüştürmeleri ve bu ısının uzaklaştırılmasının gerekliliğidir. LED'li sistemlerin bu yönü yani oluşan ısının iyi bir tasarımla uzaklaştırılmasının gerekliliği diğer aydınlatma teknolojilerinden ayıran en belirgin özelliğidir. Bu nedenle, LED'li sistem tasarımları ısıl yönetimini ve soğutma tekniklerini gerekli kılar. LED'in

ısı performansında düşüşün üç önemli sonucu vardır;

1- Düşen ışık miktarı ve verim: LED birleşim noktası sıcaklık artışının en önemli etkilerinden biri düşen ışık miktarı ve buna bağlı olarak düşen enerji verimidir. LEDdeki her 3°C sıcaklık artışında ışık miktarı

%1 olacak şekilde lineer olarak düşer

2- LED'in beklenen ömründe düşüş: LED üreticileri tarafından verilen maksimum sıcaklığı aşıldığında LED'in ömrü önemli ölçüde kısılır.

3- Renk değişikliği: LED sıcaklığının artması, beyaz LED'den yayılan ışık renginin yavaş yavaş daha donuk tonlara gitmesine neden olur ve bu durum kullanıcı tarafından kalite düşüklüğü olarak algılanır.

LED'li aydınlatma ürünlerinin soğutulmasında başlıca aşağıdaki yöntemler uygulanır;

- 1- Kanatçık kullanımı,
- 2- Isıl direnci düşük baskı devre kartı malzemeleri kullanımı,
- 3- LED, PCB ve kanatçığın bağlanmasında ısıl direnci düşük termal arayüz elemanları kullanımı,
- 4- Isı transferini arttırmak için fanlı sistem kullanımı,
- 5- Sıvı soğutmalı sistemlerin kullanımı.

Elektronik komponentli aydınlatma ürünlerinin (Şekil-2) geliştirilmesinde ısıl yönetim ve soğutma sistemi tasarımları, istenilen ışık miktarına göre uygun LED tipi seçildikten sonra LED'in bilgisayar destekli analiz programı vasıtasıyla ısıl analizinin yapılması, sıcaklık analizi sonucu elde edilen verilere göre uygun soğutma sisteminin seçimi, farklı kanatçık tasarımlarıyla ve malzemeleriyle kanatçık sisteminin optimizasyonu ve analizlerini kapsar. Analizlerle elde edilen verilere göre

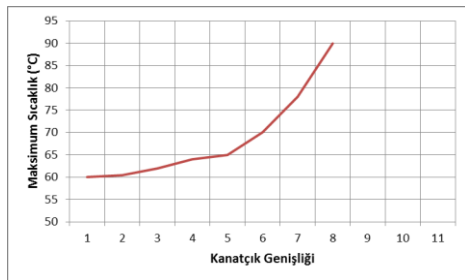
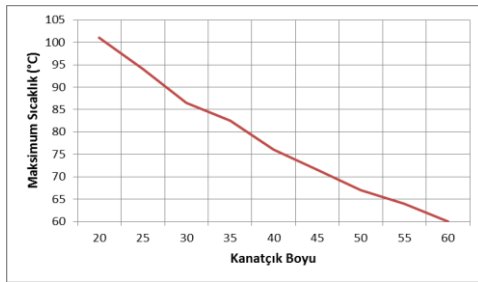
prototip yapımı ve deneyleri ile süreç devam eder. Sistemin gereksinimlerini karşılayan kanatçık tipi seçilir ve uygulanır.



Şekil 2- Kanatçık sistemli far

LED'lerde oluşan ısının, kanatçıklar yoluyla dış ortama aktarılması gerekir. Kanatçık tabanından uç yüzeye iletimle buradan dış ortama taşınım ve radyasyonla transfer edilir. Kanatçık sisteminin ısıl performansı malzeme özelliklerine, kanatçık boyutlarına, konumuna ve dizilişine, ara elemanın özelliklerine, ısı kaynağı konumuna, boyutuna ve akış alanının bütün özelliklerine bağlıdır. Bir çok çalışmada kanatçık geometrisi çeşitli varyasyonlar için incelenmiş ve farklı kanatçık tasarımları için performans kısıtları yayımlanmıştır [1-4]. Gleva [5] tarafından yapılan çalışmada, kanatçık tasarımının ve kullanımının LED'in soğutmasıyla arasındaki ilişki incelenmiş ve uygun kanatçık boyutları araştırılmıştır. Başka bir çalışmada, kanatçıklardaki termal radyasyonun yüksek sıcaklıklarda çalışılırken ısı transferinde çok büyük etkisi olduğu gösterilmiş ve yüzey kaplamanın emisiviteyi arttırdığı gözlemlenmiştir [6]. Kim ve ark. [7] tarafından elektronik komponentlerde kanatçık kullanımının etkisi incelenmiş ve ısıl direnci %50 – %80 düşürdüğü görülmüştür. Yung ve ark. [8] tarafından LED ve PCB'nin (printed circuit board) bilgisayar ortamında ısıl ve soğutma analizleri yapılmıştır. LiuYi-bing [9], LED

ışık kaynaklarında kullanılan kanatçıkların soğutmaya etkisini, farklı uzunluk, genişlik ve kanatçık sayısı varyasyonlarında sonlu elemanlar metodu kullanarak ANSYS yazılımı ile incelemiştir. Çalışma sonucunda, kanatçık boyundaki artış ile LED birleşim noktası sıcaklığının azaldığı, kanatçık genişliğinin artışı ile LED birleşim noktası sıcaklığının artış gösterdiği (Şekil 3) ve de kanatçık sayısındaki artış ile birleşim noktası sıcaklığının düşmeye başladığı, ancak belirli bir sayıdan sonra birleşim noktası sıcaklığında yavaş bir artış olduğu gözlemlenmiştir.

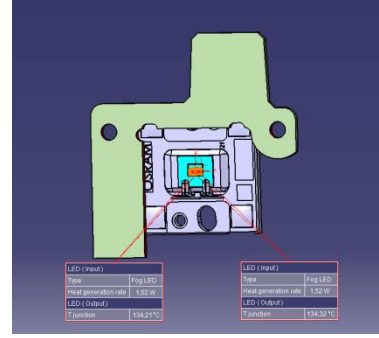


Şekil 3- Kanatçık boyu, birleşim noktası sıcaklığı ve kanatçık genişliği birleşim noktası sıcaklığı arasındaki ilişki

MALZEME VE YÖNTEM

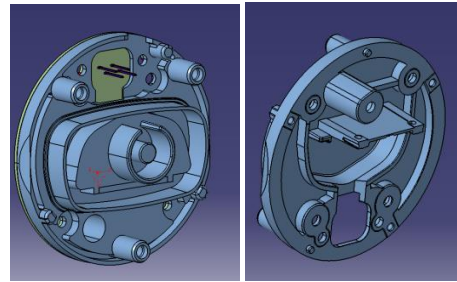
Geometri ve Yöntem

Bu çalışmada analizler. Şekil 4'de gösterilen Baskı Devre Kartı (PCB, Printed Circuit Board) üzerine yerleştirilmiş 1,54W güç ile çalışan iki adet LED kullanılan komple ürün için yapılmıştır.



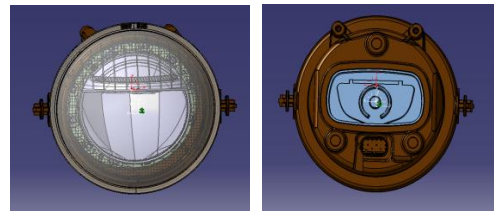
Şekil 4 - PCB ve LED grubu

İlk olarak kanatçık kullanılmamış, ürün montajı için gerekli alüminyum levhaya sabitlenmiş LED'lerin komple ürün analizleri yapılmıştır (Şekil-5). Analizlerde kontrol hacmi sıcaklığı ana sanayi gerekliliği olan ve şartnamelerle belirlenen 95 °C olarak alınmıştır. Soğutucu malzemesi, ısı iletim katsayısı $k=135$ W/mK olan alüminyum alaşımdır.



Şekil 5 - Kanatçiksız sistem

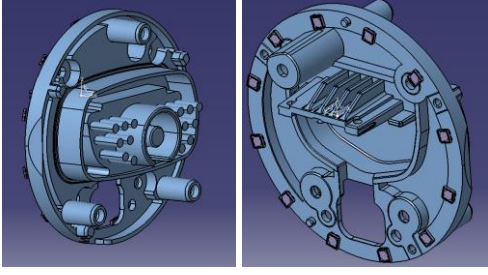
Yansıtıcı reflektör , ışık tüpü , lens ve PCB geometrileri eklenerek montajlanmış ürün modeli oluşturulmuştur.



Şekil 6 – Montajlı ürün verisi

İkinci tasarım olarak arka yüzeyde $L=10$ mm $D=3,5$ mm boyutlarında 15 adet iğne kanatçık, ön yüzeyde ise 3,5 mm taban 1,5

mm uç kalınlıklı 3 adet kanatçıklı soğutucu modeli ele alınmıştır.



Şekil 7 – Kanatçıklı soğutucu yapı

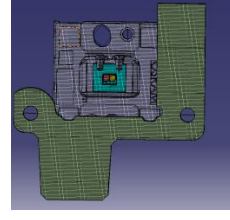
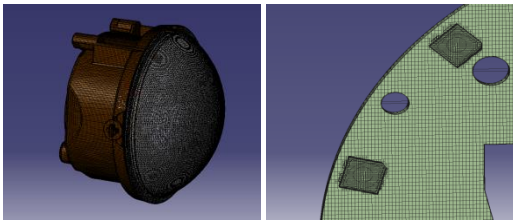
Hesaplamalı Çalışma

Analizler için FLO EFD ısı analiz programı kullanılmıştır. Programın özel LED modülü sayesinde LED jonksiyon sıcaklıkları analiz sonucu elde edilebilmektedir. Kontrol hacmi 95°C çevre sıcaklığında doğal taşınım ve sürekli rejimde hava akışı olarak kabul edilmiştir.

Komple ürün 3D datası, analiz için FLO EFD simülasyon programına aktarılmıştır. Simülasyon programında sınır şartlar oluşturulmuştur. Girilen veriler;

- Her komponentin malzemeleri ve özellikleri,
- PCB özellikleri ,
- Yüzeylerin emisivite katsayıları,
- Daha önceki analizlerde girilen LED ve PCB'lere ait bilgilerdir.

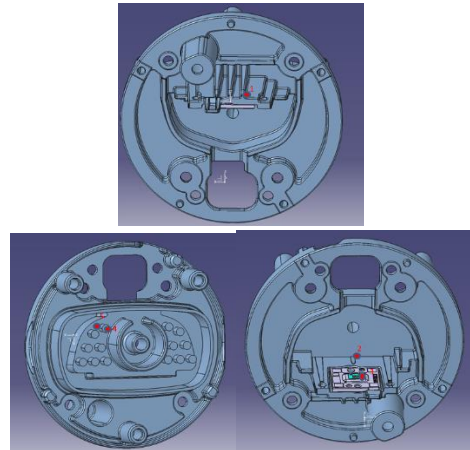
Sınır şartlar girildikten sonra ağ yapı oluşturulmuştur. Kritik bölgelerde daha küçük ve daha sık ağ yapıları kullanılmıştır.



Şekil 8- Komple ürün ve PCB'lerde oluşturulan ağ yapıları

Analiz yöntemi olarak, LED'lerin ısınmasında ışınım etkisi de olacağı için, ışınım analizlerinde daha etkili sonuç veren Monte Carlo seçilmiştir. Monte Carlo yönteminde rastgele erişim ile bir foton ışınımına tabi tutulur. Bu deneme analiz başında belirlenen maksimum foton sayısına göre N kere tekrarlanır. Her tekrar bir öncekinden bağımsız olduğu için benzerlikten çok farklı kombinasyonlar üretilir. N adet erişim bittiğinde, sonuç olarak bütün fotonların ortalama değeri alınır [10]. Özellikle ışınım problemlerinin çözümünde Monte Carlo yöntemi çok yaygın olarak kullanılmaktadır [11].

Simülasyon sonucu 5 farklı noktadan sıcaklık verileri alınmış ve jonksiyon sıcaklıkları elde edilmiştir (Şekil - 9).



Şekil 9 - Ölçüm Noktaları

Prototip İmalatı ve Sıcaklık Ölçümleri

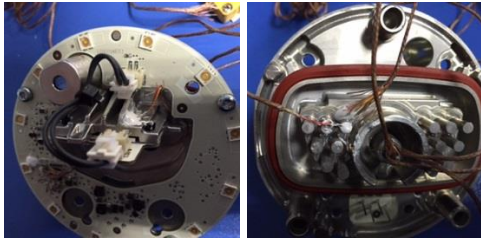
Prototip imalatı için $k=135$ W/mK alüminyum kütük kullanılmıştır. CNC'de

işlenen soğutucu prototipinin fotoğrafları Şekil 9’da verilmektedir..



Şekil 9- İşlenmiş prototip parça

Üretilen prototip parçaya, termal simülasyonlarda elde edilen sıcaklık noktalarına uygun olarak termokuplar yerleştirilmiş, komple ürüne ait diğer komponentler ile montajı yapılarak sıcaklık testine hazır hale getirilmiştir.



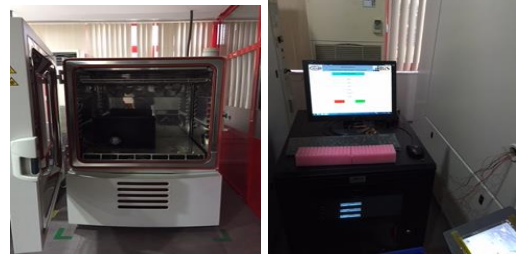
Şekil 10- Termokupl bağlantı noktaları

Şekil 11’de görüldüğü gibi hazırlanan prototip, sıcaklık testlerinin yapılması için termal kabinlere konulmuştur.



Şekil 11 – Sıcaklık testine alınan ürün

Prototipe bağlanan termokuplar ölçümlerin okunacağı datalogger bilgisayar sistemine bağlanmıştır.

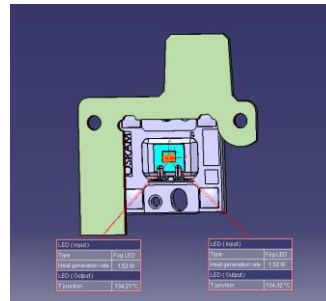
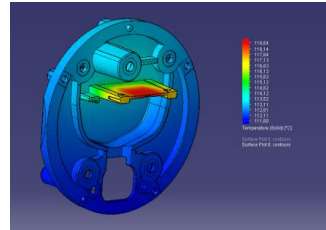


Şekil 12- Sıcaklık Test Sistemi

Termal kabinde, simülasyonda olduğu gibi 95°C sıcaklıkta test yapılmıştır. Her bir testte “t” termokupların okuduğu sıcaklıkların rejime girmesi beklenmiş ve ardından ürün fonksiyonu çalıştırılmıştır. Sis fonksiyonu çalıştırdıktan sonra sıcaklığın zamanla değişmediği anda, ölçüm değeri okunmuştur.

ARAŞTIRMA SONUÇLARI

Kanatçksız soğutuculu ürün için, 95°C çevre sıcaklığında LED üzerinde oluşan sıcaklık dağılımı Şekil 13’de verilmiştir. Jonksiyon sıcaklığının 134°C’ye ulaştığı gözükmemektedir. Bu durum, kanatçık kullanımını gerekli kılmaktadır.



Şekil 13- Kanatçksız soğutucu üzerinde sıcaklık dağılımı ve LED jonksiyon sıcaklıkları

Oluşturulan ikinci (kanatçıklı) tasarım için 5 noktadan alınan sıcaklıklar ve jonksiyon sıcaklıkları ise aşağıdaki tablodaki gibidir.

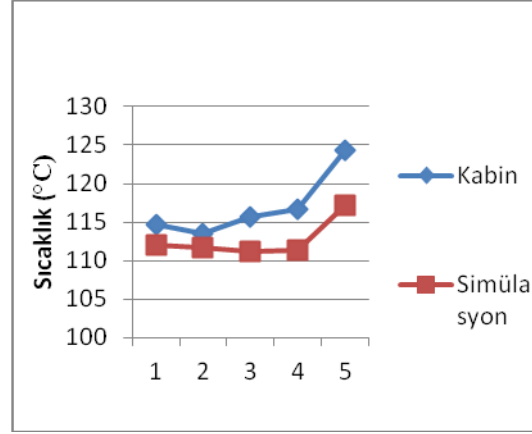
Tablo 1- İkinci tasarım için ölçümler

Ölçüm noktaları	Sıcaklıklar (°C)
1	113,5
2	112,08
3	111,58
4	111,61
5	117,2
Jonksiyon 1	129,83
Jonksiyon 2	129,96

Termal kabinlerde yapılan sıcaklık testlerinde, 95°C ölçüm sonuçlarına göre, kabin ve simülasyon sıcaklıkları birbirine oldukça yakın çıkmıştır. Dört noktada ortalama 2-2,5°C fark oluşurken, LED bölgesinde bu fark yaklaşık 10°C'dir. Bu deneyde de prototipin herhangi bir komponentinde deformasyon ya da fonksiyon kaybı gözükmemiştir. LED'lerde de herhangi bir deformasyon meydana gelmemiştir. Termal kabin için çıkan sıcaklık sonuçları Tablo 2'deki gibidir. Simülasyon ve test ölçümünün karşılaştırmalı grafiği ise Şekil 14'te verilmiştir.

Tablo 2- Sıcaklık testi sonuçları

Ölçüm noktaları	Sıcaklıklar (°C)
1	114,6
2	113,5
3	115,6
4	116,7
5	124,4



Şekil 14- Simülasyon ve kabin testi sonuçlarının karşılaştırılması

TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu çalışmada bir otomobil aydınlatma ürününde kullanılan LED ışık kaynağının oluşturduğu ısının dışarı atılması için kullanılan soğutucu gövdenin, kanatçiksız ve kanatçıklı tiplerinde soğutmaya ve LED jonksiyon sıcaklığına etkisi hesaplamalı ve deneysel olarak araştırılmıştır. Ürün ömrü ve kalite standartlarını karşılayabilmesi için 95°C çevre sıcaklığında, jonksiyon sıcaklığının 130°C'nin altına indirilmesi hedeflenmiştir. Bunun nedeni LED ışık kaynağı ömrünün, artan sıcaklık ile azalmasıdır. Kanatçiksız, ışık kaynağı için sabitleme görevi yapan soğutucu tasarımı için ısıl analiz sonucunda jonksiyon sıcaklıkları 134°C'ye ulaşmaktadır. Bu durumun sıcaklık üst limitini aşmasından dolayı ön ve arka yüzeyinde kanatçıkları olan bir soğutucu gövde tasarlanmıştır. Bu gövde ile yapılan simülasyonlarda 5 farklı noktadan ve jonksiyon bölgelerinden sıcaklıklar okunmuştur. Jonksiyon sıcaklığının 129°C seviyelerine indiği gözlemlenmiştir. Uygun alüminyum malzemeden prototipi yapılan gövde, termal kabinde sıcaklık testine tabi tutulmuştur ve simülasyonlarda alınan 5 noktadan sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Karşılaştırma sonucunda sıcaklık farklarının dört noktada

sadece 2°C civarında olduğu, jonksiyon bölgesinde ise farkın 5°C'ye yükseldiği görülmüştür. Bunun nedeni ise LED'in ışık saçanın jonksiyon bölgesinde sıcaklık değerinin termokupl ile okunmasının zor olması ve bu bölgede kısa mesafede sıcaklıkların oldukça fazla değişmesidir. Sıcaklık testi sonucunda üründe herhangi bir fonksiyon kaybı veya deformasyon gözükmemiştir. Bu da soğutmanın yeterli kapasitede yapıldığını göstermektedir.

KAYNAKLAR

[1] X. Zou, X. Zheng, S. Jin et al. (2008), "An integrated measurement system for LED thermal, optical and electrical characteristics", Proceedings of the SPIE, Volume 6624, pp. 66241Q-9

[2] D. W. Copeland (2003), "Fundamental performance limits of heatsinks", Journal of Electronic Packaging, Transactions of the ASM, Vol. 125, No. 2 , pp. 221-225

[3] W. B. Krueger, A. Bar-Cohen (2004), "Optimal numerical design of forced convection heat sinks", IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies, Vol. 27, No. 2, pp. 417-425

[4] D. J. De Kock, J. A. Visser, "Optimal heat sink design using mathematical optimization", Advances in Electronic Packaging, pp. 337-347

[5] T. Aihara, T. Ohara, and A. Sasago (1997), "Overall performance of a heat sinkfan/pump unit and its optimum design", Heat Transfer - Japanese Research, Vol. 26, No. 8, pp. 515-527

[6] Mark Gleva (2009), "Enhanced active cooling of high Power LED Light Sources by Utilizing Shrouds and Radial Fins", A Thesis Presented to The Academic Faculty Georgia Institute of Technology

[7] L. Kim, J. H. Choi, S. H. Jang et al. (2007) Thermal analysis of LED array

system with heat pipe, Thermochemica Acta (vol. 455, no. 1-2, pp. 21-25)

[8]. Yung, Liem, H.S. Choy, W.K. Lun (2010), "Thermal performance of high brightness LED array package on PCB", International Communications in Heat and Mass Transfer, Vol. 37, Issue 9, pp. 1266–1272

[9] LiuYi-bing (2012), "On Thermal Structure Optimization of a Power LED", Lighting International Workshop on Information and Electronics Engineering (IWIEE) , pp.2765 – 2769

[10] Rubinstein R., Kroese P., (2007), "Simulation and the Monte Carlo Method", Wiley, New Jersey

[11] Carter L., Cashwell D., (1975), "Particle-transport simulation with the Monte Carlo method", Los Alamos Scientific Lab. N.Mexico,