

Okullar gibi kapalı alanlarda uçuşan parçacıklarla bulaşma riski ve riskin azaltılması

Dr.-Ing. Özgür Ertunç¹, Prof. Dr. M. Pinar Mengüç^{1,2}

¹ Özyeğin Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, İstanbul

² Özyeğin Üniversitesi, Enerji Çevre ve Ekonomi Merkezi, İstanbul

Dikkat!

Burada sunulan hesaplar kesin değildir. Verilecek kararlara yardımcı olması için hazırlanmıştır. Sonuçlar karşılaştırmalı olarak kullanılmalıdır. Kullanılan hesap yöntemi ve model katsayıları, literatürdeki araştırmalara göre tutucu bir şekilde seçilmiştir.

Okullar ve üniversitelerin kapalı alanlarında koronavirüs bulaşma riski nasıl azaltılabilir?

Özgür Ertunç, M. Pinar Mengüç, 8 Ekim 2020, Sarkaç.

<https://sarkac.org/2020/10/kapali-alanlarda-koronavirus-bulasma-riski-nasil-azaltilabilir/>

Motivasyon

- Normal zamanda, 28 milyon kişi hergün okul ve üniversitelere gitmekte.
- 10 mikrometre ve altı parçalar hava da dakikalarca asılı kalıp, hafif bir rüzgarla her yere uçabilirler. Bu yüzden onlara uçuşan parçacık dedik (airborne particles).
(Stokes akış rejimi kullanılarak ne kadar zamanda yere düşütükleri hesap edilebilir.)
- Nefes alma, konuşma, spor yapma ve bunların çeşitli kombinasyonları uçuşan parçacık salgılamamıza yol açar.
- Standart maskeler 10 mikrometre altı parçacıkları %30 seviyesinde filtreleyebilirler.
- Bu sebeplerle havadan uçuşan parçacıkla bulaş, kapalı ortamların daha çok kullanıldığı kış aylarında en büyük bulaş riskini barındırmaktadır.
- Son dönemde bu konuda WHO'nun dikkatini çeken bir çok çalışma ve çalıştay yapılmıştır. (Bkz. kaynakça).



Prof. Dr. Eberhard Bodenschatz
(Max Planck Institute Göttingen)

Maske filtreleme verimi hakkında

Figure 2
Surgical Face Mask



Figure 3
Pre-Shaped Face Mask



Figure 4
Bandana Face Mask



Figure 5
N95 Face Mask



Çoğunda ventil vardır
Sadece kullanıcıyı korur

Does That Face Mask Really Protect You?

Larry E. Bowen

Southern Research Institute, Birmingham, Alabama

Articles

Bulaş analizi

- ④ Buonanno, Stabile ve Morawska'nın (2020) "Estimation of airborne viral emission: Quanta emission rate of SARS-CoV2 for infection risk assessment" (2020) çalışması tabanlı bir bulaş risk analiz modeli geliştirildi.
- ④ Bir simülasyon programı
 - Oda büyüklüğü
 - Havalandırma özellikleri
 - Kullanıcı yaşı
 - Kullanım biçimi
 - Kullanım sürelerikullanacak şekilde geliştirildi.
- ④ Alanın özelliklerine, kullanıcının özelliklerine ve kullanım biçimine ve süresine bağlı bir bulaş risk ölçütü geliştirildi.
- ④ Bulaş risk ölçütüne bağlı olarak, her alanda maksimum bulunması gereken kişi sayısı belirlendi.
- ④ Bu programla standart ölçüleri bulunan okul sınıflarında, jenerik ofis, toplantı odası, yemekhane ve yurt odalarında analiz yapıldı.

Uçuşan parçacıklarla bulaşma modeli

Birim zamanda virüs salınımı

Nefes hacmi

Nefes frekansı

D boyutundaki damla sayısı

D boyutundaki damla hacmi

$$ER_q = c_v c_i V_{br} N_{br} \int_0^{10 \mu m} N_d(D) dV_d(D) \text{ [kuanta/min]}$$

Birim hacim sıvıdaki virüs sayısı

1 kuantaya düşen virüs sayısı
(1 kuanta / # virus)

Virüs konsantrasyonu

Bulaştıran sayısı

$$n(t) = \frac{ER_q \cdot I}{IVRR \cdot V} + \left(n_o + \frac{ER_q \cdot I}{IVRR \cdot V} \right) e^{-IVRR \cdot t} \text{ [kuanta/m}^3\text{]}$$

Virüs temizlenme oranı

Oda hacmi

Nefes frekansı

$$IVRR = AER + v_{inactive} + k_{deposit}$$

Bulaşma riski

Nefes alma debisi

$$R = \left(1 - e^{-IR \int_0^T n(t) dt} \right)$$

Kullanıcıya ve aktiviteye bağlı virüs salınım parametreleri

Expiratory activity / N_i (parts / cm ³ air)	D1 (0.8 μm)	D1 (1.8 μm)	D1 (3.5 μm)	D1 (5.5 μm)
Voiced counting	0.236	0.068	0.007	0.011
Whispered counting	0.110	0.014	0.004	0.002
Unmodulated vocalization	0.751	0.139	0.139	0.059
Breathing	0.084	0.009	0.003	0.002

Activity	Flow rate (m ³ /hr)
Resting	0.49
Standing	0.54
Light Exercise	1.38
Moderate Exercise	2.35
Heavy Exercise	3.30
Classroom setting	0.96
Dormitory setting	0.515

Morawska (2009),
Buonanno et al. (2020)

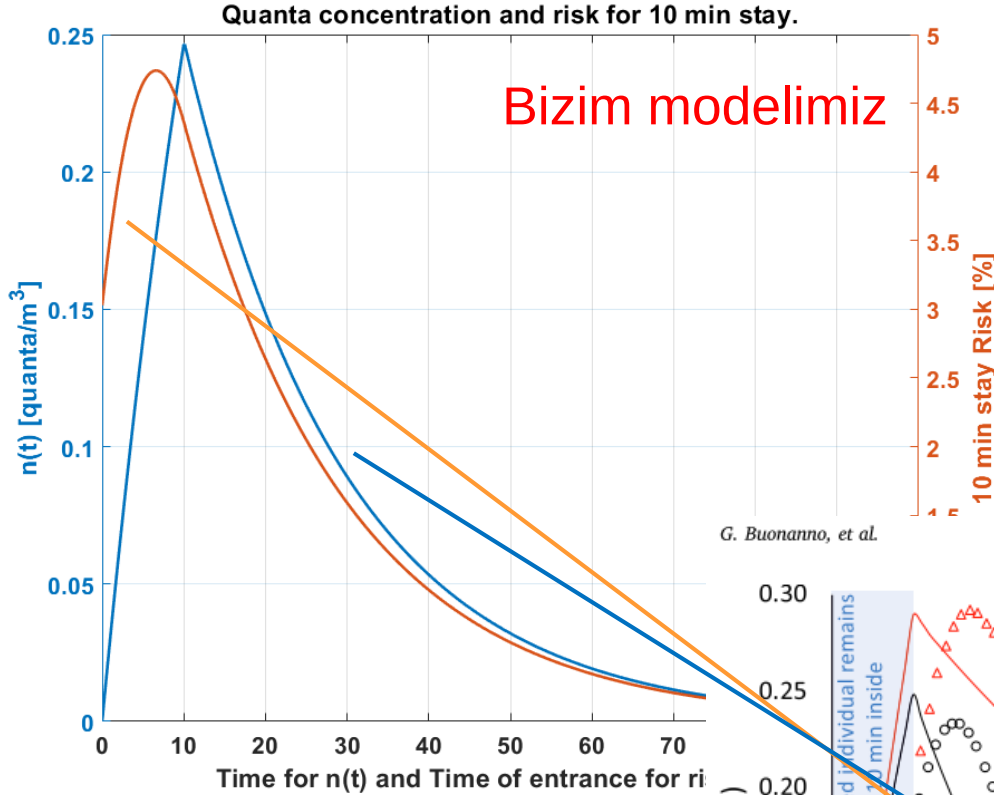
Children is assumed to have half of the adults's breathing flow rate.

Adams, et al. (1993)

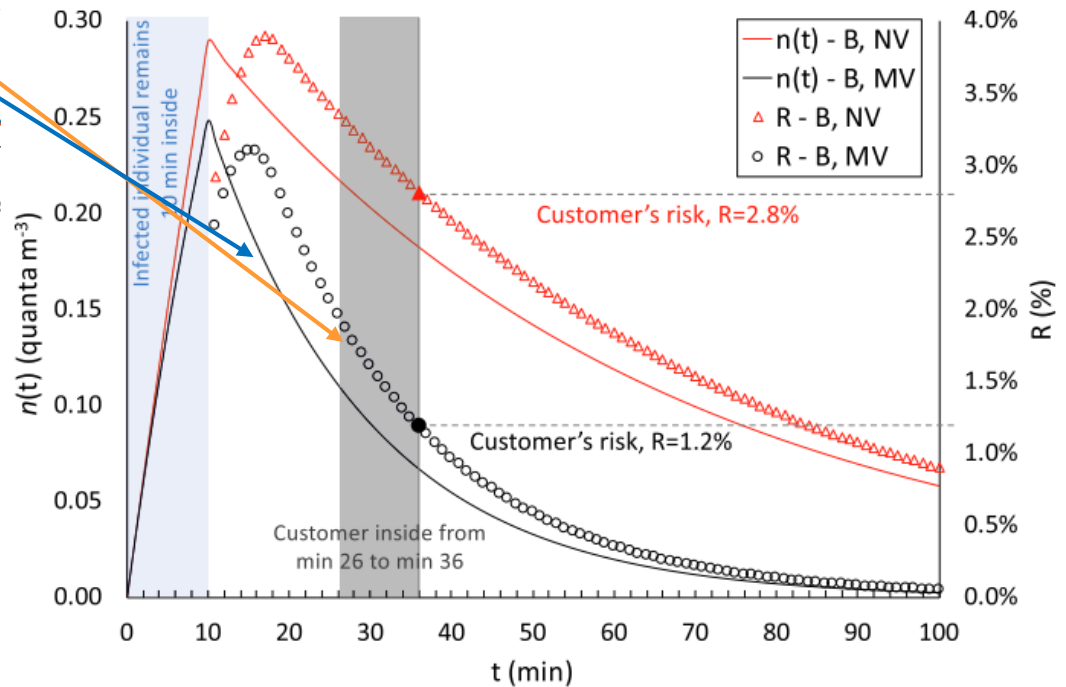
Temel kabuller ve hesap yapılan kapalı alanlar

- @ Odada sadece bir bulaştırıcı var.
- @ Maskeler %20 etkin (kullanım hataları hesaba katıldı)
- @ Oda “well mixed” olarak kabul ediliyor. Yani, virus kişiden çıktıktan sonra odanın her yerine aynı anda yayılıyor. (Bu durum tam olarak gerçeği yansıtmıyor. 3 boyutlu çalışma ile daha doğru bir zaman skalası çıkarılabilir.)
- @ Watanabe et al., (2010) ‘in SARS-CoV, Li et al. (2005); Yu et al. (2004) influenza için yaptıkları tahminlere göre
 - @ $C_{i\ min} = 0.01$ (1 kuant / # virus) minimum risk hesabı için
 - @ $C_{i\ max} = 0.1$ (1 kuant / # virus) maksimum risk hesabı için alındı
- @ $C_v = 10^9$ (number of RNA per mL) (10e8-10e11 Pan et al. (2020))

Doğrulama çalışması



Bu çalışmada hasta bir kişi 10 dakika eczane giriyor. Daha sonrasında eczane girip 10 dakika kalanlar için hastalığın bulaşma riski hesaplanıyor. ($n(t)$ kuantal yoğunluğu)



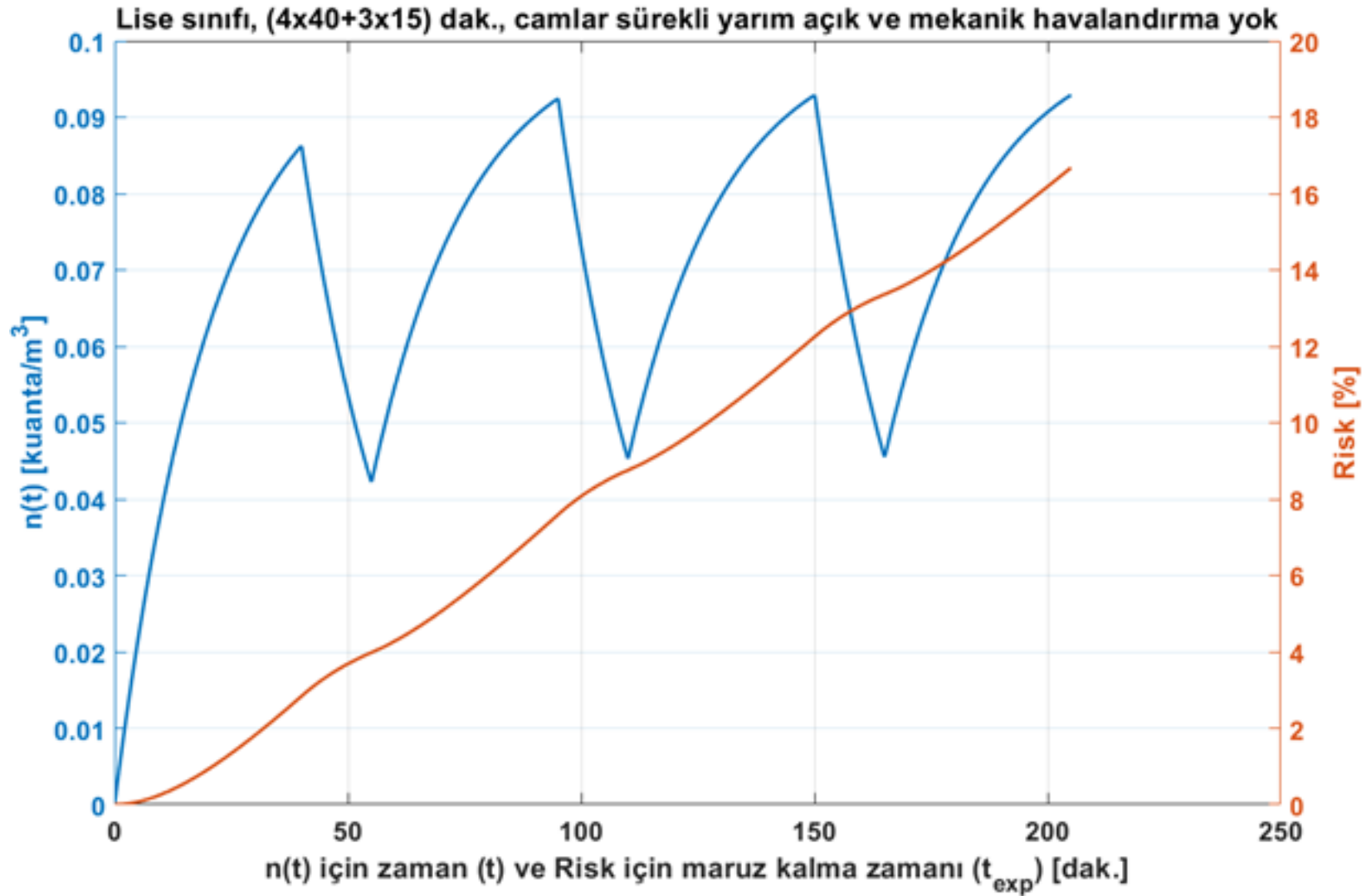
Seçilen odalar

- İlköğretim ve lise sınıflarının boyutları T.C. Milli Eğitim Bakanlığı İnşaat ve Emlak Dairesi Başkanlığı (2015) standartlarına göre, havalandırma debileri TSE 3419 ve ASHRAE 62 (2001) standartlarına göre seçilerek binaların mevcut durumuna yaklaşık hesaplar yapılmaya çalışılmıştır. [12]–[14].

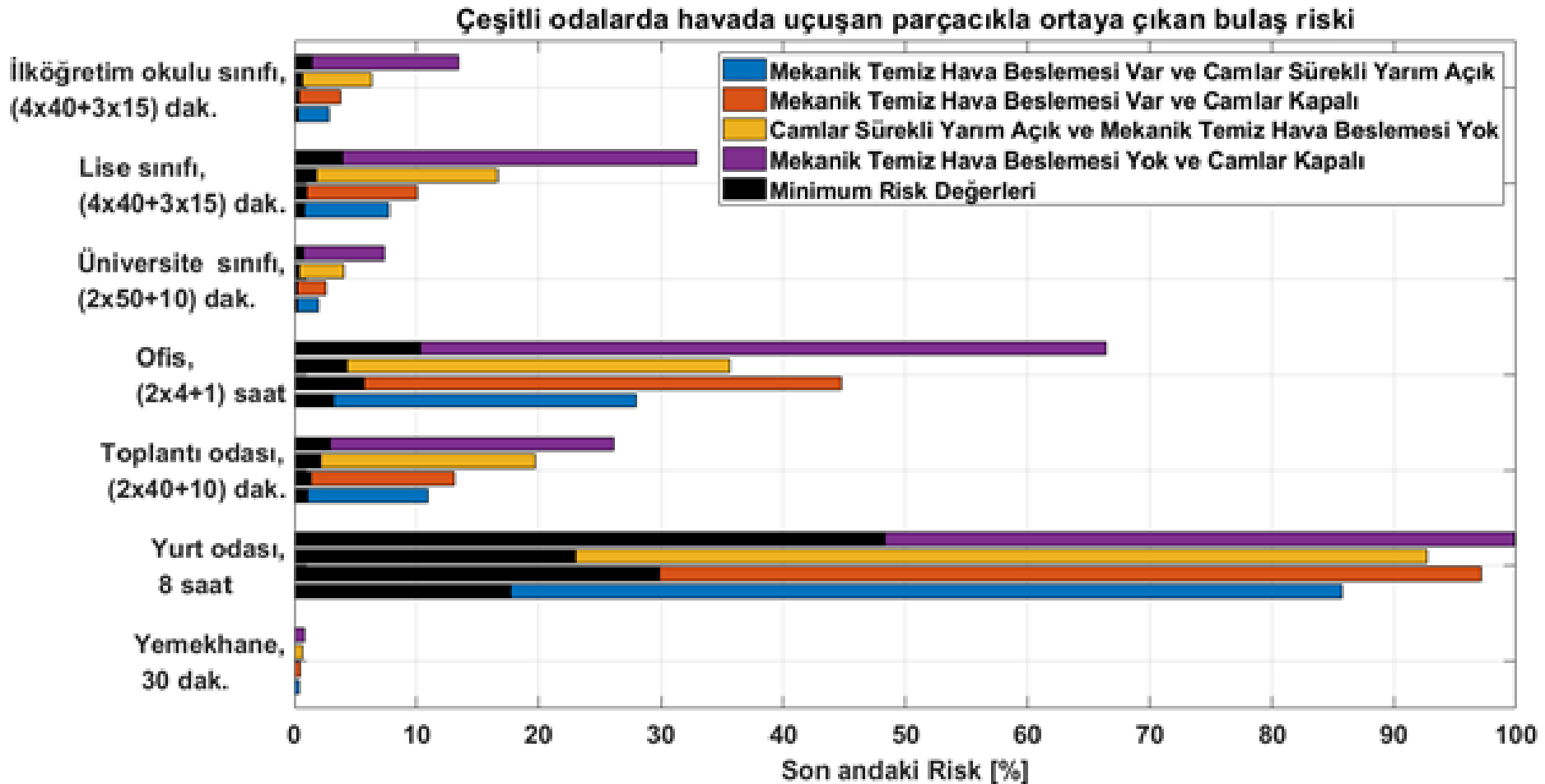
Oda tanımı	İnsan kapasitesi	Alan [m ²]	Hacim [m ³]	Hava değişim sayısı [1/saat]	Kullanım süresi [saat]	Kullanım arası [saat]	Kullanım tekrarı
Üniversite sınıfı	70	140	560	5,83 4,03 2 0,2	50/60 40/60	10/60 20/60	2
İlköğretim okulu sınıfı	30	55,5	222	6,14 4,34 2 0,2	40/60 35/60	15/60 15/60	4
Lise sınıfı	30	55,5	222	6,14 4,34 2 0,2	40/60 35/60	15/60 15/60	4
Ofis	10	100	300	3,02 1,22 2 0,2	4	1	2
Toplantı odası	10	20	60	7,10 5,30 2 0,2	40/60	10/60	2
Yurt odası	4	40	120	3,02 1,22 2 0,2	8	-	1
Yemekhane	400	800	3200	5,83 4,03 2 0,2	30/60	5/60	1

Oda tanımı	Kişi	Aktivite cinsi	Ses çıkarma cinsi
Universite sınıfı	Yetişkin	Dinlenme ve hafif aktivite ortalaması	Fısıldama ve nefes alma
İlköğretim okulu sınıfı	Çocuk	Dinlenme ve hafif aktivite ortalaması.	Fısıldama ve nefes alma
Lise sınıfı	Yetişkin	Dinlenme ve hafif aktivite ortalaması	Fısıldama ve nefes alma
Ofis	Yetişkin	Dinlenme ve hafif aktivite ortalaması	Ara ara konuşma
Toplantı odası	Yetişkin	Dinlenme ve hafif aktivite ortalaması	Konuşma
Yurt odası	Yetişkin	Dinlenme, ayakta durma	Nefes alma, konuşma
Yemekhane	Yetişkin	Hafif aktivite	Konuşma

Örnek kuanta konsantrasyonu gelişimi



Okul ve üniversiteler için risk analizi



@ Lise sınıfı en riskli sınıf olarak ortaya çıkıyor.

@ Yurtlar tek kişilik olmalı

Seyreltilme yüzdesi

Oda ve kullanım süresi tanımı	Sınıf kapasitesi	Seyreltilmiş kapasite	Seyreltilme yüzdesi [%]
Üniversite sınıfı, (2x50+10) dakika	70	25	64
Üniversite sınıfı, (2x40+20) dakika	70	32	54
İlköğretim okulu sınıfı (4x40+3x15) dakika	30	16	47
İlköğretim okulu sınıfı, (4x35+3x15) dakika	30	18	40
Lise sınıfı, (4x40+3x15) dakika	30	6	80
Lise sınıfı, (4x35+3x15) dakika	30	7	77
Ofis, (2x4+1) saat	10	3	70
Toplantı odası, (2x40+10) dakika	10	5	50
Yurt odası, 8 saat	4	1	75
Yemekhane, 30 dakika	400	149	63

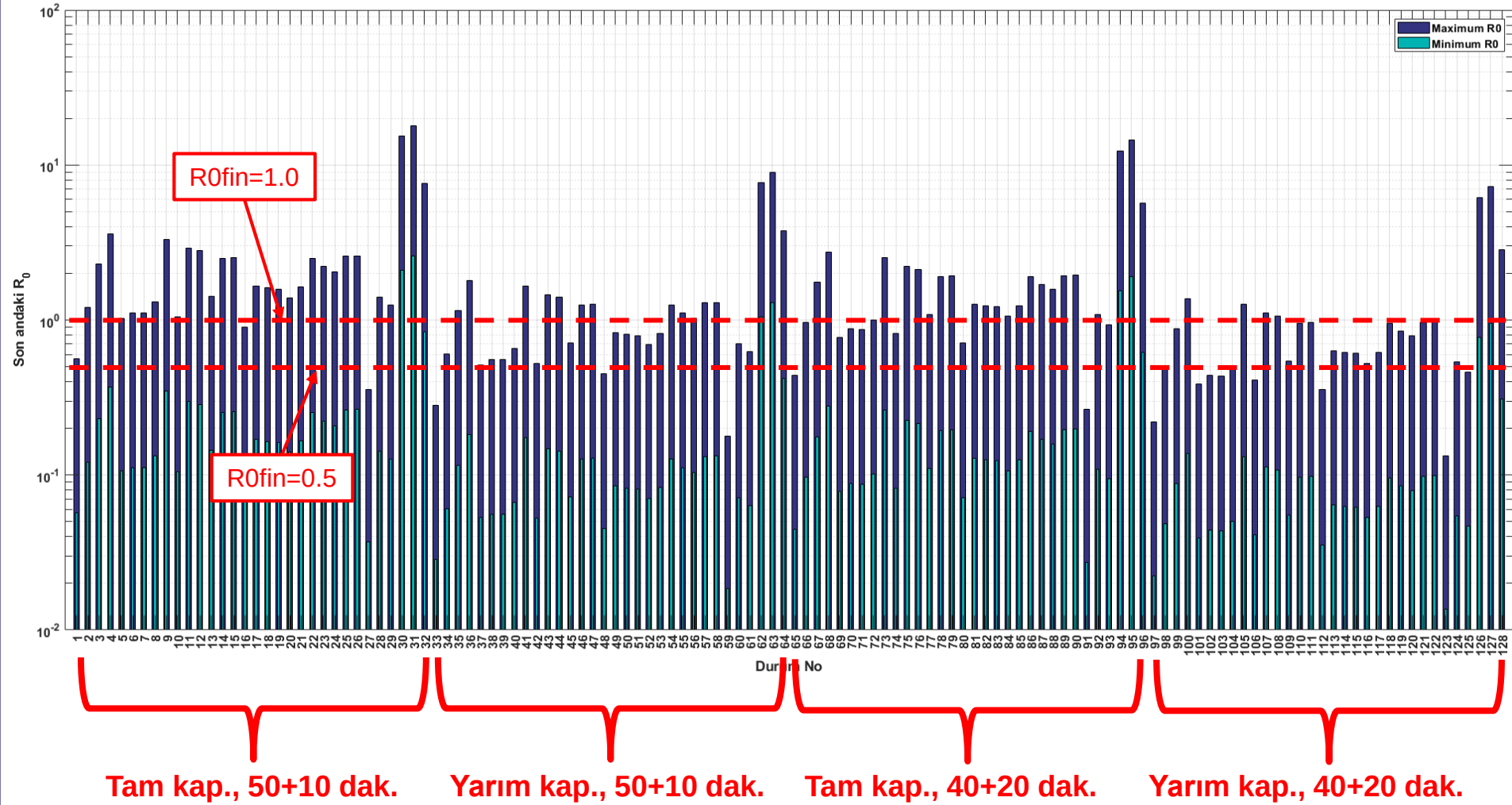
Tablo 1 Değişik odaların mekanik havalandırma olmadan camları sürekli yarım açık kullanılırken seyreltilme kapasiteleri ve seyreltilme yüzdeleri hesapları (toplamda bir kişiyi hasta edecek virüsün tüm kullanıcılar tarafından solunması sınır olarak alınmıştır)

Üniversitede hava bulaşı risk analizi ve önlemler

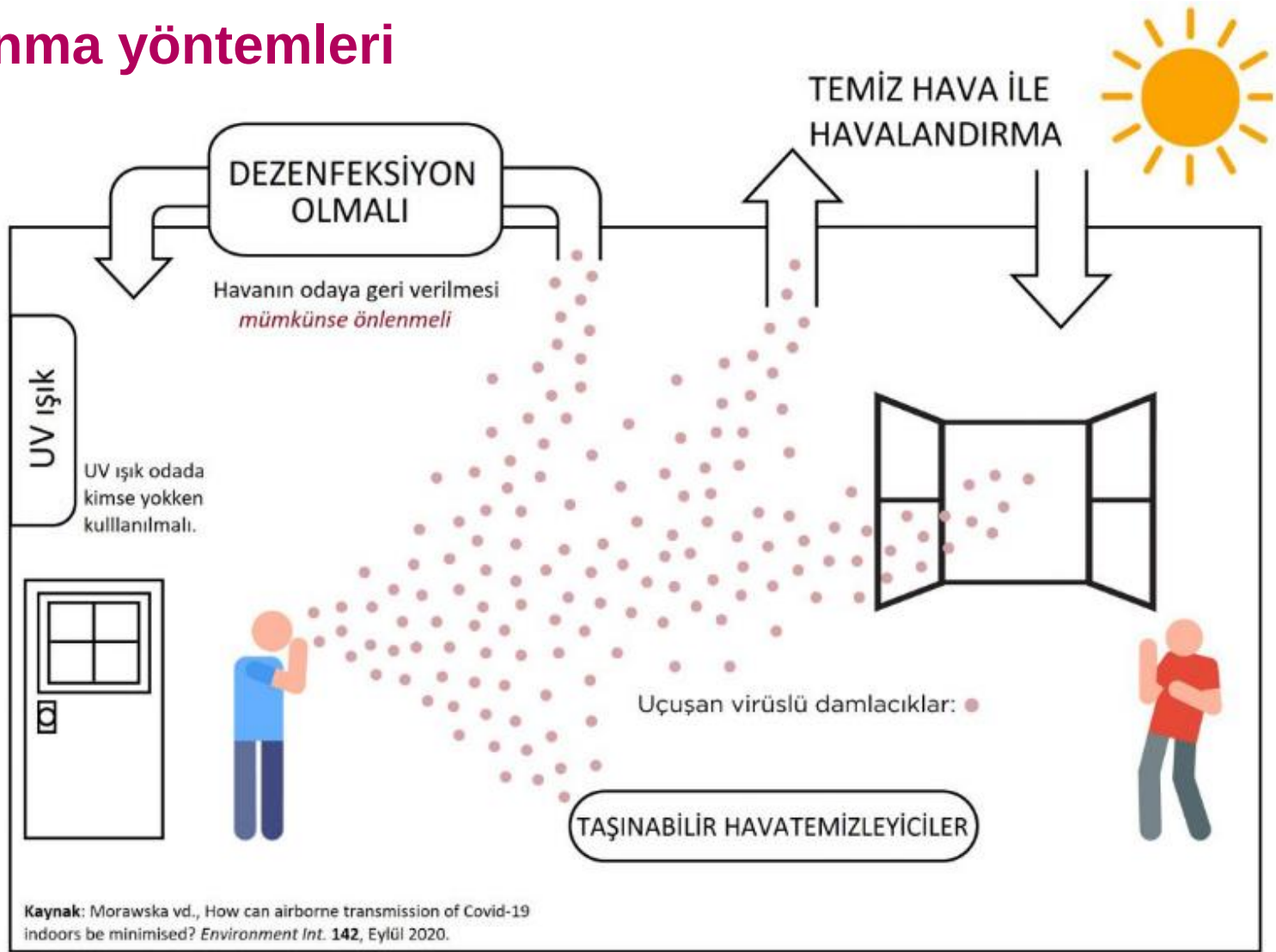
- Özyeğin Üniversitesi (ÖzÜ) Çekmeköy Kampüsü ve üniversitenin diğer yerleşkelerinde bulunan 15 binada, bulunan 145 sınıf, 70 laboratuvar, 209 ofis, 47 toplantı odası, 146 WC, 1075 yurt odası, 1 yemekhane ve diğer ortak kullanım alanları incelendi ve her alanine kullanıcı sayısı belirlendi
- Değişik ders senaryoları, yurt odası ve yemekhane kullanım senaryoları denendi
- Açılış önlemlerinin planlanmasında, havalandırma ve iklimlendirme çalışmalarında bu bilgiler kullanıldı.

Tutucu bir risk analizi örneği

Son andaki R_0 , tüm kullanıcıların toplamda soludukları virüsün hasta eden virüs miktarına oranı olduğu için oldukça tutucu bir risk göstergesidir.



Korunma yöntemleri



Uçuşan parçacıklarla virüs bulaşması riskini azaltan unsurlar gösteriliyor. (Görsel [3] nolu referanstan adapte edilmiştir.)

Havalandırmaz kalabalık kapalı alanlarda bulunmayın

Bu hesaplarla neler yapılabilir

- Ⓢ Bu simülasyon yardımı ile büyük yaşam merkezlerinde riskli alanlar hızlı bir şekilde tespit edilebilir.
- Ⓢ Bir app. vasıtası ile kişilerin kendilerinin risk hesabı yapması sağlanabilir.
- Ⓢ Toplu taşıma için benzeri analizler yapılarak, doluluk oranına ve seyahat süresine göre risk analizi yapılabilir.
- Ⓢ Normalleşme planlamasında geniş çaplı olarak kullanılabilir.

SORULARINIZ ?

Kaynakça

1. Adams, W. C. (1993). Measurement of Breathing Rate and Volume in Routinely Performed Daily Activities. Final Report.
2. ASHRAE. (2001). Standard 62-2001 -- Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality (ANSI Approved).
3. Bowen, L. E. (2010). Does That Face Mask Really Protect You? *Applied Biosafety*, 15(2), 67–71. <https://doi.org/10.1177/153567601001500204>
4. Buonanno, G., Stabile, L., & Morawska, L. (2020). Estimation of airborne viral emission: Quanta emission rate of SARS-CoV-2 for infection risk assessment. *Environment International*, 141(April), 105794. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105794>
5. He, X., Lau, E. H. Y., Wu, P., Deng, X., Wang, J., Hao, X., Lau, Y. C., Wong, J. Y., Guan, Y., Tan, X., Mo, X., Chen, Y., Liao, B., Chen, W., Hu, F., Zhang, Q., Zhong, M., Wu, Y., Zhao, L., ... Leung, G. M. (2020). Temporal dynamics in viral shedding and transmissibility of COVID-19. *Nature Medicine*. <https://doi.org/10.1038/s41591-020-0869-5>
6. Layton, D. W. (1993). Metabolically consistent breathing rates for use in dose assessments. *Health Physics*, 64(1), 23–36. <https://doi.org/10.1097/00004032-199301000-00003>
7. Liu, Y., Ning, Z., Chen, Y., Guo, M., Liu, Y., Gali, N. K., Sun, L., Duan, Y., Cai, J., Westerdahl, D., Liu, X., Xu, K., Ho, K. fai, Kan, H., Fu, Q., & Lan, K. (2020). Aerodynamic analysis of SARS-CoV-2 in two Wuhan hospitals. *Nature*, 582(7813), 557–560. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2271-3>
8. Morawska, L. (2006). Droplet fate in indoor environments, or can we prevent the spread of infection? *Indoor Air*, 16(5), 335–347. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2006.00432.x>
9. Morawska, Lidia, & Cao, J. (2020). Airborne transmission of SARS-CoV-2: The world should face the reality. *Environment International*, 139(April), 105730. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105730>
10. Morawska, Lidia, & Milton, D. K. (2020). It is Time to Address Airborne Transmission of COVID-19. *Clinical Infectious Diseases*, 1–23. <https://doi.org/10.1093/cid/ciaa939>
11. Morawska, Lidia, Tang, J. W., Bahnfleth, W., Bluysen, P. M., Boerstra, A., Buonanno, G., Cao, J., Dancer, S., Floto, A., Franchimon, F., Haworth, C., Hogeling, J., Isaxon, C., Jimenez, J. L., Kurnitski, J., Li, Y., Loomans, M., Marks, G., Marr, L. C., ... Yao, M. (2020). How can airborne transmission of COVID-19 indoors be minimised? *Environment International*, 142(May), 105832. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105832>
12. Moser, M. R., Bender, T. R., Margolis, H. S., Noble, G. R., Kendal, A. P., & Ritter, D. G. (1979). AN OUTBREAK OF INFLUENZA ABOARD A COMMERCIAL AIRLINER. *American Journal of Epidemiology*, 110(1), 1–6. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aje.a112781>
13. Patel, N. V. (2020). If the coronavirus is really airborne , we might be fi ghting it the wrong way. *MIT Technology Review*, July 11. <https://www.technologyreview.com/2020/07/11/1005087/coronavirus-airborne-fighting-wrong-way/>
14. Stabile, L., Buonanno, G., Frattolillo, A., & Dell'Isola, M. (2019). The effect of the ventilation retrofit in a school on CO 2 , airborne particles, and energy consumptions. *Building and Environment*, 156(January), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.04.001>
15. T.C. MİLLİ EĞİTİM BAKANLIĞI İNŞAAT VE EMLAK DAİRESİ BAŞKANLIĞI. (2015). Eğitim Yapıları Asgari Standartlar Klavuzu 2015.
16. TSE. (2002). HAVALANDIRMA VE İKLİMLENDİRME TESİSLERİ - PROJELENDİRME KURALLARI TS 3419.
17. van Doremalen, N., Bushmaker, T., Morris, D. H., Holbrook, M. G., Gamble, A., Williamson, B. N., Tamin, A., Harcourt, J. L., Thornburg, N. J., Gerber, S. I., Lloyd-Smith, J. O., de Wit, E., & Munster, V. J. (2020). Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. *The New England Journal of Medicine*, 19–21. <https://doi.org/10.1056/NEJMc2004973>
18. Watanabe, T., Bartrand, T. A., Weir, M. H., Omura, T., & Haas, C. N. (2010). Development of a dose-response model for SARS coronavirus. *Risk Analysis*, 30(7), 1129–1138. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2010.01427.x>
19. Wells, W. F. (1955). *Airborne Contagion and Air Hygiene*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
20. Wölfel, R., Corman, V. M., Guggemos, W., Seilmaier, M., Zange, S., Müller, M. A., Niemeyer, D., Jones, T. C., Vollmar, P., Rothe, C., Hoelscher, M., Bleicker, T., Brünink, S., Schneider, J., Ehmann, R., Zwirgmaier, K., Drosten, C., & Wendtner, C. (2020). Virological assessment of hospitalized patients with COVID-2019. *Nature*. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2196-x>